

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой»



Н. В. Бакатович
В. А. Зафатаев

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА:

Теплотехнический расчет ограждающих конструкций
углового помещения
последнего этажа жилого здания

Методические указания
к выполнению курсовой работы
для студентов специальностей 1-700402, 7-07-0732-02

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой
2026

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 697.1:536(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию
советом инженерно-строительного факультета (протокол № 6 от 27.06.2025)

Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

Предназначены для студентов специальностей 1-700402 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна», 7-07-0732-02 «Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений».

© Бакатович Н. В., Зафатаев В. А., 2026
© Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой, 2026

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Строительная теплофизика: Теплотехнический расчет ограждающих конструкций углового помещения последнего этажа жилого здания» Н. В. Бакатович, В. А. Зафатаева использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

БАКАТОВИЧ Надежда Владимировна
ЗАФАТАЕВ Виталий Анатольевич

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА:
Теплотехнический расчет ограждающих конструкций
углового помещения
последнего этажа жилого здания

Методические указания
к выполнению курсовой работы
для студентов специальностей
1-700402, 7-07-0732-02

Редактор *Т. А. Дарьянова*

Подписано к использованию 05.01.2026.
Объем издания 1,50 Мб. Заказ 493.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ	5
1 ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕГО И НАРУЖНОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА ГОДА.....	6
2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ И СОВМЕЩЕННОГО ПОКРЫТИЯ/ЧЕРДАЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ.....	7
3 ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ РАСЧЕТ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ	27
4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАРОПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	32
5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ ЗАПОЛНЕНИЯ ОКОННОГО ПРОЕМА И НАРУЖНОЙ СТЕНЫ	34
ЛИТЕРАТУРА.....	45

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Целью курсовой работы «Теплотехнический расчет ограждающих конструкций углового помещения последнего этажа жилого здания» являются теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций (наружной стены и покрытия или чердачного перекрытия) и расчет теплоустойчивости помещения жилого здания.

Курсовая работа должна включать пояснительную записку (20–25 страниц формата А4) и графическую часть (графики на миллиметровой бумаге).

Структура пояснительной записки:

Исходные данные¹. Выбор расчетных параметров внутреннего и наружного воздуха для холодного периода года.

1. Определение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены и совмещенного покрытия/чердачного перекрытия.

2. Тепловлажностный расчет наружной стены и совмещенного покрытия/чердачного перекрытия.

3. Определение сопротивления паропроницанию наружной стены и совмещенного покрытия/чердачного перекрытия.

4. Определение сопротивления воздухопроницанию заполнения оконного проема и наружной стены.

5. Расчет тепловых потерь и теплопоступлений в помещении.

6. Расчет теплоустойчивости помещения.

Приложения: графики тепловлажностного режима наружной стены и совмещенного покрытия/чердачного перекрытия.

¹ в перечне исходных данных приводятся номер варианта задания, город, описание конструкции наружной стены и совмещенного покрытия/чердачного перекрытия (рисунки фрагментов сечений конструкций с нумерацией слоев и с указанием наименований материалов этих слоев, их толщин и характеристик), этажность здания, принятые размеры окон и балконных дверей.

1 ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННЕГО И НАРУЖНОГО ВОЗДУХА ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА ГОДА

Расчетные параметры воздуха в помещениях для расчета наружных ограждающих конструкций жилых, общественных, административных и бытовых зданий и сооружений принимают по нормам проектирования перечисленных зданий, а при их отсутствии – по таблице 5.1 [1] или заданию на проектирование.

Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций зданий и сооружений в зимний период следует принимать по таблице 5.2 [1] в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха. Внутренние ограждающие конструкции, чердачные перекрытия, перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями помещений с нормальным влажностным режимом рассчитывают для условий эксплуатации ограждающих конструкций А.

Расчетные климатические параметры наружного воздуха для определенного района строительства принимают по таблице 3.1 [2].

К расчетным климатическим параметрам наружного воздуха относятся:

- средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;
- средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98 и 0,92.

К средним параметрам наружного воздуха за отопительный период относятся:

- средняя за отопительный период температура наружного воздуха $t_{н.от}$;
- продолжительность отопительного периода $Z_{от}$;
- средняя относительная влажность наружного воздуха за отопительный период $\phi_{н.от}$;
- максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ И СОВМЕЩЕННОГО ПОКРЫТИЯ/ЧЕРДАЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций $R_{пр}$ должно быть не менее нормативного приведенного сопротивления теплопередаче $R_{т.норм}$, указанного в таблице 7.1 [3]. Данное требование не распространяется:

- на ограждающие конструкции помещений с *избытками явной теплоты*;

- на здания, представляющие собой историко-культурную ценность.

Согласно [1], приведенное сопротивление теплопередаче непрозрачной теплотехнически неоднородной ограждающей конструкции рассчитывается одним из трех методов:

- упрощенным;
- с применением справочных значений удельных потерь теплоты через ТН;
- детальным.

Упрощенный метод расчета допускается использовать для предварительных технико-экономических расчетов на стадии разработки проектной прединвестиционной документации.

При расчете приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен упрощенным методом нормативное значение определяют умножением базового значения приведенного сопротивления теплопередаче (таблица 7.1 [3]) на повышающий коэффициент (таблица 6.1 [1]).

При расчете приведенного сопротивления теплопередаче конструкций перекрытий и покрытий упрощенным методом нормативное значение определяют умножением базового значения приведенного сопротивления теплопередаче, указанного в таблице 7.1 [3], на коэффициент 1,1.

Допускается снижать приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен до $0,8R_{т.норм}$, перекрытий – до $0,9R_{т.норм}$ при одновременном выполнении следующих условий:

- достижении зданием нормативного значения удельного расхода энергии на отопление и вентиляцию за отопительный период в соответствии с [3];

- использовании детального метода расчета согласно приложению А [1] с расчетом удельных потерь теплоты через ТН конструкции по А.4 [1] или согласно приложению Б [1].

Упрощенный метод сводится к расчету приведенного сопротивления теплопередаче в соответствии с А.2 [1] или [4].

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с применением справочных значений удельных потерь теплоты через ТН, указанных в [5], производят в соответствии с А.3 приложение А [1].

Детальный метод теплотехнического расчета применяют при проектировании зданий с использованием конструкций, отличных от указанных в [5] и зданий классов повышенной энергетической эффективности типа А+, что должно быть отражено в задании на проектирование. При использовании детального метода расчета необходимо прибегать к компьютерному моделированию температурного поля в сложных узлах ограждающих конструкций, в которых присутствуют ТН, с целью нахождения распределения температур на внутренней и наружной поверхностях ограждения, величин коэффициентов теплоотдачи от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения и от наружной поверхности ограждения к наружному воздуху. Результаты такого моделирования в дальнейшем используются для расчета тепловых потоков – по однородной глади конструкции и через ее неоднородные элементы. Моделирование температурных полей производится в специализированных программных комплексах, например, Temper-3D.

При типовом проектировании жилых зданий наиболее часто применяется второй из вышеперечисленных методов теплотехнического расчета.

Методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания упрощенным методом

В упрощенном методе ограждающую конструкцию условно представляют в виде плоской теплотехнически однородной конструкции из одной или нескольких частей с различными слоями.

Значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции $R_{пр}$, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, состоящей из нескольких частей с различными слоями конструкции, определяют по формуле [1]

$$R_{пр} = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{R_{0i}}}, \quad (2.1)$$

где A_i – площадь i -й части ограждающей конструкции, м^2 ; $i = 1 \dots n$;

R_{0i} – сопротивление теплопередаче теплотехнически однородной части конструкции i -го вида, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$.

Если i -я ограждающая конструкция здания имеет одинаковое конструктивное устройство по всему зданию (например, конструкция наружной стены – одна и та же по всем фасадам здания), то для такой конструкции A_i рассчитывается без разбиения на участки, а $R_{пр0i} = R_{0i}$.

Сопротивление теплопередаче теплотехнически однородной i -ой ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, определяют по формуле [1]

$$R_{0i} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum R_{\text{к.}n} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (2.2)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, принимают по таблице 6.4 [1];

$R_{\text{к.}n}$ – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции или замкнутой воздушной прослойки, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, принимают по таблице А.1 [1].

Термическое сопротивление отдельного слоя ограждающей конструкции или замкнутой воздушной прослойки, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, определяют по формуле [1]

$$R_{\text{к.}n} = \frac{\delta_n}{\lambda_n}, \quad (2.3)$$

где δ_n – толщина n -го слоя ограждающей конструкции, м;

λ_n – расчетный коэффициент теплопроводности материала n -го слоя конструкции, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, в условиях эксплуатации согласно таблице 5.2 [1].

Термические сопротивления замкнутой воздушной прослойки определяют по приложению Р [1].

Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

Методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания с применением значений удельных потерь теплоты через теплотехнические неоднородности

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче теплотехнически неоднородной ограждающей конструкции основан на представлении ее в виде совокупности независимых элементов (ТН), влияющих на тепловой

поток через конструкцию. Количество видов ТН для каждого здания (фасада, помещения) индивидуально и определяется по проектной документации.

Согласно [1], теплотехнической неоднородностью (ТН) называют область ограждающей конструкции, характеризующуюся содержанием элементов с различными коэффициентами теплопроводности материалов и/или с переменной толщиной сечения, расположенных параллельно направлению теплового потока, и/или имеющих углы, примыкания смежных конструкций, проемы, приводящие к искажению изолиний температуры по толщине конструкции.

Различают линейные, точечные и объемные ТН.

Линейной ТН называют протяженную теплотехническую неоднородность, длина которой не менее чем в 3 раза превышает ее размеры одновременно по двум другим направлениям.

Точечной ТН называют локальные теплопроводные включения.

Объемной ТН называют примыкание нескольких локальных элементов ограждающей конструкции.

Линейными ТН в наружных стенах являются:

- примыкание плиты перекрытия к наружной стене;
- вертикальный угол;
- откос окна.

Точечными ТН являются:

- металлическая связь;
- анкерный дюбель;
- бетонная шпонка в трехслойных железобетонных панелях;
- кронштейн системы утепления.

Объемными ТН для наружных стен являются:

- угол примыкания наружных стен к цокольному, междуэтажному перекрытию, покрытию.

Примеры ТН наружных стен и чердачных перекрытий представлены на рисунке 2.1.

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции $R_{пр}$, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, определяют по формуле [1]

$$R_{пр} = \frac{1}{\sum \frac{a_i}{R_{0i}} + \sum l_j \psi_j + \sum n_k \chi_k + \sum n_m \chi_m}, \quad (2.4)$$

где a_i – удельная площадь плоского участка конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м^2 ограждающей конструкции, $\text{м}^2/\text{м}^2$;

R_{0i} – то же, что в формуле (2.2);

l_j – удельная протяженность линейной теплотехнической неоднородности (далее – ТН) j -го вида, приходящаяся на 1 м^2 ограждающей конструкции, $\text{м}/\text{м}^2$;

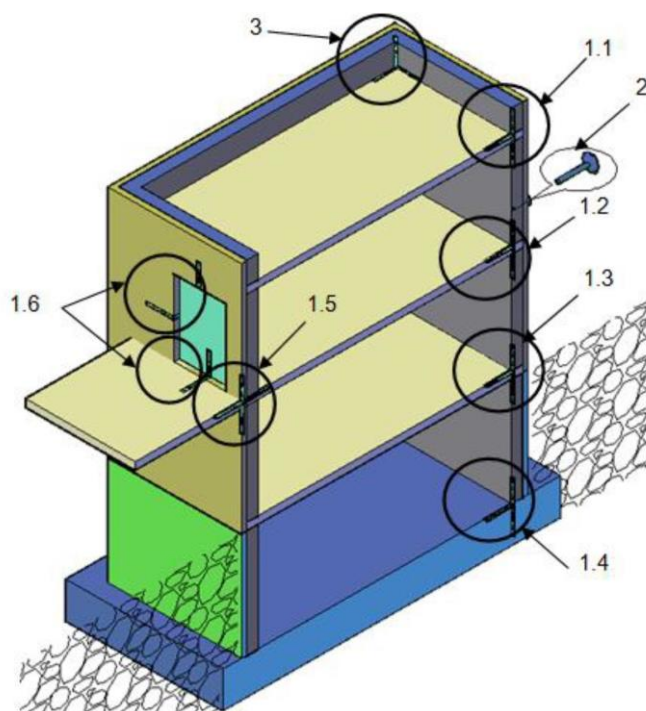
ψ_j – удельные потери теплоты через линейную ТН j -го вида, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$;

n_k – количество объемных ТН k -го вида, приходящихся на 1 м^2 ограждающей конструкции, $\text{шт.}/\text{м}^2$;

χ_k – удельные потери теплоты через объемные ТН k -го вида, $\text{Вт}/\text{шт.} \cdot ^\circ\text{С}$;

n_m – количество точечных ТН m -го вида, приходящихся на 1 м^2 ограждающей конструкции, $\text{шт.}/\text{м}^2$;

χ_m – удельные потери теплоты через точечные ТН m -го вида, $\text{Вт}/\text{шт.} \cdot ^\circ\text{С}$.



Линейные ТН:

1.1 – стык с покрытием; 1.2 – стык с междуэтажным перекрытием; 1.3 – стык с цокольным перекрытием; 1.4 – стык с полом по грунту; 1.5 – стык с плитой лоджии; 1.6 – стык с заполнением проема (откос).

Точечные ТН:

2 – анкерное устройство системы теплоизоляции.

Объемные ТН:

3 – угловой стык наружных стен и покрытия

Рисунок 2.1. – Примеры теплотехнических неоднородностей наружных стен

Удельную площадь a_i , м²/м², плоского участка конструкции i -го вида, приходящуюся на 1 м² ограждающей конструкции определяют по формуле

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i}, \quad (2.5)$$

где A_i – площадь плоского участка конструкции i -го вида, м².

Удельную протяженность l_j , м/м², линейной ТН j -го вида, приходящуюся на 1 м² ограждающей конструкции определяют по формуле

$$l_j = \frac{L_j}{\sum A_i}, \quad (2.6)$$

где L_j – протяженность линейной ТН j -го вида, м;

A_i – то же, что в формуле (2.5).

Количество n_k , шт/м², объемных ТН k -го вида, приходящихся на 1 м² ограждающей конструкции определяют по формуле

$$n_k = \frac{N_k}{\sum A_i}, \quad (2.7)$$

где N_k – количество объемных ТН k -го вида;

A_i – то же, что в формуле (2.5).

Количество n_m , шт/м², точечных ТН m -го вида, приходящихся на 1 м² ограждающей конструкции определяют по формуле

$$n_m = \frac{N_m}{\sum A_i}, \quad (2.8)$$

где N_m – количество точечных ТН m -го вида;

A_i – то же, что в формуле (2.5).

Площадь ограждающей конструкции или ее части определяют по наружному обмеру как площадь проекции конструкции на плоскость, перпендикулярную тепловому потоку через нее. При этом площадь и линейные размеры ограждающих конструкций необходимо определять следующим образом:

а) площадь световых проемов и дверей – по наименьшим размерам строительных проемов в свету;

б) площадь потолков и полов – по размерам между осями внутренних стен и от внутренней поверхности наружных стен до осей внутренних стен;

в) высоту стен первого этажа:

- по размеру от уровня чистого пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа при наличии пола, расположенного непосредственно на грунте;
 - по размеру от нижнего уровня подготовки для пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа при наличии пола на лагах;
 - по размеру от уровня нижней поверхности конструкции пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа при наличии неотапливаемого подвала или подполья;
- г) высоту стен промежуточного этажа – по размеру между уровнями чистых полов данного и нижележащего этажей;
- д) высоту стен верхнего этажа:
- по размеру от уровня чистого пола до верха утеплителя чердачного перекрытия при наличии чердака, и по размеру от уровня чистого пола до пересечения внутренней поверхности наружной стены с верхней плоскостью покрытия при отсутствии чердака;
- е) длину наружных стен:
- неугловых помещений – по размерам между осями внутренних стен;
 - угловых помещений – от внешних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен или до внешних поверхностей примыкающих наружных стен;
- ж) длину внутренних стен – по размерам от внутренних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен или между осями внутренних стен.

Линейные размеры ограждающих конструкций следует определять с точностью до 0,1 м. Площади наружных ограждающих конструкций необходимо определять с точностью до 0,1 м².

При отсутствии в задании на проектирование информации по ограничению расчетной площади ограждающей конструкции, значение приведенного сопротивления теплопередаче определяется для всей ограждающей конструкции.

Удельные потери теплоты через ТН определяют в соответствии с [5] или расчетным путем в соответствии с А.4 [1].

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{пр}$ ограждающей конструкции пропорционально сопротивлению теплопередаче по ее однородной глади R_0 , а коэффициентом пропорциональности между ними является коэффициент теплотехнической однородности r .

Коэффициент теплотехнической однородности r – вспомогательная величина, характеризующая эффективность утепления конструкции; определяют по формуле [1]

$$r = \frac{R_{\text{пр}}}{R_{\text{пр}0i}}, \quad (2.9)$$

где $R_{\text{пр}}$ – то же, что в формуле (2.4);

$R_{\text{пр}0i}$ – приведенное сопротивление теплопередаче плоского участка конструкции i -го вида, определяют по формуле (2.1).

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций (за исключением заполнений проемов) помещений с избытками явной теплоты должно быть не ниже минимального сопротивления теплопередаче $R_{\text{T.min.}}$.

Минимальное приведенное сопротивление теплопередаче $R_{\text{T.min.}}$, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт, определяют по формуле [1]

$$R_{\text{T.min}} = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{в}}}, \quad (2.10)$$

где n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; принимают по таблице 6.2 [1];

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$; принимают в соответствии с таблицей 5.1 [1];

$t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, $^\circ\text{C}$; принимают согласно [2], с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций D (за исключением заполнений проемов) по таблице 6.3 [1];

$\alpha_{\text{в}}$ – то же, что в формуле (2.2);

$\Delta t_{\text{в}}$ – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, $^\circ\text{C}$; принимают по таблице 6.5 [1].

Тепловую инерцию ограждающей конструкции следует определять по формуле [1]

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n, \quad (2.11)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термическое сопротивление теплопроводности отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ /Вт; определяют по формуле (2.3);

s_1, s_2, \dots, s_n – расчетный коэффициент теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции в условиях эксплуатации в соответствии с таблицей 5.2 [1], Вт/(м²·°С); принимают по таблице Д.1 [1].

Расчетный коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равным нулю. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

В качестве характеристики тепловой инерции конструкции принимается так называемая «условная толщина» конструкции. Она представляет собой безразмерный критерий (сумму произведений термических сопротивлений отдельных слоев на коэффициент теплоусвоения s_i соответствующих материалов), характеризующий число температурных волн, затухающих внутри конструкции. Наиболее низкую температуру имеет поверхность ограждения с наименьшим показателем тепловой инерции D . Таким образом, ограждающие конструкции с малым значением D должны рассчитываться по более низким значениям расчетной температуры наружного воздуха, чем ограждения с большим значением D .

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных дверей (кроме балконных) и ворот должно быть не менее 0,6 значения минимального сопротивления теплопередаче наружных стен $R_{т.мин}$, определяемого по формуле (2.10) при расчетной температуре наружного воздуха холодного периода года, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

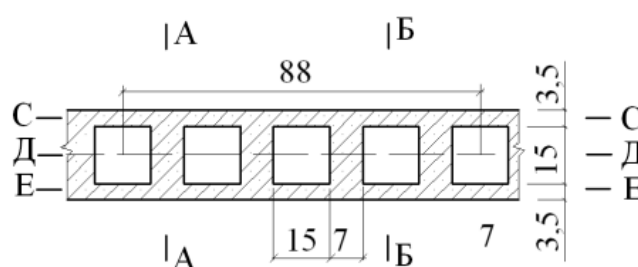
Приведенное сопротивление теплопередаче внутренних ограждающих конструкций (стен, перегородок, перекрытий) между помещениями с нормируемой температурой воздуха, при разности значений температуры воздуха в этих помещениях более 6°С должно быть не ниже минимального сопротивления теплопередаче $R_{т.мин}$, определяемого по формуле (2.10), где $n = 1$; вместо t_n принимают расчетную температуру воздуха более холодного помещения; Δt_v для стен и перегородок принимают по таблице 6.5 [1] как для наружных стен, для нижней поверхности перекрытий – как для покрытий; для верхней поверхности перекрытий – как для перекрытий над проездами.

Порядок расчета приведенного сопротивления теплопередаче неоднородной ограждающей конструкции (плиты покрытия (перекрытия))

Ограждающую неоднородную конструкцию, в которой однородность материала нарушена в направлении, перпендикулярном тепловому потоку,

можно рассматривать как состоящую из нескольких слоев. Одни слои будут расположены параллельно тепловому потоку, другие перпендикулярно ему.

1. При разбиении конструкции плоскостями, *параллельными* направлению теплового потока, ограждающая конструкция (или ее часть) условно разрезается на участки, из которых одни могут быть однородными (однослойными), т.е. из одного материала, а другие неоднородными, т.е. из слоев различных материалов (рисунок 2.2).



А-А, Б-Б – соответственно сечение участков конструкции однородного и неоднородного в направлении, *параллельном* тепловому потоку; С-С, Д-Д, Е-Е – соответственно сечение участков конструкции однородного, неоднородного и однородного в направлении, *перпендикулярном* тепловому потоку

Рисунок 2.2. – Схема разбиения конструкции на сечения

Термическое сопротивление теплопроводности ограждающей конструкции R_a , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, определяется по формуле

$$R_a = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}, \quad (2.12)$$

где A_1, A_2, \dots, A_n – площади отдельных участков конструкции (или части ее), м^2 ;

R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления указанных отдельных участков конструкции, определяемые для однородных участков и участков с последовательно расположенными слоями по формуле (2.3), $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$.

При определении площадей отдельных элементов конструкции можно выделить на ней площади последовательно повторяющихся элементов.

Полученное значение термического сопротивления R_a всегда больше значения действительного сопротивления.

2. При разбиении конструкции плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, ограждающая конструкция (или часть ее, принятая для определения R_a) условно разрезается на слои, из которых одни могут быть однородными (из одного материала), а другие неоднородными (из однослойных участков разных материалов). Термическое сопротивление однородных слоев определяется по формуле (2.3), неоднородных слоев – по формуле (2.12).

Термическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_6 в перпендикулярном тепловому потоку направлении определяется как сумма термических сопротивлений теплопередаче отдельных однородных и неоднородных слоев в этом направлении по выражению

$$R_6 = 2R_1 + R_2 . \quad (2.13)$$

Полученное термическое сопротивление R_6 всегда меньше действительной величины.

Если R_a не превышает R_6 более чем на 25%, то в качестве окончательного значения принимается приведенное термическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, определенное по формуле

$$R_T^{пр} = \frac{R_a + 2R_6}{3} , \quad (2.14)$$

где R_a – то же, что в формуле (2.12);

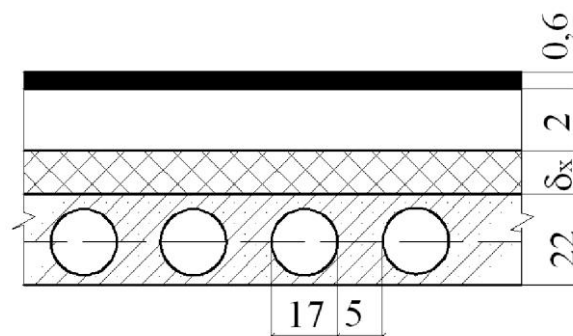
R_6 – то же, что в формуле (2.13).

Если R_a превышает R_6 более чем на 25% или ограждающая конструкция не является плоской (имеет меняющуюся толщину сечения, углы, примыкания смежных конструкций, проемы), то приведенное термическое сопротивление теплопроводности и сопротивление теплопередаче $R_T^{пр}$ такой конструкции следует определять методами расчета с применением справочных значений удельных потерь теплоты или детальным методом расчета температурных полей по участкам ограждающей конструкции при расчетных значениях температуры внутреннего и наружного воздуха.

Пример расчета сопротивления теплопередаче совмещенного покрытия (пустотная железобетонная плита)

Требуется рассчитать сопротивление теплопередаче и толщину слоя утеплителя совмещенного покрытия, конструкция которого показана на рисунке 2.3. Совмещенное покрытие состоит из железобетонной плиты

с пустотными отверстиями, слоя утеплителя – пенополиуретана, слоя цементно-песчаного раствора и слоя рубероида.



Размеры даны в см.

Рисунок 2.3. – Схема конструкции совмещенного покрытия

Конструкция совмещенного покрытия является неоднородной, поскольку в слое железобетона однородность в параллельном и перпендикулярном направлениях движения теплового потока нарушена пустотными отверстиями.

Термическое сопротивление железобетонной плиты вычислим отдельно для слоев параллельных и перпендикулярных направлению движения теплового потока. Для упрощения расчетов круглые отверстия в плите заменим равновеликими по площади квадратами со стороной

$$l = \sqrt{\pi \cdot r^2} = \sqrt{\pi \cdot 8,5^2} = 15 \text{ см (см. рисунок 2.2).}$$

1. Термическое сопротивление R_a , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, в направлении, параллельном движению теплового потока, вычислим для двух характерных сечений (А-А и Б-Б).

В сечении А-А слой бетона толщиной $\delta_{AA} = 0,22 \text{ м}$ с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ и его термическое сопротивление

$$R_{AA} = \frac{0,22}{2,04} = 0,108 \frac{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}{\text{Вт}}. \text{ Площадь этого участка конструкции шириной в } 1 \text{ м } A_{AA} = 1 \cdot 0,07 \cdot 4 = 0,28 \text{ м}^2.$$

В сечении Б-Б слой бетона $\delta_{BB} = 2 \cdot 0,035 = 0,07 \text{ м}$ с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ и термическим сопротивлением

$$R_{BB}^b = \frac{0,07}{2,04} = 0,034 \frac{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}{\text{Вт}}. \text{ Кроме того, в этом сечении есть воздушная прослойка толщиной } \delta_{BB}^{\text{в.п.}} = 0,15 \text{ м с термическим сопротивлением}$$

$R_{ББ}^{в.п.} = 0,15 \frac{(м^2 \cdot ^\circ C)}{Вт}$ (приложение Р [1]). Поэтому общее термическое сопротивление

конструкции в сечении Б-Б $R_{ББ} = R_{ББ}^6 + R_{ББ}^{в.п.} = 0,034 + 0,15 = 0,184 \frac{(м^2 \cdot ^\circ C)}{Вт}$.

Площадь этого участка $A_{ББ} = 1 \cdot 4 \cdot 0,15 = 0,6 \text{ м}^2$. Следовательно, термическое сопротивление будет равно

$$R_a = \frac{\frac{A_{AA} + A_{ББ}}{\frac{A_{AA}}{R_{AA}} + \frac{A_{ББ}}{R_{ББ}}}} = \frac{0,28 + 0,6}{\frac{0,28}{0,108} + \frac{0,6}{0,184}} = 0,15 \frac{(м^2 \cdot ^\circ C)}{Вт}.$$

2. Термическое сопротивление R_6 , $(м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$, в направлении, перпендикулярном движению теплового потока, вычислим для характерных сечений (С-С, Д-Д, Е-Е).

В сечении С-С и Е-Е слой бетона $\delta_{СС} = \delta_{ЕЕ} = 0,035 \text{ м}$ с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 2,04 \text{ Вт}/(м \cdot ^\circ C)$ и термическое сопротивление

$$R_{СС} = R_{ЕЕ} = \frac{0,035}{2,04} = 0,017 \frac{(м^2 \cdot ^\circ C)}{Вт}.$$

В сечении Д-Д слой бетона толщиной $\delta_{ДД} = 0,15 \text{ м}$ с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 2,04 \text{ Вт}/(м \cdot ^\circ C)$ и его термическое сопротивление

$$R_{ДД}^6 = \frac{0,15}{2,04} = 0,07 \frac{(м^2 \cdot ^\circ C)}{Вт}. \text{ Площадь этого участка } A_{ДД}^6 = 1 \cdot 0,07 \cdot 4 = 0,28 \text{ м}^2.$$

Кроме того, в сечении Д-Д имеются воздушные прослойки толщиной $\delta_{ДД} = 0,15 \text{ м}$ с термическим сопротивлением $R_{ДД}^{в.п.} = 0,15 \frac{(м^2 \cdot ^\circ C)}{Вт}$ и площадью

поверхности $A_{ДД}^{в.п.} = 1 \cdot 0,15 \cdot 4 = 0,6 \text{ м}^2$. Поскольку слой конструкции в сечении Д-Д неоднородный, то его термическое сопротивление равно

$$R_{ДД} = \frac{\frac{A_{ДД}^6 + A_{ДД}^{в.п.}}{\frac{A_{ДД}^6}{R_{ДД}^6} + \frac{A_{ДД}^{в.п.}}{R_{ДД}^{в.п.}}}} = \frac{0,28 + 0,6}{\frac{0,28}{0,07} + \frac{0,6}{0,15}} = 0,113 \frac{(м^2 \cdot ^\circ C)}{Вт}.$$

Следовательно, термическое сопротивление

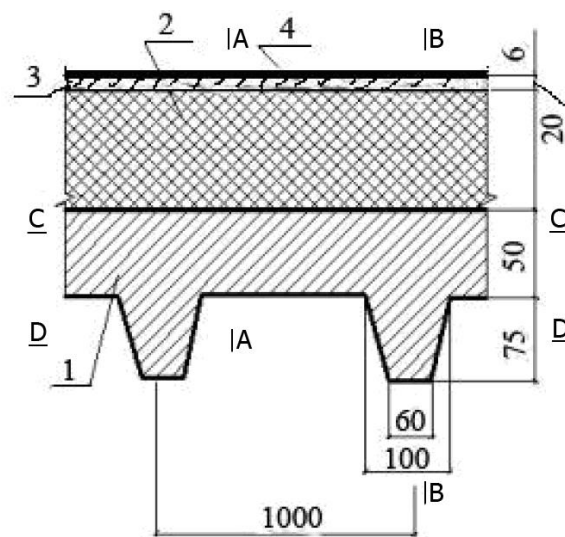
$$R_6 = R_{СС} + R_{ДД} + R_{ЕЕ} = 0,017 + 0,113 + 0,017 = 0,147 \frac{(м^2 \cdot ^\circ C)}{Вт}.$$

Поскольку термическое сопротивление R_a не превышает R_b более чем на 25%, то термическое сопротивление бетонной плиты определим по формуле (2.14)

$$R_k = \frac{R_a + 2R_b}{3} = \frac{0,15 + 2 \cdot 0,147}{3} = 0,148 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}.$$

Пример расчета сопротивления теплопередаче совмещенного покрытия (ребристая железобетонная плита)

Конструкция совмещенного покрытия (рисунок 2.4) является неоднородной, поскольку в слое железобетона однородность в параллельном и перпендикулярном направлениях движения потока нарушена ребрами.



- 1 – железобетонная ребристая плита; 2 – утеплитель;
3 – цементно-песчаный раствор; 4 – рубероид

Рисунок 2.4. – Схема конструкции совмещенного покрытия с ребристой железобетонной плитой

Для упрощения расчетов ребра в форме равнобокой трапеции заменим равновеликими по площади квадратами со стороной

$$l = \sqrt{h \cdot \frac{a+b}{2}} = \sqrt{7,5 \cdot \frac{10+6}{2}} = 7,75 \text{ см}.$$

Термическое сопротивление теплопередаче плиты вычислим отдельно для слоев параллельных и перпендикулярных направлению движения теплового потока.

1. Термическое сопротивление R_a , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, в направлении, параллельном движению теплового потока, вычислим для двух характерных сечений А-А и В-В. В сечении А-А слой бетона толщиной $\delta_{AA} = 0,05$ м с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{AA} = 2,04$ Вт/(м·°C) и его термическое сопротивление

$$R_{AA} = \frac{0,05}{2,04} = 0,0245 \frac{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}{\text{Вт}}.$$

Площадь сечения А-А равна

$$A_{AA} = 1 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{0,0775}{2} \right) = 0,9225 \text{ м}^2.$$

В сечении В-В слой бетона толщиной $\delta_{BB} = 0,05 + 0,0775 = 0,1275$ м с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{BB} = 2,04$ Вт/(м·°C) и его термическое сопротивление

$$R_{BB} = \frac{0,1275}{2,04} = 0,0625 \frac{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}{\text{Вт}}.$$

Площадь сечения В-В равна

$$A_{BB} = 1 \cdot 0,0775 = 0,0775 \text{ м}^2.$$

Термическое сопротивление R_A определим по формуле

$$R_a = \frac{\frac{A_{AA}}{R_{AA}} + \frac{A_{BB}}{R_{BB}}}{\frac{A_{AA}}{R_{AA}} + \frac{A_{BB}}{R_{BB}}} = \frac{\frac{0,9225}{0,0245} + \frac{0,0775}{0,0625}}{\frac{0,9225}{0,0245} + \frac{0,0775}{0,0625}} = 0,0257 \frac{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}{\text{Вт}}.$$

2. Термическое сопротивление R_b , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, в направлении, перпендикулярном движению теплового потока, вычислим для характерных сечений С-С, D-D.

В сечении С-С слой бетона толщиной $\delta_{CC} = 0,05$ м с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{CC} = 2,04$ Вт/(м·°C) и его термическое сопротивление

$$R_{CC} = \frac{0,05}{2,04} = 0,0245 \frac{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}{\text{Вт}}.$$

Площадь сечения С-С равна

$$A_{CC} = 1 \cdot 1 = 1 \text{ м}^2.$$

В сечении D-D слой бетона (ребра) толщиной $\delta_{DD} = 0,0775$ м с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{DD} = 2,04$ Вт/(м·°C) и термическое сопротивление

$$R'_{DD} = \frac{0,0775}{2,04} = 0,038 \frac{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}{\text{Вт}}.$$

Площадь поверхности бетона в сечении D-D

$$F_{DD} = 1 \cdot 0,0775 = 0,0775 \text{ м}^2.$$

Термическое сопротивление R_{DD} должно быть отнесено ко всей поверхности $F = 1 \text{ м}^2$:

$$R_{DD} = R'_{DD} \cdot \frac{A_{DD}}{A} = 0,038 \cdot \frac{0,0775}{1} = 0,002945 \frac{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}{\text{Вт}}.$$

Следовательно, термическое сопротивление R_b в направлении перпендикулярном движению теплового потока равно

$$R_b = R_{CC} + R_{DD} = 0,0245 + 0,002945 = 0,027445 \frac{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}{\text{Вт}}.$$

Поскольку термическое сопротивление R_b не превышает величину сопротивления R_a более чем на 25%, то термическое сопротивление всей бетонной плиты определяем по формуле (2.14)

$$R_k = \frac{0,0257 + 2 \cdot 0,027445}{3} = 0,0269 \frac{(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})}{\text{Вт}}.$$

Предварительную толщину теплоизоляционного слоя необходимо определять по формуле [6]

$$\delta_{\text{ти}} = \lambda_{\text{ти}} \cdot \left[\frac{R_{\text{т.норм}}}{r} - \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \sum \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right) \right], \quad (2.15)$$

где $\lambda_{\text{ти}}$ – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, Вт/(м·°C), в условиях эксплуатации согласно таблице 5.2 [1]; принимают в соответствии с приложением Д [1];

$R_{\text{т.норм}}$ – нормативное сопротивление теплопередаче, (м²·°C)/Вт; принимается по таблице 7.1 [3];

α_v, α_n – то же, что в формуле (2.2);

δ_n – толщина материала слоев конструкции, кроме теплоизоляционного, м, по заданию;

λ_n – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоев конструкции, кроме теплоизоляционного, Вт/(м·°С), в условиях эксплуатации согласно таблице 5.2 [1]; принимают в соответствии с приложением Д [1];

r – коэффициент теплотехнической однородности; для предварительных расчетов согласно [6] принимают равным:

- 0,6 – для наружных стен малоэтажных зданий;
- 0,7 – для наружных стен многоэтажных зданий и зданий средней этажности;
- от 0,8 до 0,9 – для перекрытий (покрытий).

При расчете толщины утеплителя конструкции чердачного перекрытия или совмещенного покрытия к сумме термических сопротивлений слоев этих конструкций $\sum \frac{\delta_n}{\lambda_n}$ (всех слоев, кроме железобетонной плиты) должно быть добавлено термическое сопротивление железобетонной плиты, определенное по формуле (2.14) как для неоднородной конструкции.

Полученную толщину необходимо округлить в большую сторону в зависимости от стандартной толщины слоя материала утеплителя, затем пересчитать сопротивление теплопередаче ограждения R_0 по однородной глади с учетом принятой толщины утеплителя по формуле (2.1) и выполнить проверку:

$$r \cdot R_0 \geq R_{\text{т.норм}} \quad (2.16)$$

Здесь r – принятая выше предварительная величина коэффициента теплотехнической однородности. Если условие не выполняется, то необходимо увеличить толщину слоя утеплителя до большей кратной стандартной величины.

Для расчетной ограждающей конструкции определить перечень ТН согласно таблице 2.1 и рисунку 2.1.

Для выбранных ТН рассчитать геометрические показатели (длина для линейных ТН и количество в штуках для объемных и точечных ТН), результаты свести в таблицу 2.2.

Таблица 2.1. – Структура таблиц каталога со значениями удельных потерь теплоты ТН

Наименование ограждающей конструкции (обозначение)	Тип ТН	Описание ТН	Обозна- чение ТН	Номер таблицы Каталога ТН [5]
Наружные стены (НС)	Линейные	Примыкание наружных стен к междуэтажной плите перекрытия	НС 1.1	6.1.1.1–6.1.1.7
		Примыкание наружных стен к балконной плите (плите лоджии)	НС 1.2	6.1.2.1–6.1.2.16
		Примыкание наружных стен к чердачной плите перекрытия/совмещенному покрытию	НС 1.3	6.1.3.1
		Примыкание наружных стен к цокольной плите перекрытия, полам по грунту	НС 1.4	6.1.4.1–6.1.4.7
		Откосы проемов наружных стен	НС 1.5	6.1.5.1–6.1.5.17
		Углы наружных стен	НС 1.6	6.1.6.1–6.1.6.9
	Точечные	Кронштейны вентилируемой фасадной системы	НС 2.1	6.2.1.1–6.2.1.4
		Анкерные устройства	НС 2.2	6.2.2.1–6.2.2.3
	Объемные	Примыкание наружных стен к междуэтажной плите перекрытия	НС 3.1	6.3.1.1–6.3.1.3
		Примыкание наружных стен к балконной плите (плите лоджии)	НС 3.2	6.3.2.1–6.3.2.2
		Примыкание наружных стен к чердачной плите перекрытия/совмещенному покрытию	НС 3.3	6.3.3.1
		Примыкание наружных стен к цокольной плите перекрытия, полам по грунту	НС 3.4	6.3.4.1
Чердачные перекрытия, совмещенные покрытия (Ч)	Линейные	Примыкание наружных стен к чердачной плите перекрытия/совмещенному покрытию	Ч 1.1	6.4.1.1.1
		Ленточная опора стропильной кровли	Ч 1.2	6.4.1.2.1
		Примыкание вентиляционной шахты к чердачной плите перекрытия/совмещенному покрытию	Ч 1.3	6.4.1.3.1– 6.4.1.3.3
	Точечные	Столбчатая опора стропильной кровли	Ч 2.1	6.5.1.1
Цокольные перекрытия	Линейные	Примыкание наружных стен к цокольной плите перекрытия, полам по грунту	Ц 1.1	6.6.1.1–6.6.1.2
		Примыкание внутренних стен к цокольной плите перекрытия	Ц 1.2	6.6.2.1
		Примыкание наружных стен к перекрытию над проездами	Ц 1.3	6.6.3.1
Перекрытия над проездами	Линейные	Примыкание наружных стен к перекрытию над проездом	П 1.1	6.7.1.1
	Точечные	Примыкание колонн к перекрытию над проездами	П 2.1	6.8.1.1

Таблица 2.2. – Результаты расчета геометрических показателей ТН

Вид ТН	Обозначение ТН	Описание ТН	Номер таблицы каталога ТН	Геометрический показатель	Удельный геометрический показатель*
--------	----------------	-------------	---------------------------	---------------------------	-------------------------------------

* – по формулам (2.6)–(2.8).

Как правило, длиной линейных ТН примыканий наружных стен к перекрытиям является ранее определенная длина наружных стен по наружному обмеру – от внешних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен или до внешних поверхностей примыкающих наружных стен, а длиной линейных ТН углов наружных стен последнего этажа – размер от уровня чистого пола до верха утеплителя чердачного перекрытия при наличии чердака, или размер от уровня чистого пола до пересечения внутренней поверхности наружной стены с верхней плоскостью покрытия при отсутствии чердака.

Для назначенной в задании на проектирование части ограждающей конструкции (например, две наружные стены углового помещения последнего этажа жилого здания и чердачное перекрытие / покрытие) необходимо определить линейные размеры и площадь ограждающих конструкций.

Размеры оконных проемов принять по приложению А.1 [7].

По таблицам [5] определить удельные потери теплоты через линейные ψ_j и объемные χ_k ТН.

Потери теплоты в точечных ТН ввиду незначительного влияния на конечную величину приведенного сопротивления теплопередаче конструкции $R_{пр}$ в курсовой работе допускается не учитывать.

При выборе числовых значений удельных потерь теплоты через ТН из таблиц [5] необходимо использовать четыре параметра:

- наименование материала подосновы (несущей части конструкции) и его расчетный коэффициент теплопроводности;
- толщина подосновы;
- расчетная толщина слоя тепловой изоляции в ограждающей конструкции;
- расчетный коэффициент теплопроводности материала тепловой изоляции.

В случае использования в ограждающих конструкциях материалов с промежуточными толщинами и коэффициентами теплопроводности,

указанными в таблицах [5], для определения значений удельных потерь теплоты через ТН допускается использовать линейную интерполяцию.

Необходимо отметить, что при контакте материалов одинаковых физических свойств (например, в подоснове наружной стены и перекрытии) ТН не образуется.

По формуле (2.4) рассчитать приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции $R_{пр}$. Сравнить приведенное сопротивление теплопередаче с нормативным значением, выполнив проверку условия

$$R_{пр} \geq R_{т.норм.} \quad (2.17)$$

В случае невыполнения условия (2.17) следует выбрать другие комбинации материалов в ТН и повторить расчет, начиная с п. 1. В курсовой работе для сокращения вычислений допускается не проводить повторный расчет $R_{пр}$ для достижения условия (2.17).

Рассчитать коэффициент теплотехнической однородности r ограждающей конструкции по формуле (2.9).

3 ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ РАСЧЕТ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ

В данном разделе курсовой работы необходимо выполнить тепловлажностный расчет наружного ограждения (наружной стены и совмещенного покрытия/перекрытия), определить средние значения относительной влажности воздуха для каждого слоя конструкции и произвести уточненный расчет приведенного сопротивления теплопередаче.

Для этого определяются значения температур, максимальных и действительных упругостей водяного пара влажного воздуха на поверхности каждого слоя конструкции наружного ограждения.

Если средняя влажность слоя конструкции менее или равна 75 %, то необходимо выполнить уточненный расчет сопротивления теплопередачи этого слоя, приняв условия эксплуатации А материала слоя, после чего скорректировать толщину теплоизоляционного слоя.

Процесс переноса влаги через материал называется *паропроницаемостью*, и оценивается *коэффициентом паропроницаемости* μ , мг/(м·ч·Па). Коэффициент паропроницаемости μ численно равен массе влаги, проходящей через единицу площади материала на единицу длины в единицу времени при перепаде парциального давления водяного пара в 1 Па. Значения коэффициента паропроницаемости для различных материалов указаны в приложении Д [1].

При диффузии водяного пара слой материала оказывает сопротивление потоку пара. По аналогии с сопротивлением переносу теплоты это сопротивление называется *сопротивлением паропроницанию* слоя материала. Сопротивление паропроницанию слоя материала показывает, какую необходимо создать разность парциальных давлений водяного пара на поверхностях материала, чтобы через 1 м² его диффундировал поток пара, равный 1 мг/ч.

Температуру в плоскости x ограждающей конструкции t_x , °С, вычисляют по формуле [1]

$$t_x = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \sum R_x \right), \quad (3.1)$$

где α_B – то же, что в формуле (2.2);

t_B – то же, что в формуле (2.10);

t_H – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, $t_H = t_{H.от}$; принимают согласно [2];

R_0 – то же, что в формуле (2.2);

$\sum R_x$ – сумма термических сопротивлений от внутренней поверхности конструкции до сечения x , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$.

Температуру на внутренней поверхности ограждающей конструкции t_b , $^\circ\text{C}$, определяют по формуле

$$t_b = t_b - \frac{t_b - t_n}{R_0} \cdot \frac{1}{\alpha_b}, \quad (3.2)$$

где α_b – то же, что в формуле (2.2);

t_b – то же, что в формуле (2.10);

t_n – то же, что в формуле (3.1);

R_0 – то же, что в формуле (2.2).

Расчет по формуле (3.1) ведется от внутреннего воздуха к наружному – по направлению движения теплового потока.

Сопротивление паропрооницанию R_n , $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$, одного конструктивного слоя ограждающей конструкции определяют по формуле [1]

$$R_n = \frac{\delta}{\mu}, \quad (3.3)$$

где δ – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

μ – расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя ограждающей конструкции, $\text{мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$; принимают в соответствии с приложением Д [1].

Для некоторых тонких листовых материалов сопротивления паропрооницанию представлены в приложении С [1].

Сопротивление паропрооницанию многослойного ограждения, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$, равное сумме сопротивлений паропрооницанию отдельных слоев, вычисляют по формуле

$$R_n = R_{nb} + R_{n1} + R_{n2} + \dots + R_{nn} + R_{nn}, \quad (3.4)$$

где R_{nb} – сопротивление влагообмену на внутренней поверхности, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$;

R_{n1}, R_{n2}, R_{nn} – сопротивление паропрооницанию отдельных слоев ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$;

R_{nn} – сопротивление влагообмену на наружной поверхности, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$.

Сопротивления влагообмену на поверхностях ограждающей конструкции принимают равными $R_{пв} = 0,0267 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{мг}$, $R_{пн} = 0,0052 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{мг}$. Сопротивления влагообмену на поверхностях ограждения $R_{пв}$ и $R_{пн}$ малы по сравнению с сопротивлением паропрооницанию слоев материалов, поэтому обычно в расчетах их не учитывают (разница парциальных давлений водяного пара в воздухе помещения и на поверхности конструкции очень мала).

Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, определяют по формуле [1]

$$e_v = 0,01 \cdot \varphi_v \cdot E_v, \quad (3.5)$$

где φ_v – расчетная относительная влажность внутреннего воздуха, %, принимается по таблице 5.1 [1];

E_v – максимальное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре воздуха, принимается по приложению П [1].

Парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, определяют по формуле [1]

$$e_n = 0,01 \cdot \varphi_{н.от} \cdot E_{н.от}, \quad (3.6)$$

где $\varphi_{н.от}$ – средняя относительная влажность наружного воздуха за отопительный период, %, принимается согласно [2];

$E_{н.от}$ – максимальное парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, при средней температуре за отопительный период $t_{н.от}$, °С, принимается по приложению П [1].

Парциальное давление водяного пара в произвольном сечении x ограждающей конструкции, Па, считая от внутренней поверхности, вычисляют по формуле [1]

$$e_x = e_v - \frac{e_v - e_n}{R_n} \cdot \sum R_{п-x}, \quad (3.7)$$

где e_v – то же, что в формуле (3.5);

e_n – то же, что в формуле (3.6);

R_n – то же, что в формуле (3.4);

$\sum R_{п-x}$ – сумма сопротивлений паропрооницанию слоев от внутренней поверхности до сечения x , $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}/\text{мг}$.

Относительную влажность воздуха в характерных сечениях x , %, ограждающей конструкции определяют по формуле [1]

$$\varphi_x = \frac{e_x}{E_x} \cdot 100, \quad (3.8)$$

где e_x – то же, что в формуле (3.7);

E_x – максимальное парциальное давление водяного пара в сечении x ограждающей конструкции, Па, принимается по приложению П [1] в зависимости от температуры t_x , рассчитанной по формуле (3.1).

Средняя относительная влажность каждого n -го конструктивного слоя ограждающей конструкции определяется как среднее арифметическое из двух соседних значений φ_x , определенных в сечениях, ограничивающих соответствующий n -й конструктивный слой.

Если по результатам расчета средняя относительная влажность воздуха в слое материала не превышает 75%, то коэффициент теплопроводности материала λ_n такого слоя необходимо принимать по условиям эксплуатации А. В противном случае коэффициент теплопроводности материала принимается по условиям эксплуатации Б. Таким образом, по итогам уточнения условий эксплуатации ограждающей конструкции необходимо выполнить перерасчет сопротивления теплопередаче ограждения R по однородной глади, определенного по формуле (2.2).

На миллиметровой бумаге или с использованием графического редактора необходимо вычертить графики распределения температур (в линейном масштабе) и парциальных давлений водяного пара (в масштабе сопротивлений паропроницаемости) по сечению наружной ограждающей конструкции (наружной стены и совмещенного покрытия/перекрытия). Для этого ограждающая конструкция вычерчивается в соответствующем масштабе. С левой стороны по оси ординат строится шкала температур и шкала давлений. В рассматриваемых плоскостях откладываются рассчитанные значения температур и соединяются ломаной линией. Эта линия и будет графиком распределения температур в ограждении.

По оси абсцисс в выбранном масштабе откладываются последовательно сопротивления паропрооницанию всех слоев конструкции, по оси ординат (внутренняя поверхность ограждения) – значения парциального давления пара на внутренней поверхности e_v , а на наружной поверхности – значения парциального давления водяного пара при наружной температуре e_n .

Прямая линия, соединяющая e_v и e_n – график изменения парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции без учета возможной конденсации при установившемся процессе паропроницания.

Далее по оси ординат откладываются значения максимальных парциальных давлений и полученные точки соединяются ломаной линией. Полученная ломаная линия является графиком распределения максимальных парциальных давлений пара в ограждении.

Затем проводится анализ взаимного расположения графиков максимального парциального давления и действительного парциального давления водяного пара. Если графики не пересекаются, то конденсация водяного пара в ограждении отсутствует; в случае пересечения или касания графиков – в конструкции возможна конденсация влаги.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАРОПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации $R_{п.н}$, $(м^2 \cdot ч \cdot Па)/мг$, должно быть не менее нормативного сопротивления паропроницанию $R_{п.норм}$, определяемого по формуле [1]

$$R_{п.норм} = R_{п.н} \cdot \frac{e_{в} - E_{к}}{E_{к} - e_{н.от}}, \quad (4.1)$$

где $R_{п.н}$ – сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности ограждающей конструкции, $(м^2 \cdot ч \cdot Па)/мг$;

$e_{в}$ – то же, что в формуле (3.5);

$E_{к}$ – максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации, Па, (принимается по приложению П [1]) при температуре в плоскости возможной конденсации $t_{к}$, °С;

$e_{н.от}$ – парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, при средней температуре наружного воздуха за отопительный период $t_{н.от}$; определяют по формуле (3.6).

Температуру в плоскости возможной конденсации $t_{к}$, °С, определяют по формуле [1]

$$t_{к} = t_{в} - \frac{t_{в} - t_{н.от}}{R_0} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{в}} + \sum R_{Ti} \right). \quad (4.2)$$

где $t_{в}$ – то же, что в формуле (2.10);

$t_{н.от}$ – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, °С; принимают согласно [2];

R_0 – то же, что в формуле (2.2);

$\alpha_{в}$ – то же, что в формуле (2.2);

R_{Ti} – термическое сопротивление слоев ограждающей конструкции от внутренней поверхности конструкции до плоскости возможной конденсации, $(м^2 \cdot °С)/Вт$; определяют по формуле (2.3).

Для расчета нормируемого сопротивления паропроницанию ограждающей конструкции принимают, что плоскость возможной конденсации

в однородной (однослойной) конструкции находится на расстоянии равном 0,66 толщины конструкции от ее внутренней поверхности, а в многослойной конструкции – совпадает с поверхностью теплоизоляционного слоя, ближайшей к наружной поверхности ограждающей конструкции.

Для обеспечения нормативного сопротивления паропроницанию ограждающей конструкции следует определять сопротивление паропроницанию конструкции в пределах от ее внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации.

Сопротивление паропроницанию части многослойной ограждающей конструкции равно сумме значений сопротивления паропроницанию составляющих ее слоев. Сопротивление паропроницанию листовых материалов и тонких слоев пароизоляции следует принимать по приложению С [1].

Сопротивление паропроницанию воздушных прослоек в ограждающих конструкциях следует принимать равным нулю независимо от толщины и расположения этих прослоек.

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ ЗАПОЛНЕНИЯ ОКОННОГО ПРОЕМА И НАРУЖНОЙ СТЕНЫ

Строительные материалы являются, как правило, материалами пористыми, следовательно, обладают воздухопроницаемостью.

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций зависит не только от пористости материалов ограждения, но и от конструктивных особенностей ограждений: стыков, швов, неплотностей примыканий и заделки элементов, трещин и т.п.

Если фильтрация воздуха через ограждение идет в направлении от наружного воздуха в помещение, ее называют *инфильтрацией*, если наоборот – *эксфильтрацией*.

В зимних условиях, когда холодный воздух фильтруется через ограждение, увеличиваются теплопотери здания и снижается температура внутренних поверхностей ограждения. Фильтрация влажного внутреннего воздуха увлажняет материал и снижает теплозащитные качества ограждения.

Проникновение воздуха через стены и покрытие невелико, поэтому при определении теплового баланса помещения выполняется расчет только максимально возможной инфильтрации через окна и двери. При этом в расчетах условно принимается, что окна и двери находятся на наветренной стороне здания.

Сопротивление воздухопроницанию материалов R_v , $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$, по аналогии с сопротивлениями теплопередаче и паропроницанию, прямо пропорционально толщине слоя δ , м, и обратно пропорционально коэффициенту воздухопроницаемости материала i , $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$:

$$R_v = \frac{\delta}{i}. \quad (5.1)$$

Коэффициент воздухопроницаемости i показывает какое количество воздуха в килограммах пройдет через 1 м^2 слоя материала толщиной в 1 м за 1 ч при разности давлений воздуха 10 Па .

Для различных материалов коэффициенты воздухопроницаемости различаются более чем на 4 порядка. Например, для минеральной ваты $i = 0,046 \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$, для пенобетона $i = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$, для плотного бетона $i = 5,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$.

Наиболее воздухопроницаемыми строительными материалами являются теплоизоляционные минеральные ваты, имеющие волокнистую структуру.

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции R_v , $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$, определяют как сумму сопротивлений воздухопроницанию отдельных слоев [1]:

$$R_v = R_{v1} + R_{v2} + \dots + R_{vn}, \quad (5.2)$$

где $R_{v1}, R_{v2}, \dots, R_{vn}$ – сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$; принимают в соответствии с приложением Н [1].

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

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений R_v , за исключением заполнений световых проемов, должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию $R_{v.\text{норм}}$, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$, определяемого по формуле [1]

$$R_{v.\text{норм}} = \frac{\Delta p}{G_{\text{норм}}}, \quad (5.3)$$

где Δp – расчетная разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па;

$G_{\text{норм}}$ – нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; принимают по таблице 9.1 [1].

Расчетную разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции Δp , Па, определяют по формуле [1]

$$\Delta p = H \cdot (\gamma_n - \gamma_v) + 0,5 \rho_n v_{\text{ср}}^2 \cdot (c_n - c_p) \cdot k_i, \quad (5.4)$$

где H – высота здания от поверхности земли до устья вытяжной шахты, м;
 γ_n, γ_v – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, $\text{Н}/\text{м}^3$;

ρ_n – плотность наружного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$v_{\text{ср}}$ – максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе, повторяемость которых составляет 16% и более, м/с; принимают согласно [2]. Для типовых проектов $v_{\text{ср}}$ принимают равной 5 м/с;

c_n, c_p – аэродинамические коэффициенты соответственно наветренной и подветренной поверхностей ограждающих конструкций здания; принимают в соответствии с рисунком 7.5 и таблицей 7.1 [8];

k_i – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания; принимают в соответствии с примечанием к таблице 7.1 [8].

Удельный вес воздуха определяют по формуле [1]

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}, \quad (5.5)$$

где t – температура воздуха, °C; принимают: внутреннего – согласно таблице 5.1 [1], наружного – равным средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (согласно [2]).

Плотность наружного воздуха определяют по формуле [1]

$$\rho_n = \frac{\gamma_n}{9,8}, \quad (5.6)$$

где γ_n – то же, что в формуле (5.4).

Сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей жилых и общественных зданий $R_{в.о.}$, (м²·ч)/кг, а также окон и зенитных фонарей производственных зданий должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию $R_{в.о.норм.}$, (м²·ч)/кг, определяемого по формуле [1]

$$R_{в.о.норм.} = \frac{1}{G_{норм}} \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (5.7)$$

где $G_{норм}$ – то же, что в формуле (5.3);

Δp – то же, что в формуле (5.4); при этом H – расчетная высота от центра рассчитываемого заполнения светового проема до устья вытяжной шахты, м;

$\Delta p_0 = 10$ Па – эталонная разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях светопрозрачных ограждающих конструкций, при которой экспериментально определяется сопротивление воздухопроницанию конструкций выбранного типа.

Допускается отклонение фактического сопротивления воздухопроницанию выбранного заполнения светового проема от нормируемого не более 20%.

По приложению М [1] необходимо подобрать заполнение оконного проема, сопротивление воздухопроницанию которого, $R_{в.о.}$, (м²·ч)/кг, будет не менее нормируемого $R_{в.о.норм.}$, (м²·ч)/кг, с запасом не более 20%.

6 РАСЧЕТ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ

Теплоустойчивость помещения – это его свойство поддерживать относительное постоянство температуры внутренней среды при изменении тепловых воздействий (например, при колебаниях теплового потока от отопительных приборов).

Чем выше у ограждений и предметов, поверхности которых обращены в помещение, способность поглощать теплоту, тем меньше в помещении колебания температуры и тем больше его теплоустойчивость.

Способность поверхностей ограждений поглощать теплоту при периодических колебаниях теплового потока или температуры воздуха у их поверхностей называется *теплоусвоением* поверхностей.

Помещения, оборудованные системой отопления без автоматического регулирования теплового потока, необходимо рассчитывать на теплоустойчивость в отопительный период года. Расчет необходимо выполнять для помещения с наибольшими потерями теплоты.

Нормативное значение амплитуды колебаний температуры внутреннего воздуха в течение суток A_v определяют в соответствии с [3] (амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха в течение суток A_v , °С, помещений, оборудованных системой отопления без автоматического регулирования теплового потока, не должна превышать 6 °С (отклонение ± 3 °С от расчетного значения, определяемого по [1])).

Амплитуду колебаний температуры внутреннего воздуха A_v , °С, в помещении рассчитывают по формуле [1]

$$A_v = \frac{0,7Qm}{B_1F_1 + B_2F_2 + \dots + B_nF_n}, \quad (6.1)$$

где 0,7 – поправочный коэффициент, учитывающий влияние некоторых факторов, снижающих амплитуду внутреннего воздуха (отклонение характера теплоотдачи отопительного прибора от гармонического закона, теплоотдачу излучением отопительного прибора, бытовую теплоту, наличие в помещении оборудования, поглощающего теплоту);

Q – теплопотери помещения, Вт, определяют в соответствии с [9];

m – коэффициент неравномерности теплоотдачи системы отопления; принимают по таблице 7.1 [1].

B_1, B_2, \dots, B_n – коэффициент теплопоглощения внутренней поверхности ограждающих конструкций помещения (за исключением заполнений световых проемов), Вт/(м²·°С);

F_1, F_2, \dots, F_n – площадь внутренних поверхностей ограждающих конструкций, м^2 .

Расчетные суммарные потери теплоты отапливаемого помещения Q , Вт, определяют по формуле в соответствии с приложением Г [10]:

$$Q = \sum Q_{\text{огр}} + Q_{\text{инф}} - Q_h \cdot (1 - \eta_1), \quad (6.2)$$

где $Q_{\text{огр}}$ – основные и добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции помещения, Вт;

$Q_{\text{инф}}$ – расход теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха через ограждающие конструкции помещения, Вт;

Q_h – суммарный тепловой поток, регулярно поступающий в помещения здания от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников, Вт;

η_1 – коэффициент; принимают по таблице Г.3 [10] в зависимости от способа регулирования системы отопления.

Основные и добавочные потери теплоты $Q_{\text{огр}}$, Вт, определяют, суммируя потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции, с округлением до 10 Вт для помещений, по формуле [10]

$$Q_{\text{огр}} = \frac{A \cdot (t_p - t_{\text{ext}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n}{R_T}, \quad (6.3)$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м^2 ; определяется в разделе 2 настоящих методических указаний;

t_p – расчетная температура воздуха в помещении, $^{\circ}\text{C}$; принимается согласно указаниям раздела 1 настоящих методических указаний;

t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года при расчете потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции (равна средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92) или температура воздуха более холодного помещения – при расчете потерь теплоты через внутренние ограждающие конструкции, $^{\circ}\text{C}$;

β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь; принимают по К.2 [10];

n – коэффициент, принимаемый по таблице 6.2 [1] в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;

R_T – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции по однородной глади, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; определяют по [1] и в соответствии с разделом 2 настоящих методических указаний.

Расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха $Q_{\text{инф}}$, Вт, определяют по формуле [10]

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot \sum G_i \cdot c \cdot (t_p - t_{\text{ext}}) \cdot k, \quad (6.4)$$

где G_i – расход инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции помещения, кг/ч;

c – удельная теплоемкость воздуха, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; принимают равной 1;

t_p, t_{ext} – то же, что в формуле (6.3);

k – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях; принимают равным:

0,7 – для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами;

0,8 – для окон и балконных дверей с отдельными переплетами;

1,0 – для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов.

Расход инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции помещения G_i , кг/ч, определяют по формуле

$$G_i = \frac{0,216 \cdot \sum A_1 \cdot \Delta p_i^{0,67}}{R_b} + \sum A_2 \cdot G_{\text{норм}} \cdot \left(\frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{0,67} + 3456 \cdot \sum A_3 \cdot \Delta p_i^{0,5} + 0,5 \sum \frac{l \cdot \Delta p_i}{\Delta p_1}, \quad (6.5)$$

где A_1, A_2 – площади наружных ограждающих конструкций, м^2 , соответственно световых проемов (окон, балконных дверей, фонарей) и других ограждающих конструкций (например, наружных стен); определены в разделе 2 настоящих методических указаний;

Δp_i – расчетная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций на расчетном этаже;

R_b – сопротивление воздухопроницанию, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$; определено в разделе 5 настоящих методических указаний;

$G_{\text{норм}}$ – то же, что в формуле (5.3);

A_3 – площадь щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях, м^2 ; (в курсовой работе допускается не учитывать);

l – длины горизонтальных и вертикальных стыков стеновых панелей, м; соответствуют длинам L_j линейных ТН, определенных в разделе 2 настоящих методических указаний.

Расчетную разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях каждой ограждающей конструкции Δp_i , Па, вычисляют после определения условно-постоянного давления воздуха в здании p_{int} , Па, (отождествляется с давлениями на внутренних поверхностях наружных ограждающих конструкций) на основе равенства расхода воздуха, поступающего в здание, G_i , кг/ч, и удаляемого из здания G_{ext} , кг/ч, за счет теплового и ветрового давлений и дисбаланса между расходами воздуха, подаваемого и удаляемого воздуха системами вентиляции с искусственным побуждением, и воздуха, расходуемого на технологические нужды.

Расчетную разность давлений Δp_i , Па, определяют по формуле [10]

$$\Delta p_i = (H - h_i) \cdot (\gamma_H - \gamma_B) + 0,5 \rho_H v_{cp}^2 \cdot (c_H - c_B) \cdot k_i - p_{int}, \quad (6.6)$$

где $H, \gamma_H, \gamma_B, \rho_H, v_{cp}, c_H, c_B, k_i$ – то же, что в формуле (5.4);

h_i – расчетная высота от уровня земли до верха окон, балконных дверей, дверей, ворот, проемов или до оси горизонтальных и середины вертикальных стыков стеновых панелей, м;

p_{int} – условно-постоянное давление воздуха в здании, Па.

Условно-постоянное давление в здании определяют по формуле [10]

$$p_{int} = 0,5 H \cdot (\gamma_H - \gamma_B) + 0,25 \rho_H v_{cp}^2 \cdot (c_H - c_B) \cdot k_i, \quad (6.7)$$

где $H, \gamma_H, \gamma_B, \rho_H, v_{cp}, c_H, c_B, k_i$ – то же, что в формуле (5.4).

Расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха Q_i , Вт, в помещениях жилых и общественных зданий при естественной вытяжной вентиляции, не компенсируемого подогретым приточным воздухом, принимают равным большему из значений, полученных в результате расчета по формулам (6.4) и (6.8) [10]

$$Q_i = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho \cdot c \cdot (t_p - t_{ext}) \cdot k, \quad (6.8)$$

где L_n – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, м³/ч; для жилых зданий удельный нормативный расход принимают в соответствии с приложением Г [11];

ρ – плотность воздуха в помещении, кг/м³;

c, t_p, t_{ext}, k – то же, что в формуле (6.4).

Удельные бытовые тепlopоступления определяют в соответствии с [12]:

$$Q_h = q_{быт} \cdot A, \quad (6.9)$$

где $q_{быт}$ – удельные бытовые тепlopоступления на 1 м² площади жилых помещений и кухонь, Вт/м²; для жилых зданий согласно [12] принимают:

- при обеспеченности жильем 20 м² общей площади квартир и менее на 1 чел. – 9 Вт/м²;
- при обеспеченности жильем 45 м² общей площади квартир и более на 1 чел. – 3 Вт/м²;
- для других значений обеспеченности жильем – интерполяцией по значениям 3 и 9 Вт/м²;

A – площадь пола расчетного жилого помещения или кухни, м².

Коэффициент теплопоглощения внутренней поверхности ограждающих конструкций помещения (за исключением заполнений световых проемов) B , Вт/(м²·°C), определяют по формуле [1]

$$B = \frac{1}{\frac{1}{\gamma_b} + \frac{1}{\alpha_b}}, \quad (6.10)$$

где γ_b – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C);

α_b – то же, что в формуле (2.2).

Коэффициент теплопоглощения заполнений световых проемов B , Вт/(м²·°C), определяют по формуле [1]

$$B = \frac{1}{1,08 R_{пф}}, \quad (6.11)$$

где $R_{пф}$ – приведенное сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов, принимают согласно приложению Г [1].

Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности однородной наружной ограждающей конструкции принимают равным коэффициенту теплоусвоения материала конструкции s в соответствии с приложением Д [1].

Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности многослойной наружной ограждающей конструкции определяют в зависимости от тепловой инерции слоев конструкции следующим образом.

В многослойных ограждениях учитывают только ту часть ограждения, которую захватывает слой регулярных колебаний ($D_1 = 1$).

Если тепловая инерция первого слоя конструкции (считая от внутренней поверхности), определяемая по формуле (2.11), $D_1 \geq 1$, коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности конструкции γ_b принимается равным коэффициенту теплоусвоения материала первого слоя конструкции s_1 в соответствии с прил. Д [1].

Если тепловая инерция первого слоя ограждающей конструкции $D_1 < 1$, а первого и второго слоев конструкции – $(D_1 + D_2) \geq 1$, то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности Y_B , Вт/(м²·°С), определяют по формуле [1]

$$Y_B = \frac{R_1 \cdot s_1^2 + s_2}{1 + R_1 \cdot s_2}, \quad (6.12)$$

где R_1, s_1, s_2 – то же, что в формуле (2.11).

Если тепловая инерция первых n слоев конструкции $(D_1 + D_2 + \dots + D_n) < 1$, а тепловая инерция $(n + 1)$ слоев – $(D_1 + D_2 + \dots + D_n + D_{n+1}) \geq 1$, то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности Y_B , Вт/(м²·°С), определяют по формуле [1]

$$Y_B = \frac{R_1 \cdot s_1^2 + Y_2}{1 + R_1 \cdot Y_2}, \quad (6.13)$$

где R_1, s_1 – то же, что в формуле (2.11);

Y_2 – коэффициент теплоусвоения второго слоя конструкции, Вт/(м²·°С).

Коэффициент теплоусвоения второго слоя конструкции, Y_2 , Вт/(м²·°С), определяют по формуле [1]

$$Y_n = \frac{R_n \cdot s_n^2 + Y_{n+1}}{1 + R_n \cdot Y_{n+1}}, \quad (6.14)$$

где Y_n и Y_{n+1} – коэффициенты теплоусвоения внутренней поверхности n -го и $(n+1)$ -го слоев конструкции соответственно, Вт/(м²·°С).

Коэффициент теплоусвоения поверхности внутренних однородных (однослойных) ограждающих конструкций Y_B , Вт/(м²·°С), определяют по формуле [1]

$$Y_B = 0,5 \cdot R \cdot s^2, \quad (6.15)$$

где R – то же, что в формуле (2.3);

s – то же, что в формуле (2.11).

Если какой-либо слой конструкции является неоднородным, определяют средний коэффициент теплоусвоения материала этого слоя s_{cp} , Вт/(м²·°С), по формуле [1]

$$s_{cp} = \frac{s_1 F_1 + s_2 F_2 + \dots + s_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}, \quad (6.16)$$

где s_1, s_2, \dots, s_n – коэффициент теплоусвоения отдельных материалов слоя, Вт/(м²·°C);

F_1, F_2, \dots, F_n – площадь поверхности слоев, занимаемая отдельными материалами, м².

Если ограждение подвержено с обеих сторон воздействию периодических температурных колебаний (внутренние конструкции, перегородки, междуэтажные перекрытия), то его делят на две части с одинаковыми условными толщинами.

Расчет теплоусвоения ведут с каждой поверхности до слоя m , в пределах которого прошла граница раздела – ось тепловой симметрии. Для поверхности слоя m коэффициент Y_m определяют по формуле (6.14), считая на оси симметрии коэффициент теплоусвоения равным нулю, поэтому

$$Y_m = \frac{R_m \cdot s_m^2 + 0}{1 + R_m \cdot 0} = R_m \cdot s_m^2, \quad (6.17)$$

где s_m – коэффициент теплоусвоения материала слоя, через который проходит ось тепловой симметрии;

R_m – термическое сопротивление части слоя m до оси симметрии, (м²·°C)/Вт.

Условная середина *симметричной* ограждающей конструкции находится в средней плоскости конструкции, а условная середина *несимметричной* ограждающей конструкции находится в плоскости, для которой показатель тепловой инерции равен 0,5D всей конструкции.

Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов для определения коэффициента теплоусвоения поверхности внутренних ограждающих конструкций Y_v принимают для условий эксплуатации А.

Расчет коэффициентов теплоусвоения и теплопоглощения необходимо выполнить для следующих ограждающих конструкций расчетного помещения: наружные стены, совмещенное покрытие (чердачное перекрытие), внутренние стены, междуэтажное перекрытие.

Междуэтажное перекрытие является несимметричной многослойной конструкцией, поэтому необходимо определить положение ее условной середины, находящейся в плоскости, для которой показатель тепловой инерции равен половине тепловой инерции всей конструкции. Положение ее условной середины δ_m определяют из формулы

$$0,5 \cdot D = \frac{\delta_m}{\lambda_m} \cdot s_m, \quad (6.18)$$

где D – тепловая инерция конструкции, определяемая по формуле (2.11);
 λ_m, s_m – коэффициенты теплопроводности и теплоусвоения материала плиты междуэтажного перекрытия, соответственно, Вт/(м·°C), Вт/(м²·°C).

По формуле (6.17) необходимо рассчитать коэффициент теплоусвоения Y_m поверхности междуэтажной плиты перекрытия до плоскости, по которой проходит ось тепловой симметрии. Далее по формуле (6.14) рассчитать коэффициенты теплоусвоения внутренней поверхности второго и третьего слоев и по формуле (6.13) – коэффициент теплоусвоения поверхности первого слоя.

Коэффициент теплопоглощения B внутренней поверхности междуэтажного перекрытия следует считать по формуле (6.10).

В случае, если значение амплитуды колебаний температуры внутреннего воздуха A_B превышает нормативное значение, повышают приведенное сопротивление теплопередаче или теплоаккумулирующую способность помещения за счет увеличения толщины внутренних теплоемких слоев ограждающих конструкций или применения более плотных материалов внутренней обшивки.

Минимальная температура внутренней поверхности наружной ограждающей конструкции $t_{B.п.мин}$, °C, должна быть не ниже точки росы при расчетных значениях температуры t_B и относительной влажности ϕ_B внутреннего воздуха и определяется по формуле [1]

$$t_{B.п.мин} = t_B - \frac{\left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{m}{Y_B} \right) (t_B - t_H)}{R_0}, \quad (6.19)$$

где t_B, t_H, α_B – то же, что в формуле (2.10);

m – то же, что в формуле (6.1);

Y_B – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C);

R_0 – то же, что в формуле (2.2).

В курсовой работе необходимо определить минимальные температуры $t_{B.п.мин}$, °C, внутренних поверхностей наружных стен, чердачного перекрытия или совмещенного покрытия. Сравнить полученные значения с температурой точки росы для внутреннего воздуха помещения.

Температура точки росы для внутреннего воздуха помещения определяется по расчетной температуре внутреннего воздуха t_B и относительной влажности воздуха ϕ_B по приложению Е [1] или по приближенной формуле

$$t_p = 37,2 - (7 - 0,0015 \cdot e_B)^2, \quad (6.20)$$

где e_B – то же, что в формуле (3.5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительная теплотехника : СП 2.04.01-2020. – Введ. 18.11.20 (с отменой ТКП 45-2.04-43-2006 (02250)). – Мн. : Минстройархитектуры : Стройтехнорм, 2020. – 76 с.
2. Строительная климатология : СНБ 2.04.02-2000, изм. № 1. – Введ. 02.04.07. – Мн. : Минстройархитектуры : Стройтехнорм, 2007. – 35 с.
3. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность : СН 2.04.02-2020. – Введ. 12.11.20. – Мн. : Минстройархитектуры : Стройтехнорм : Ин-ут жилища – НИПТИС им. Атаева С.С., 2021. – 29 с.
4. Конструкции ограждающие строительные и их элементы. Термическое сопротивление и сопротивление теплопередаче. Методики расчетов : СТБ EN ISO 6946-2012. – Введ. 10.02.12. – Мн. : Госстандарт : Стройтехнорм, 2012. – 31 с.
5. Каталог удельных потерь теплоты (тепловых мостиков) теплотехнически неоднородных узлов ограждающих конструкций жилых и общественных зданий / Ин-т жилища – НИПТИС им. Атаева С.С. ; сост.: И. А. Терехова [и др.] ; науч. ред. Л. Н. Данилевский, С. В. Терехов. – Мн. : Минстройархитектуры, 2020. – 212 с.
6. Рекомендации по применению тепловых мостиков при проектировании ограждающих конструкций : Р 1.04.180-2019 : введ. 27.12.19. – Минск : Минстройархитектуры : Ин-ут жилища – НИПТИС им. Атаева С.С., 2019. – 40 с.
7. Блоки оконные и дверные балконные. Общие технические условия : СТБ 939-2013. – Введ. 24.09.13 (взамен СТБ 939-93). – Мн. : Госстандарт : Стройтехнорм, 2019. – 40 с.
8. Воздействия на конструкцию. Общие воздействия. Ветровые воздействия : СН 2.01.05-2019. – Введ. 16.12.19 (с отменой ТКП EN 1991-1-4-2009 (02250)). – Мн. : Минстройархитектуры : Стройтехнорм, 2020. – 127 с.
9. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019. – Введ. 16.12.19 (с отменой СНБ 4.02.01-03). – Мн. : Минстройархитектуры : Стройтехнорм, 2020. – 73 с.
10. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СП 4.02.06-2024. – Введ. 29.04.24. – Мн. : Минстройархитектуры : Стройтехнорм, 2024. – 34 с.
11. Жилые здания : СН 3.02.01-2019. – Введ. 16.12.19 (с отм. ТКП 45-3.02-324-2018 (33020)). – Мн. : Минстройархитектуры : Стройтехнорм, 2021. – 25 с.
12. Тепловая защита жилых и общественных зданий. Энергетические показатели : СП 2.04.02-2020. – Введ. 30.11.20 (с отм. ТКП 45-2.04-196-2010 (02250)). – Мн. : Минстройархитектуры : Стройтехнорм : Ин-ут жилища – НИПТИС им. Атаева С.С., 2020. – 33 с.