

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Издательство МИСИ – МГСУ

О.Д. Самарин, Н.Ю. Плющенко

СИСТЕМЫ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Учебное пособие

УПРАВЛЕНИЕ

УДК 691.89+628.8
ББК 31.3:38.762
С17

Рецензенты:

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук *В.Г. Гагарин*, профессор,
заведующий лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН;
кандидат технических наук, профессор *Е.Г. Малявина*,
профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции НИУ МГСУ

- Самарин, О.Д.**
С17 Системы теплогазоснабжения и вентиляции : [учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 27.03.04 Управление в технических системах] / О.Д. Самарин, Н.Ю. Плющенко ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции. — Москва : Издательство МИСИ — МГСУ, 2020. — 180 с.
ISBN 978-5-7254-2152-0

В учебном пособии изложены основы теплопередачи и концепция теплотехнического расчета наружных ограждений зданий в соответствии с действующими нормативно-техническими документами Российской Федерации. Рассмотрены основные принципы формирования микроклимата зданий и его обеспечения инженерными системами, также методы расчета производительности систем вентиляции и кондиционирования воздуха и определения тепловой мощности систем отопления — охлаждения. Показаны правила выбора расчетных параметров наружного климата для проектирования систем обеспечения микроклимата. Рассмотрены параметры состояния влажного воздуха и процессы их изменения. Приведены схемы обработки воздуха в системах кондиционирования воздуха, а также методы оценки годового потребления энергии системами отопления — охлаждения и вентиляции. Рассмотрены основные элементы и оборудование систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также принципы их проектирования и расчета. Даны понятия в области тепло- и газоснабжения населенных пунктов и очистки вентиляционных и промышленных выбросов.

Для обучающихся бакалавриата по направлению подготовки 27.03.04 Управление в технических системах, профиль «Интеллектуальные системы и автоматика в строительстве»

УДК 691.89+628.8
ББК 31.3:38.762

ISBN 978-5-7254-2152-0

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2020

Оглавление

Введение	5
Глава 1. ОСНОВЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ.....	7
1.1. Основные понятия теплопередачи	7
1.2. Теплопередача через многослойную стенку	12
Вопросы для самоконтроля	14
Глава 2. ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ И ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМЫ ЗДАНИЙ	15
2.1. Нормирование теплозащиты наружных ограждений	15
2.2. Влажностный режим наружных ограждений	21
2.3. Основы гидроаэродинамики здания и систем ТГВ	24
2.4. Определение мощности систем обеспечения микроклимата	29
2.5. Элементы теории теплоустойчивости	34
Вопросы для самоконтроля	39
Глава 3. СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ.....	41
3.1. Основные понятия в области отопления.....	41
3.2. Системы водяного отопления.....	44
3.3. Размещение, устройство и монтаж основных элементов систем водяного отопления.....	47
3.4. Отопительные приборы систем отопления.....	55
3.5. Гидравлический расчет системы отопления здания	64
Вопросы для самоконтроля.....	69
Глава 4. СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	71
4.1. Основные понятия в области вентиляции	71
4.2. Параметры состояния влажного воздуха. <i>I-d</i> -диаграмма влажного воздуха.....	73
4.3. Воздухообмен в помещениях и способы его определения	77
4.4. Конструкции вентиляционных систем и их элементов.....	80
4.5. Аэродинамический расчет вентиляционных сетей	98
Вопросы для самоконтроля.....	105
Глава 5. СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ	106
5.1. Основные понятия в области кондиционирования воздуха	106
5.2. Схемы обработки воздуха и управление установками кондиционирования воздуха.....	109
5.3. Холодоснабжение установок кондиционирования воздуха	128
5.4. Годовой расход энергии на вентиляцию и кондиционирование воздуха.....	130
Вопросы для самоконтроля.....	135

Глава 6. ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ ГРАЖДАНСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ	137
6.1. Общие понятия теплоснабжения	137
6.2. Схемы тепловых пунктов	142
6.3. Тепловые сети и оборудование тепловых пунктов	147
6.4. Газоснабжение	156
Вопросы для самоконтроля	159
ГЛАВА 7. ОЧИСТКА ДЫМОВЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВЫБРОСОВ	161
Вопросы для самоконтроля	165
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	166
Библиографический список	167
ПРИЛОЖЕНИЕ	170
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	174

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Системы ТГВ» (теплогазоснабжения и вентиляции) в широком смысле этого выражения объединяет архитектурно-конструктивные и объемно-планировочные решения здания, строительную теплотехнику, отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха, котельные установки, тепло- и газоснабжение.

Основная задача ТГВ

Создание и поддержание в обслуживаемой зоне помещения совокупности внутренних метеорологических условий (t_v — температура воздуха, °С; φ_v — относительная влажность, %; v_v — скорость движения (подвижность) воздуха, м/с; $C_{вр}$ — концентрация вредных примесей, мг/м³), требуемых с точки зрения комфортности людей или необходимых для технологического процесса при минимальных материальных и энергетических затратах.

Связь ТГВ со строительством

Работающие в области ТГВ рассматривают архитектурно-конструктивные и объемно-планировочные решения здания как один из элементов (пассивный) общей системы мер по поддержанию внутренних метеорологических параметров, поэтому при разработке таких решений строитель должен позаботиться, чтобы они удовлетворяли потребностям специалистов по ТГВ. В частности, проектирование наружных ограждений, помимо требований прочности, надежности и долговечности, должно выполняться с учетом необходимой теплозащиты и теплоустойчивости, а также воздухо- и паропроницаемости, что позволит максимально упростить системы ТГВ и уменьшить их мощность. Кроме того, эти решения должны обеспечивать возможность устройства необходимых активных систем ТГВ (отопление, вентиляция и т.д.) или по крайней мере не препятствовать их сооружению. Иначе говоря, в здании должно быть предусмотрено достаточное пространство для прокладки трубопроводов и воздухопроводов и необходимое место для установки оборудования систем ТГВ.

Связь ТГВ и автоматизации

Решения по регулированию систем ТГВ и управлению ими непосредственно зависят от процессов, происходящих в помещениях

и системах ТГВ, и от схемных решений этих систем, которые вместе с помещением представляют собой объект управления. Поэтому работающий в области автоматизации должен представлять себе характер этих процессов и устройство систем ТГВ как объекта управления. И наоборот, установочная мощность систем ТГВ в значительной степени связана с принятыми решениями по управлению ими, поэтому проектирование систем ТГВ и систем их автоматизации должно осуществляться параллельно.

Глава 1

ОСНОВЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Объектами исследований строительной теплофизики являются ограждающие конструкции зданий. От протекающих в них процессов теплопередачи, воздухопроницания и паропроницаемости, обусловленных действием климатических факторов, внутренних источников и работой систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, зависят процессы тепло- и массообмена, происходящие при формировании внутреннего микроклимата помещений, влияющего на здоровье и трудоспособность человека.

1.1. Основные понятия теплопередачи

Процесс самопроизвольного распространения теплоты в твердой, жидкой или газообразной среде с неоднородным распределением температур называется *теплопередачей*. При этом тепловой поток, возникающий за счет разности температуры, направлен от более нагретых точек к менее нагретым.

Процесс теплопередачи является сложным и состоит из трех элементарных видов теплообмена: теплопроводности, конвекции (конвективного теплообмена) и излучения (лучистого теплообмена).

Теплопроводность (кондукция) — процесс передачи теплоты в сплошной среде (твердой, жидкой или газообразной) за счет колебаний атомов и молекул. Таким образом, передача теплоты теплопроводностью происходит во всех агрегатных состояниях тел, но так как в жидких и газообразных средах наблюдается постоянное перемещение микрочастиц, то применительно к строительству теплопроводность рассматривают именно в твердых телах.

Процесс теплопроводности в простейшем случае для однослойной стенки в стационарном режиме описывается уравнением Фурье в дифференциальной форме, которое имеет вид

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx}, \quad (1.1)$$

где q — плотность потока теплоты, Вт/м², т.е. количество теплоты, Вт, проходящее в единицу времени через 1 м² стенки;

λ — теплопроводность материала стенки, Вт/(м·К), играющая роль коэффициента пропорциональности между q и dt/dx и чис-

ленно равная величине q при градиенте температур в материале $dt/dx = 1$ К/м. Знак «минус» говорит именно о том, что теплота распространяется в сторону падения температуры;

dt/dx — градиент температуры, Вт/м, в материале стенки, т.е. производная от температуры по координате, или, иначе говоря, наклон поперечного профиля температуры в стенке (рис. 1.1).

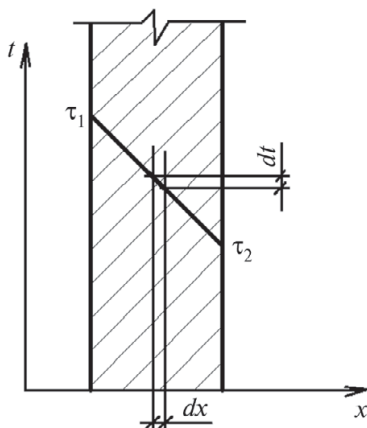


Рис. 1.1. Температурное поле однослойной плоской стенки

Из уравнения (1.1) интегрированием при соответствующих граничных условиях можно получить формулу для q при заданных температурах τ_1 и τ_2 на ее поверхностях:

$$q = \frac{\tau_1 - \tau_2}{R_{\text{сл}}}, \quad (1.2)$$

где $R_{\text{сл}} = \delta / \lambda$ — сопротивление слоя теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, численно равное разности температур τ_1 и τ_2 на поверхностях слоя, которую необходимо создать для получения величины $q = 1$ Вт/м²; здесь δ — толщина слоя, м.

В общем случае для многослойной стенки:

$$q = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\sum R_{\text{сл},i}}. \quad (1.3)$$

Иначе говоря, при последовательном расположении слоев их термические сопротивления складываются так же, как складыва-

ются последовательно включенные электрические сопротивления. Это совпадение не случайно, поскольку распространение электричества в сплошной среде описывается аналогичными по форме уравнениями, что дает возможность в ряде случаев моделировать задачи теплопроводности подходящими электрическими моделями («электротепловая аналогия»).

Теплопроводность материала λ определяется его химическим составом, плотностью, структурой, влажностью и температурой. Для строительных материалов, применяемых в несущих конструкциях (железобетон, кирпич и т.д.): $\lambda = 0,8...2,0$ Вт/(м·К); для пористых теплоизоляционных материалов (минеральная вата, стекловата): $\lambda = 0,035...0,05$ Вт/(м·К). У металлов значения теплопроводности велики и имеют порядок от 50 (чугун) до 407 (медь) Вт/(м·К). Значения λ для различных материалов, используемых в строительстве, при разного рода условиях эксплуатации приведены в СП 50.13330.2012 [5].

Конвекция — процесс переноса теплоты движущимися частицами жидкого или газообразного вещества. При этом между воздухом или жидкостью и поверхностью твердого тела, например отопительного прибора или ограждающей конструкции, возникает конвективный теплообмен (конвективная теплоотдача).

Плотность конвективного теплового потока q_k , Вт/м², определяется по формуле Ньютона:

$$q_k = \alpha_k(t_{\text{ж}} - \tau_{\text{пов}}), \quad (1.4)$$

где α_k — коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м²·К);

$t_{\text{ж}}$ — температура жидкой или газообразной среды, омывающей поверхность стены;

$\tau_{\text{пов}}$ — температура поверхности стены.

Следует отметить, что α_k зависит от свойств среды, омывающей поверхность (плотности, теплоемкости, вязкости), природы ее возникновения и скорости движения, а также расположения, формы и габаритов самой поверхности.

Конвекцию подразделяют на *свободную (естественную)* и *вынужденную*. Свободная конвекция обусловлена движением среды под действием гравитационных сил за счет разности плотностей среды в точках с разной температурой. При вынужденной конвекции движение среды происходит под влиянием внешних сил, например

работы вентилятора. При конвективном теплообмене коэффициент пропорциональности α_k определяется по эмпирическим формулам на основе экспериментальных данных. Для некоторых наиболее часто встречающихся случаев эти формулы можно записать следующим образом:

— для конвективного теплообмена между плоской стенкой и воздухом при свободной конвекции [18]:

$$\alpha_k = A \sqrt[3]{|t_{\text{ж}} - \tau_{\text{пов}}|}, \quad (1.5)$$

где коэффициент $A = 2,16$ — для горизонтальной нагретой поверхности, обращенной вверх, или горизонтальной охлажденной, обращенной вниз; $A = 1,66$ — для вертикальной поверхности и $A = 1,16$ — для горизонтальной охлажденной поверхности, обращенной вверх, или горизонтальной нагретой, обращенной вниз;

— для конвективного теплообмена между потоком воды, движущейся по трубопроводу, и стенкой этого трубопровода при вынужденной конвекции по данным [31] и некоторых других источников:

$$\alpha_k = \left(1630 + 21t_{\text{cp}} - 0,048t_{\text{cp}}^2\right) \frac{w^{0,8}}{d_{\text{в}}^{0,2}}, \quad (1.6)$$

где t_{cp} — средняя температура воды, °С;

w — скорость движения воды в трубопроводе, м/с;

$d_{\text{в}}$ — внутренний диаметр трубопровода, м.

Излучение (теплообмен излучением) — процесс переноса теплоты между телами с помощью электромагнитных волн. Такой способ теплопередачи возможен даже в вакууме.

Плотность потока теплоты $q_{\text{л}}$, Вт/м², излучаемой плоской поверхностью с температурой T , К, определяется по закону Стефана—Больцмана:

$$q_{\text{л}} = \varepsilon \sigma_0 T^4, \quad (1.7)$$

где ε — степень черноты тела (для реальных тел $\varepsilon < 1$);

σ_0 — излучательная способность абсолютно черного тела, $\sigma_0 = 5,67$ Вт/(м²·К⁴).

Из закона Стефана—Больцмана определяется полное количество теплоты $Q_{\text{л}}$, Вт, излучаемой поверхностью площадью A_1 , м², имею-

щей абсолютную температуру T_1 , К, на поверхность площадью A_2 с температурой T_2 по формуле

$$Q_{\text{л}} = C_{\text{пр}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] A_1 \varphi_{1-2}, \quad (1.8)$$

где $C_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент излучения системы тел, между которыми происходит лучистый теплообмен, Вт/(м²·К);

φ_{1-2} — коэффициент облученности с первой поверхности на вторую, зависящий от взаимного положения и размеров поверхностей и показывающий долю лучистого потока, приходящуюся на поверхность A_2 от всего потока, излучаемого поверхностью A_1 . По закону взаимности лучистых потоков произведение $A_1 \varphi_{1-2}$ можно заменить на $A_2 \varphi_{2-1}$, где φ_{2-1} — коэффициент облученности со второй поверхности на первую.

Коэффициент $C_{\text{пр}}$, Вт/м², равен $10^8 \sigma_0 \varepsilon_{\text{пр}} = 5,67 \varepsilon_{\text{пр}}$, где $\varepsilon_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент теплового излучения при теплообмене между двумя серыми поверхностями (приведенная степень черноты системы тел), в первом приближении равный произведению $\varepsilon_1 \varepsilon_2$ степеней черноты обеих поверхностей. Для некоторых вариантов взаимного расположения существуют более точные формулы, например для двух параллельных поверхностей, расположенных на сравнительно близком расстоянии:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}. \quad (1.9)$$

В инженерных расчетах для определения лучистого теплообмена пользуются более простой формулой:

$$Q_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} (t_1 - t_2) A, \quad (1.10)$$

где $\alpha_{\text{л}}$ — коэффициент лучистого теплообмена на поверхности, Вт/(м²·К), равный $b C_{\text{пр}}$. Параметр b нужен для перехода от разностей четвертых степеней температуры в (1.8) к разности первых степеней в (1.10). В расчетах лучистого теплообмена в помещении $\alpha_{\text{л}}$ принимается равным около 4,9 Вт/(м²·К), поскольку для строительных

материалов $\varepsilon_{\text{пр}} \approx 0,9$, а коэффициент b при температурах $+15...+25^\circ\text{C}$ близок к единице;

t_1 и t_2 — температуры поверхностей, $^\circ\text{C}$;

A — площадь излучающей поверхности, м^2 .

1.2. Теплопередача через многослойную стенку

Тепловой поток через многослойную стенку с плотностью q , $\text{Вт}/\text{м}^2$, при заданных температурах внутреннего $t_{\text{в}}$, $^\circ\text{C}$, и наружного $t_{\text{н}}$ (предполагается, что $t_{\text{в}} > t_{\text{н}}$) воздуха определяется по формуле

$$q = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_{\text{о}}^{\text{пр}}}, \quad (1.11)$$

где $R_{\text{о}}^{\text{пр}}$ — приведенное сопротивление ограждения теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$, численно равно разности температур $t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$, необходимой для получения плотности теплового потока $q = 1 \text{ Вт}/\text{м}^2$. В общем случае оно рассчитывается с учетом теплотехнических неоднородностей в конструкции (п. 2.1). Для однородных конструкций $R_{\text{о}}^{\text{пр}} = R_{\text{в}} + \sum R_{\text{сл},i} + R_{\text{н}}$, где $R_{\text{в}} = 1/\alpha_{\text{в}}$ и $R_{\text{н}} = 1/\alpha_{\text{н}}$ — соответственно сопротивления теплообмену на внутренней и наружной поверхностях стенки. В данном случае $\alpha_{\text{в}} = \alpha_{\text{в},\text{к}} + \alpha_{\text{в},\text{л}}$ и $\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{н},\text{к}} + \alpha_{\text{н},\text{л}}$ — коэффициенты полного теплообмена на внутренней и наружной поверхностях, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$, складывающиеся из конвективной и лучистой составляющих, определяемых, как было указано выше.

Величина, обратно пропорциональная приведенному сопротивлению теплопередаче $R_{\text{о}}^{\text{пр}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$, называется коэффициентом теплопередачи ограждения K , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$. Параметр K показывает, какое количество теплоты в ваттах проходит в стационарных условиях через 1 м^2 площади ограждения при разности температур внутреннего и наружного воздуха $t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$ в 1°C :

$$K = \frac{1}{R_{\text{о}}^{\text{пр}}}. \quad (1.12)$$

Значения температуры $\tau_{\text{в}}$ на внутренней поверхности стенки и в любом промежуточном сечении $\tau_{\text{в}-x}$ ограждения определяются по формулам:

$$\tau_{\text{в}} = t_{\text{в}} - \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{о}}^{\text{пр}}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}); \quad \tau_{\text{в}-x} = t_{\text{в}} - \frac{R_{\text{в}-x}}{R_{\text{о}}^{\text{пр}}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (1.13)$$

где $R_{в-х}$ — сопротивление теплопередаче от внутренней среды помещения до рассматриваемого сечения x ограждения, равное сумме $R_{в}$ и сопротивлений слоев стенки от внутренней поверхности до данного сечения.

Расчетные величины и $\alpha_{в}$, $\alpha_{н}$ приведены в СП 50.13330.2012 [5]. Для наружных стен обычно $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_{н} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Примерный вид поперечного профиля температуры в сечении многослойной стены показан на рис. 1.2. В каждом слое профиль является линейным, а из уравнения (1.1) следует, что наклон профиля больше в том слое, где λ меньше, поскольку величина q в каждом слое в стационарных условиях одна и та же.

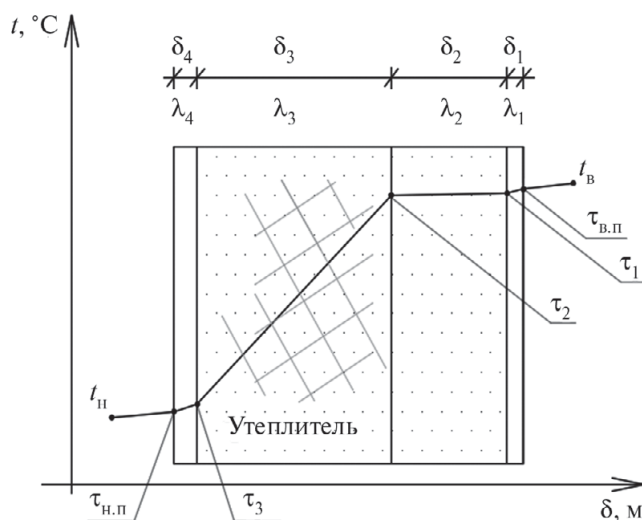


Рис. 1.2. Примерный вид температурного профиля в сечении наружной стены

В некоторых случаях необходимо бывает вычислить температуру в наружном углу помещения на стыке двух наружных стен, так как она там ниже, чем $\tau_{в}$. Это можно сделать по формуле [27]:

$$\tau_{уг} = t_{в} - A \left(\frac{R_{в}}{R_{о}} \right)^{2/3} (t_{в} - t_{н}), \quad (1.14)$$

где $A = 1$ — для однослойной конструкции и $0,75$ — для многослойной с внутренним теплопроводным слоем.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое теплопередача?
2. Что такое теплопроводность?
3. Как записывается уравнение Фурье?
4. Что такое теплопроводность материала?
5. Что такое конвективный теплообмен?
6. Что такое конвективная теплоотдача?
7. Какие бывают виды конвекции?
8. Как определяется коэффициент конвективного теплообмена?
9. Что такое теплообмен излучением?
10. Как записывается закон Стефана—Больцмана?
11. Что такое коэффициент облученности?
12. Как определяется коэффициент лучистого теплообмена?
13. Как определяется приведенное сопротивление ограждения теплопередаче?
14. Что такое коэффициент теплопередачи ограждения и как он определяется?
15. Как рассчитываются температуры в промежуточных сечениях многослойной стены?
16. Как рассчитывается температура в наружном углу помещения?

Глава 2

ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ И ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМЫ ЗДАНИЙ

2.1. Нормирование теплозащиты наружных ограждений

Уровень теплозащиты ограждающих конструкций определяется их величиной $R_o^{тр}$. Ее значения нормируются в СП 50.13330.2012 [5].

Сопротивление ограждений теплопередаче из условия энергосбережения $R_o^{тр}$, $m^2 \cdot K / Вт$, принимается в зависимости от градусо-суток отопительного периода ГСОП, $^{\circ}C \text{ сут/год}$, в районе строительства по табл. 3 СП 50.13330.2012 [5]:

$$ГСОП = (t_{в.от} - t_{от}) z_{от}. \quad (2.1)$$

В [32] было проанализировано, что величина ГСОП характеризует суровость климата и вычисляется через значения $t_{от}$ и $z_{от}$ — среднюю температуру наружного воздуха в районе строительства за отопительный период и его продолжительность, определяемые по СП 131.13330.2012 [6], а также среднюю температуру внутреннего воздуха в помещениях здания для расчета системы отопления $t_{в.от}$, принимаемую по ГОСТ 30494—2011 [1] (см. Приложение). По СП 60.13330.2016 [7] величину $t_{в.от}$, $^{\circ}C$, принимают для общественных зданий как минимальную из допустимых в холодный период года и как минимальную из оптимальных — для жилых зданий.

Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций можно определять по формуле $R_o^{тр} = a \cdot ГСОП + b$, где a и b принимаются по табл. 2.1.

По СП 50.13330.2012 [5] сопротивление теплопередаче для входных дверей в здание выбирается по санитарно-гигиеническим требованиям по формуле

$$R_o^{тр} = 0,6 \frac{t_{в.от} - t_{нБ}}{\alpha_b \Delta t^H}, \quad (2.2)$$

где $t_{нБ}$ — расчетная температура наружного воздуха в районе строительства в холодный период года по параметрам «Б», равная температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 и принимаемая по СП 131.13330.2012 [6];

α_b — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности конструкции, $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

Δt^H — нормируемый перепад температур между воздухом помещения и внутренней поверхностью, принимаемый для зданий 1-й группы в размере 4°С , а для зданий 2-й группы — $4,5^\circ \text{С}$.

Таблица 2.1

Коэффициенты a и b для различных наружных ограждений [5]

Наименование ограждения	Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития (здания 1-й группы)		Общественные здания, кроме зданий 1-й категории, административные и бытовые, производственные и другие здания и помещения с влажным или мокрым режимом (здания 2-й группы)	
	a	b	a	b
Наружная стена (НС)*	0,00035	1,4	0,0003	1,2
Пол над неотапливаемым подвалом (ПЛ), чердачное перекрытие (ПТ)	0,00045	1,9	0,00035	1,3
Бесчердачное покрытие	0,0005	2,2	0,0004	1,6
Окна (ДО, ТО, ЧО)**	По табл. 2.2	По табл. 2.2	0,00005	0,2

* в скобках — сокращенные обозначения ограждений, используемые в расчете теплопотерь (см. далее);

** ДО — двойное остекление, ТО — тройное, ЧО — четырехслойное (в зависимости от принятого типа окон — см. далее)

Таблица 2.2

Значения R_o^{TP} [5] для окон в зданиях 1-й группы

ГСОП	2000	4000	6000	8000	10 000	12 000
R_o^{TP}	0,3	0,45	0,6	0,7	0,75	0,8

Подробнее о выборе климатических параметров будет сказано далее. Для других ограждающих конструкций также вводятся санитарно-гигиенические требования, которые сводятся в основном к проверке отсутствия конденсации водяных паров на внутренней поверхности ограждений (см. п. 2.2) и поддержанию допустимой

величины Δt^H , но определяемые по ним значения R_o^{np} всегда ниже, чем вычисляемые через ГСОП, поэтому для дальнейшего расчета они не используются.

Вычисление толщины утеплителя с учетом теплотехнических неоднородностей

В [32; 33] было показано, что согласно СП 50.13330.2012 [5] расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждения R_o^{np} , $m^2 \cdot K / Вт$, следует вести по формуле

$$R_o^{np} = \frac{1}{\sum U_i a_i + \sum \psi_j l_j + \sum \chi_k n_k}, \quad (2.3)$$

где a_i — площадь плоского элемента конструкции i -го вида, приходящаяся на $1 m^2$ фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, m^2/m^2 . Если речь идет отдельно о наружной стене, можно принимать $a = 1 m^2/m^2$;

ψ_j — удельные потери теплоты через j -ю линейную теплотехническую неоднородность, $Вт/(м \cdot K)$;

χ_k — удельные потери теплоты через k -ю точечную теплотехническую неоднородность, $Вт/K$;

l_j и n_k — соответственно длина и количество теплотехнических неоднородностей, приходящихся на $1 m$ поверхности ограждения.

$$U = \frac{1}{R_o^{ysl}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_v} + \sum R_{сл.i} + \frac{1}{\alpha_n}}, \quad (2.4)$$

где R_o^{ysl} — условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки здания i -го вида, $m^2 \cdot K / Вт$ (без учета теплотехнической неоднородности);

α_v и α_n — соответственно коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции, $Вт/(m^2 \cdot K)$. Для наружной стены можно принимать $\alpha_v = 8,7 Вт/(m^2 \cdot K)$; $\alpha_n = 23 Вт/(m^2 \cdot K)$;

$\sum R_{сл.i}$ — суммарное термическое сопротивление всех слоев однородной части фрагмента конструкции, $m^2 \cdot K / Вт$ (см. п. 1.1). При этом для каждого слоя $R_i = \delta_i / \lambda_i$, где δ_i , m , и λ_i , $Вт/(м \cdot K)$ — соответственно толщина и теплопроводность материала i -го слоя.

Таким образом, величина U — это удельный тепловой поток по глади конструкции (т.е. без учета теплопроводных включений), Вт/(м²·К).

Поскольку нормируется именно величина $R_0^{\text{нр}}$, из формулы (2.3) получаем

$$\sum U_i a_i + \sum \psi_j l_j + \sum \chi_k n_k = \frac{1}{R_0^{\text{нр}}} = K, \quad (2.5)$$

где K — коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м²·К), $K = 1 / R_0^{\text{нр}}$, откуда требуемое значение U определяется исходя из обеспечения необходимой величины $R_0^{\text{нр}}$, принимаемой по величине ГСОП:

$$U_{\text{тр}} = K - \sum \psi_j l_j - \sum \chi_k n_k. \quad (2.6)$$

После этого из уравнения (2.4) можно выразить обычным способом требуемое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя:

$$R_{\text{ут}} = \frac{1}{U_{\text{тр}}} - \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum R_{\text{к.и}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right), \quad (2.7)$$

где $\sum R_{\text{к.и}}$ — суммарное термическое сопротивление всех слоев конструкции, за исключением утеплителя, м²·К/Вт, вычисляемое исходя из конструкции наружной стены: $\sum R_{\text{к.и}} = \sum (\delta_i / \lambda_i)$, здесь δ_i и λ_i — соответственно толщина, м, и теплопроводность материала, Вт/(м·К), для каждого из конструктивных слоев.

Отсюда требуемая толщина слоя утеплителя: $\delta_{\text{ут}} = R_{\text{ут}} \lambda_{\text{ут}}$, м, где $\lambda_{\text{ут}}$ — теплопроводность материала утеплителя, Вт/(м·К), принимаемая по СП 50.13330.2012 [5]. Затем вычисляется коэффициент теплотехнической однородности: $r = U_{\text{тр}} / K$ (для оценки эффективности использования утеплителя).

Выбор заполнения оконных проемов

В [25] автором О.Д. Самариным было показано, что по величине $R_0^{\text{тр}}$ для окон выбирается тип остекления по табл. 2.3 ([5] и его предыдущая редакция 2004 г.) так, чтобы фактическое значение сопротивления теплопередаче R_0 было ближайшим бóльшим к $R_0^{\text{тр}}$.