

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры
«Санитарно-технические системы»
« 20 » января 2022 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ
(МОДУЛЯ)**

«Строительная теплофизика»

**основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата**

по направлению подготовки
08.03.01 – "Строительство"

с профилем
"Теплогазоснабжение и вентиляция"

Форма(ы) обучения: *очная, заочная, заочная сокращенная*

Идентификационный номер образовательной программы: 080301-06-22

Тула 2022 год

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ
методических указаний к практическим занятиям

Разработчик:

Титов Д.Ю. доцент, к.т.н.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания содержат методы проектирования, расчета теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, рекомендации и справочные материалы, позволяющие реализовывать требования СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий".

Методические указания позволяют проектировать здания с рациональным использованием энергии путем выявления суммарного энергетического эффекта от использования архитектурных, строительных и инженерных решений, направленных на экономию энергетических ресурсов.

В методических указаниях приведены рекомендации по выбору уровня теплозащиты на основе теплового баланса здания, по расчету приведенного сопротивления теплопередаче неоднородных ограждающих конструкций, требования к конструктивным и архитектурным решениям зданий с точки зрения их теплозащиты. Описаны методы определения сопротивления воздухо-, паропроницанию, теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций, теплоэнергетических параметров здания.

1. ТЕПЛОВОЙ, ВОЗДУШНЫЙ И ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМЫ ПОМЕЩЕНИЙ.

Тепловым режимом помещения в здании называется совокупность всех факторов и процессов, определяющих тепловую обстановку в нем.

Помещения в здании изолированы от внешней среды, что позволяет создать в них необходимый микроклимат. Наружные ограждения защищают от непосредственных климатических воздействий, а системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха поддерживают в помещениях в течение всего года определенные параметры внутренней среды.

Комплекс инженерных средств и устройств по обеспечению заданных метеорологических условий в помещениях называется *системой кондиционирования микроклимата (СКМ)* здания. СКМ включает в себя конструктивные (ограждающие конструкции) и объемно-планировочные средства защиты помещений от внешних климатических воздействий, а также системы отопления, охлаждения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Весь этот комплекс инженерных средств направлен прежде всего на обеспечение требуемого теплового режима здания. Тепловым режимом здания называется совокупность факторов и процессов, которые под влиянием внешних, внутренних воздействий и принятых инженерных устройств формируют тепловую обстановку в его помещениях.

Система отопления, таким образом, является одной из составляющих СКМ, обеспечивающей заданный тепловой режим зданий в холодный период года.

В холодный период года под влиянием низкой температуры наружного воздуха и ветра через наружные ограждения происходит потеря теплоты и их внутренние поверхности, обращенные в помещения, оказываются относительно холодными. В то же время поверхности отопительных устройств в помещении имеют повышенную температуру.

Холодные и нагретые поверхности вызывают в помещении конвективные воздушные потоки, которые тем интенсивнее, чем больше температура поверхностей отличается от температуры внутреннего воздуха.

Инфильтрация наружного воздуха через ограждения и действие нагретых или охлажденных струй воздуха, подаваемых в помещение вентиляционными системами, также вызывают определенную подвижность воздуха в помещении. Нагретые и холодные поверхности являются источниками лучистого теплообмена в помещении.

Интенсивные токи холодного воздуха и потеря теплоты излучением, а также чрез-

мерное количество поступающей в воздух или излучаемой теплоты создают у людей, находящихся в помещении, ощущение неприятного переохлаждения или перегревания. При определенных условиях такая обстановка может привести к простудным и другим заболеваниям.

Решая задачу отопления здания, необходимо рассчитать ограждения и обогревающие устройства так, чтобы они обеспечивали требуемые тепловые условия в обслуживаемой зоне помещения прежде всего в *наиболее суровый период зимы*, который считается расчетным.

2. ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ

2.1 НАРУЖНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Расчетную температуру наружного воздуха t_{ext} , °С, следует принимать по средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 согласно СНиП 23-01 для соответствующего городского или сельского населенного пункта. При отсутствии данных для конкретного пункта расчетную температуру следует принимать для ближайшего пункта, который указан в СНиП 23-01.

Продолжительность отопительного периода z_{ht} , сут, и среднюю температуру наружного воздуха t_{ht} , °С, в течение отопительного периода следует принимать согласно СНиП 23-01 (таблица 1, графы 13 и 14 - для медицинских и детских учреждений, графы 11 и 12 - в остальных случаях) для соответствующего города или населенного пункта. При отсутствии данных для конкретного пункта расчетные параметры отопительного периода следует принимать для ближайшего пункта, который указан в СНиП 23-01. Величину градусо-суток D_d в течение отопительного периода следует вычислять по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht}, \quad (1)$$

где t_{int} - расчетная средняя температура внутреннего воздуха, °С, определяемая согласно указаниям 2.2.

Средний удельный вес наружного воздуха в течение отопительного периода γ_a^{ht} , Н/м³, следует рассчитывать по формуле

$$\gamma_a^{ht} = 3463 / (273 + t_{ht}), \quad (2)$$

Среднюю плотность приточного воздуха за отопительный период ρ_a^{ht} , кг/м³, следует рассчитывать по формуле

$$\rho_a^{ht} = 353 / [273 + 0,5(t_{int} + t_{ext})], \quad (3)$$

2.2 ПАРАМЕТРЫ ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ

Параметры воздуха внутри жилых и общественных зданий из условия комфортности следует определять согласно таблице 1.1 - для холодного периода года, и таблице 2 - для теплого периода года. Параметры воздуха внутри зданий производственного назначения следует принимать согласно ГОСТ 12.1.005 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений.

Таблица 2.1 - Оптимальная температура и допустимая относительная влажность воздуха внутри здания для холодного времени года

| № п.п. | Тип здания | Температура воздуха внутри здания t_{int} , °C | Относительная влажность внутри здания φ_{int} , %, не более |
|---|-----------------------------------|--|---|
| | Жилые | 20-22 | 55 |
| | Поликлиники и лечебные учреждения | 21-22 | 55 |
| | Дошкольные учреждения | 22-23 | 55 |
| <p>Примечания</p> <p>1 Для зданий, не указанных в таблице, температуру воздуха t_{int}, относительную влажность воздуха φ_{int} внутри зданий и соответствующую им температуру точки росы следует принимать согласно ГОСТ 30494 и нормам проектирования соответствующих зданий.</p> <p>2 Параметры микроклимата специальных общеобразовательных школ-интернатов, детских дошкольных и оздоровительных учреждений следует принимать в соответствии с действующими санитарными правилами и нормами Министерства здравоохранения.</p> | | | |

Таблица 2.2 - Допустимые температура и относительная влажность воздуха внутри здания для теплого периода года

| № п.п. | Тип здания | Температура воздуха внутри здания t_{int} , °C | Относительная влажность внутри здания φ_{int} , %, не более |
|--------|-----------------------------------|--|---|
| | Жилые | 24-28 | 60 |
| | Поликлиники и лечебные учреждения | 24-28 | 60 |
| | Дошкольные учреждения | 24-28 | 60 |

Расчетная относительная влажность воздуха внутри жилых и общественных зданий должна быть не выше значений, приведенных в графе 4 таблиц 1 и 2: внутри зданий производственного назначения - по ГОСТ 12.1.005 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений.

Обеспеченность условий эксплуатации ограждающих конструкций следует устанавливать в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности следующим образом:

- определяют по карте зону влажности (влажная, нормальная, сухая) согласно приложению В СНиП 23-02; при этом в случае попадания пункта на границу зон влажности следует выбирать более влажную зону;
- определяют влажностный режим помещений (сухой, нормальный, влажный или мокрый) в зависимости от расчетной относительной влажности и температуры внутреннего воздуха в соответствии с таблицей 1 СНиП 23-02;
- устанавливают согласно таблице 2 СНиП 23-02 условия эксплуатации ограждающих конструкций (А или Б) в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности.

Расчетная температура воздуха внутри жилых и общественных зданий t_{int} для холодного периода года должна быть не ниже минимальных значений оптимальных температур, приведенных в таблице 1 согласно ГОСТ 30494 и СанПиН 2.1.2.1002. Для остальных зданий, не указанных в таблице 1, параметры воздуха следует принимать по мини-

мальным значениям оптимальной температуры по ГОСТ 30494, ГОСТ 12.1.005 и нормам проектирования соответствующих зданий. Расчетная температура воздуха внутри здания $t_{вн}$ для теплого периода года должна быть не выше допустимых значений, приведенных в таблице 2 согласно ГОСТ 30494.

Температура внутренних поверхностей наружных ограждений здания, где имеются теплопроводные включения (диафрагмы, сквозные включения цементно-песчаного раствора или бетона, межпанельные стыки, жесткие соединения и гибкие связи в многослойных панелях, оконные обрамления и т.д.), в углах и на оконных откосах не должна быть ниже, чем температура точки росы воздуха внутри здания $t_{р}$ (таблица 1.3) при расчетной относительной влажности $\varphi_{вн}$ и расчетной температуре $t_{вн}$ внутреннего воздуха (таблица 21.1). Для жилых и общественных зданий температура точки росы $t_{р}$ приведена в таблице 2.3 при соответствующих минимальных температурах и относительной влажности, приведенных в таблице 2.1.

Таблица 2.3 - Температура точки росы воздуха внутри здания для холодного периода года

| п.п | Тип здания | Температура точки росы $t_{р}$, °C |
|-----|--|-------------------------------------|
| | Жилые, школьные и другие общественные здания (кроме приведенных в 2 и 3) | 10,7 |
| | Поликлиники и лечебные учреждения | 11,6 |
| | Дошкольные учреждения | 12,6 |

2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТАПЛИВАЕМЫХ ПЛОЩАДЕЙ И ОБЪЕМОВ ЗДАНИЙ

Отапливаемую площадь здания следует определять как площадь этажей (в том числе и мансардного, отапливаемого цокольного и подвального) здания, измеряемую в пределах внутренних поверхностей наружных стен, включая площадь, занимаемую перегородками и внутренними стенами. При этом площадь лестничных клеток и лифтовых шахт включается в площадь этажа.

В отапливаемую площадь здания не включаются площади теплых чердаков и подвалов, неотапливаемых технических этажей, подвала (подполья), холодных неотапливаемых веранд, неотапливаемых лестничных клеток, а также холодного чердака или его части, не занятой под мансарду.

При определении площади мансардного этажа учитывается площадь с высотой до наклонного потолка 1,2 м при наклоне 30° к горизонту; 0,8 м - при 45° - 60°; при 60° и более - площадь измеряется до плинтуса.

Площадь жилых помещений здания подсчитывается как сумма площадей всех общих комнат (гостиных) и спален.

Отапливаемый объем здания определяется как произведение отапливаемой площади этажа на внутреннюю высоту, измеряемую от поверхности пола первого этажа до поверхности потолка последнего этажа.

При сложных формах внутреннего объема здания отапливаемый объем определяется как объем пространства, ограниченного внутренними поверхностями наружных ограждений (стен, покрытия или чердачного перекрытия, цокольного перекрытия).

Для определения объема воздуха, заполняющего здание, отапливаемый объем умножается на коэффициент 0,85.

Площадь наружных ограждающих конструкций определяется по внутренним разме-

рам здания. Общая площадь наружных стен (с учетом оконных и дверных проемов) определяется как произведение периметра наружных стен по внутренней поверхности на внутреннюю высоту здания, измеряемую от поверхности пола первого этажа до поверхности потолка последнего этажа с учетом площади оконных и дверных откосов глубиной от внутренней поверхности стены до внутренней поверхности оконного или дверного блока. Суммарная площадь окон определяется по размерам проемов в свету. Площадь наружных стен (непрозрачной части) определяется как разность общей площади наружных стен и площади окон и наружных дверей.

Площадь горизонтальных наружных ограждений (покрытия, чердачного и цокольного перекрытия) определяется как площадь этажа здания (в пределах внутренних поверхностей наружных стен).

При наклонных поверхностях потолков последнего этажа площадь покрытия, чердачного перекрытия определяется как площадь внутренней поверхности потолка.

2.4 ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ.

1. Выбрать расчетные параметры наружного воздуха для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

2. Выбрать расчетные параметры внутреннего воздуха для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

3. Определить величину градусо-суток D_d в течение отопительного периода для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

4. Средний удельный вес наружного воздуха в течение отопительного периода для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

5. Среднюю плотность приточного воздуха за отопительный период для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

6. Отапливаемую площадь здания расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

3. СТАЦИОНАРНАЯ И НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПО- И ВЛАГОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ.

3.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

При проектировании теплозащиты используют следующие расчетные показатели строительных материалов и конструкций (по приложению Д для условий эксплуатации ограждающих конструкций А или Б согласно СНиП 23-02):

- расчетный коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°C);
- коэффициент теплоусвоения (при периоде 24 ч) ε , Вт/(м²·°C);
- удельная теплоемкость (в сухом состоянии) c_0 , кДж/(кг·°C);
- коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па), или сопротивление паропроницаемости $R_{\mu F}$, м²·ч·Па/мг;
- термическое сопротивление воздушных прослоек R_{aI} , м²·°C/Вт;
- сертифицированные значения приведенного сопротивления теплопередаче окон, балконных дверей, фонарей R_{oF}^r , м²·°C/Вт;
- сертифицированные значения коэффициентов затенения непрозрачными элементами τ и относительного пропускания солнечной радиации окон k ;
- сопротивление воздухопроницанию R_a , м²·ч·Па/кг, или его сертифицированные значения, м²·ч/кг, для окон и балконных дверей;
- коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью ограждения ρ_s ;
- коэффициент теплового излучения поверхности (тепловая эмиссия) ε .

Примечание - Допускается расчетные теплотехнические показатели эффективных теплоизоляционных материалов (минераловатных, стекловолоконистых и полимерных), а также материалов, не приведенных в приложении Д СП 23-101-2004, принимать согласно теплотехническим испытаниям Е, проведенным аккредитованными испытательными лабораториями.

3.2. РАСЧЕТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

В соответствии с разделом 5 СНиП 23-02 наружные ограждающие конструкции зданий должны удовлетворять:

- нормируемому сопротивлению теплопередаче R_{req} для однородных конструкций наружного ограждения - по R_o , для неоднородных конструкций - по приведенному сопротивлению теплопередаче R_o^r ; при этом должно соблюдаться условие R_o (или R_o^r) $\geq R_{req}$;
- расчетному температурному перепаду Δt_0 между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, определяемому по формуле (4) СНиП 23-02; при этом расчетный температурный перепад не должен превышать нормируемых величин Δt_n , установленных в таблице 5 СНиП 23-02;
- минимальной температуре, равной температуре точки росы t_d при расчетных условиях внутри помещения на всех участках внутренней поверхности наружных ограждений с температурами t_{int} ; при этом должно соблюдаться условие $t_{int} \geq t_d$.

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0^r для наружных стен следует рассчитывать для фасада здания либо для одного промежуточного этажа с учетом откосов проемов без учета их заполнений с проверкой условия на невыпадение конденсата на участках в зонах теплопроводных включений.

Проводят следующие расчетно-проектные операции:

а) определяют условия эксплуатации ограждающих конструкций в зависимости от влажностного режима помещений и зоны влажности района строительства согласно СНиП 23-02 и устанавливают в зависимости от условий эксплуатации А или Б расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий, примененных в проекте;

б) для теплотехнически неоднородных наружных ограждающих конструкций, содержащих углы, проемы, соединительные элементы между наружными облицовочными слоями (ребра, шпонки, стержневые связи), сквозные и несквозные теплопроводные включения, осуществляют теплотехнический расчет выбранных конструктивных решений на основе расчета температурных полей. Для многослойных ограждений возможно определение R_0^r с использованием расчета коэффициента теплотехнической однородности r .

Для многослойных ограждений с металлическими облицовочными слоями R_0^r предпочтительно определять согласно;

в) приведенное сопротивление теплопередаче R_0^r светопрозрачных конструкций принимают по результатам сертификационных испытаний, проведенных аккредитованными испытательными лабораториями;

г) приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций по грунту R_0^r рассчитывают согласно СНиП 41-01.

3.3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ

Ограждающую конструкцию разбивают на расчетные (двухмерные или трехмерные в отношении распределения температур) участки.

При определении приведенного сопротивления теплопередаче R_0^r , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, по данным расчета стационарного двухмерного температурного поля различают два случая:

а) исследуемая область, выделенная для расчета температурного поля, представляет собой фрагмент ограждающей конструкции, для которого надлежит определить величину R_0^r ;

б) исследуемая область, для которой рассчитывается температурное поле, меньше по размеру, чем анализируемый фрагмент ограждающей конструкции.

В первом случае искомая величина R_0^r вычисляется по формуле

$$R_0^r = (t_{int} - t_{ext}) L / \sum Q, \quad (3.1)$$

где $\sum Q$ - сумма тепловых потоков, пересекающих исследуемую область, $\text{Вт}/\text{м}^2$, определенная в результате расчета температурного поля;

t_{int} и t_{ext} - соответственно температура внутреннего и наружного воздуха, $^\circ\text{C}$;

L - протяженность исследуемой области, м.

Во втором случае R_0^r определяют по формуле

$$R_0^r = (t_{int} - t_{ext}) / L [\sum Q + (t_{int} - t_{ext}) L_{con} / R_0^{con}], \quad (3.2)$$

где L_{con} - протяженность, м, однородной части фрагмента ограждающей конструкции, отсеченной от исследуемой области в ходе подготовки данных к расчету температурного поля;

R_0^{con} - сопротивление теплопередаче однородной ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

При расчете двухмерного температурного поля выбранный участок вычерчивают в определенном масштабе и на основании чертежа составляют схему расчета, упрощая ее для удобства разбиения на участки и блоки. При этом:

а) заменяют сложные конфигурации участков, например криволинейные, более простыми, если эта конфигурация имеет незначительное влияние в теплотехническом отношении;

б) наносят на чертеж границы области исследования и оси координат (x, y или r, z). Выделяют участки с различными теплопроводностями и указывают условия теплообмена на границах. Проставляют все необходимые размеры;

в) расчленяют область исследования на элементарные блоки, выделяя отдельно участки с различными коэффициентами теплопроводности. Вычерчивают в масштабе схему расчленения исследуемой области и проставляют размеры всех блоков;

г) вычерчивают область исследования в условной системе координат x', y' , когда все блоки принимаются одного и того же размера. Проставляют координаты вершин полигонов, ограничивающих участки области с различными теплопроводностями, и координаты вершин многоугольников, образующих границы исследуемой области. Нумеруют участки и границы исследуемой области и подписывают вершины областей теплопроводностей, температур (или тепловых потоков) на границах или окружающего воздуха и коэффициентов теплоотдачи;

Пример расчета 1

Требуется определить приведенное сопротивление теплопередаче трехслойной металлической стеновой панели из листовых материалов.

Исходные данные

1. Конструкция панели изображена на рисунке 3.1. Она состоит из двух стальных профилированных листов с коэффициентом теплопроводности $58 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, между которыми размещены минераловатные плиты "Роквул" плотностью $200 \text{ кг}/\text{м}^3$ с коэффициентом теплопроводности $0,05 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Листы соединяются между собой стальными профилями через бакелизированные фанерные прокладки толщиной 8 мм с коэффициентом теплопроводности $0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

2. В расчете приняты следующие условия на сторонах ограждения:

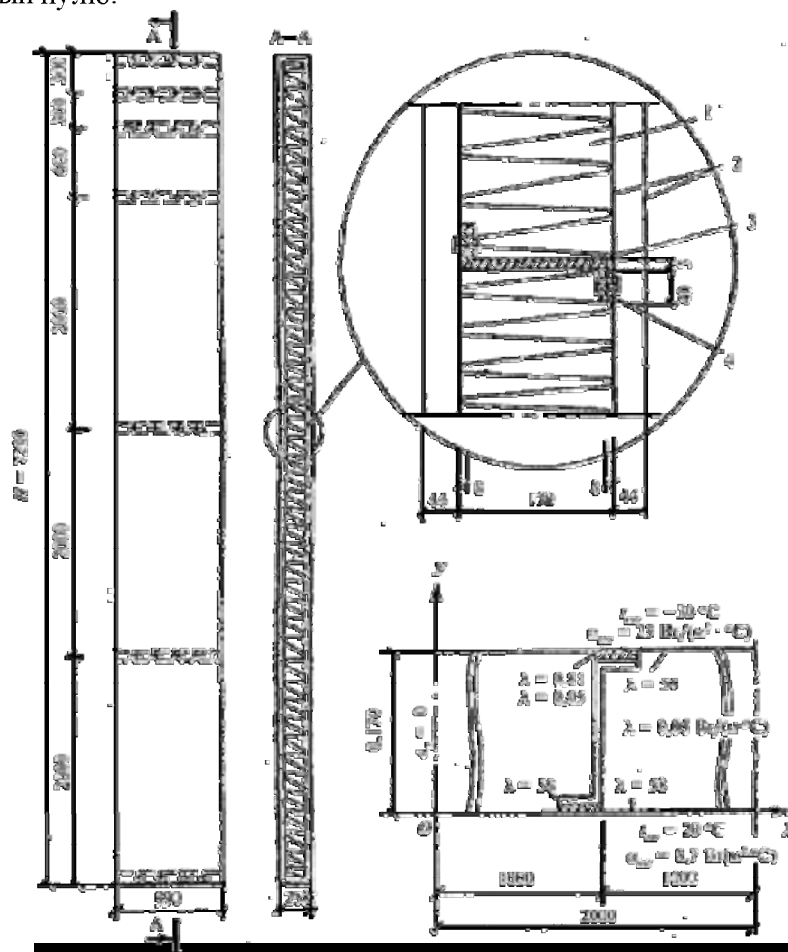
снаружи - $t_{ext} = -30 ^\circ\text{C}$ и $\alpha_{ext} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

внутри - $t_{int} = 20 ^\circ\text{C}$ и $\alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Порядок расчета

На процесс теплопередачи в рассматриваемой конструкции оказывают существенное влияние стальные профили, соединяющие профилированные листы обшивки друг с дру-

Исследуемая область (рисунок 3.1) имеет форму прямоугольника, две стороны которого являются естественными границами ограждающей конструкции, на которых задаются условия теплообмена с окружающей средой, а остальные две - осями симметрии, на которых возможно задавать условия полной теплоизоляции, т.е. тепловой поток в направлении оси OX , равный нулю.



- В результате расчета двухмерного температурного поля на ПК получен осредненный тепловой поток, проходящий через рассчитанный участок ограждающей конструкции, равный $Q = 32,66$ Вт. Площадь рассчитанного участка составляет $A = 2 \text{ м}^2$.

Приведенное сопротивление теплопередаче рассчитанного фрагмента по формуле (3.1)

$$R_0^* = (20 + 30)(2/32,66) = 3,06 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Для сравнения сопротивление теплопередаче вне теплопроводного включения, определенное по формуле (8), равно

$$R_0 = 1/23 + 0,0008/58 + 0,17/0,05 + 0,0008/58 + 1/8,7 = 3,56 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Температура внутренней поверхности в зоне теплопроводного включения по расчету на ПК равна $9,85^\circ\text{C}$. Проверим на условие выпадения конденсата при $t_{\text{int}} = 20^\circ\text{C}$ и $\varphi_{\text{int}} = 55\%$. Согласно приложению Р температура точки росы $t_d = 10,7^\circ\text{C}$, что выше температуры поверхности по теплопроводному включению, следовательно, при расчетной температуре наружного воздуха -30°C будет выпадение конденсата и конструкция нуждается в доработке.

Расчетную температуру наружного воздуха, при которой не будет выпадения конденсата, следует определять по формуле

$$\begin{aligned} t'_{\text{ext}} &= t_{\text{int}} - [(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})/(t_{\text{int}} - t'_{\text{int}})](t_{\text{int}} - t_d) = \\ &= 20 - [(20 + 30)/(20 - 9,85)](20 - 10,7) = -25,8^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

При подготовке к решению задач о стационарном трехмерном температурном поле выполняют следующий алгоритм:

а) выбирают требуемый для расчета участок ограждающей конструкции, трехмерный в отношении распределения температур. Вычерчивают в масштабе три проекции ограждающей конструкции и проставляют все размеры;

б) составляют схему расчета (рисунок 3.2), вычерчивая в аксонометрической проекции и определенном масштабе изучаемую часть ограждающей конструкции. При этом сложные конфигурации участков заменяют более простыми, состоящими из параллелепипедов. При такой замене необходимо учитывать влияющие в теплотехническом отношении детали конструкции. Наносят на чертеж границы области исследования и оси координат, выделяют в виде параллелепипедов участки с различными теплопроводностями, указывают условия теплообмена на границах и проставляют все размеры;

в) расчленяют область исследования на элементарные параллелепипеды плоскостями, параллельными координатным плоскостям XOY, ZOY, YOZ (рисунок 3.2), выделяя отдельно участки с различной теплопроводностью, вычерчивают в масштабе схему расчленения исследуемой области на элементарные параллелепипеды и проставляют размеры;

г) вычерчивают три проекции области исследования на координатные плоскости в условной системе координат X', Y', Z' , пользуясь схемами, выполненными согласно "б" и "в". Когда все элементарные параллелепипеды принимаются одного и того же размера, проставляют координаты вершин проекций параллелепипедов, ограничивающих участки области с различными теплопроводностями, и проекции плоскостей, образующих границы исследуемой области. Подписывают величины теплопроводностей, температуру на границах или окружающего воздуха и коэффициенты теплоотдачи;

д) составляют комплект исходных данных, пользуясь схемами "б", "в", "г".

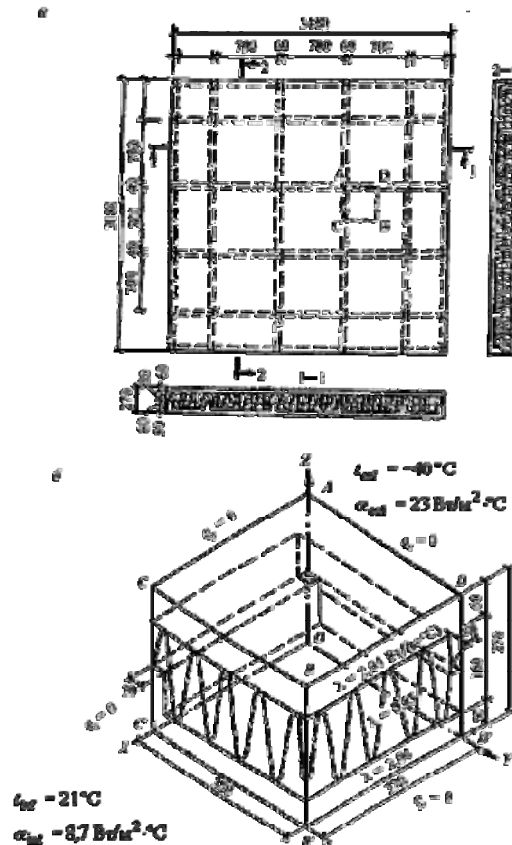


Рисунок 3.2 - Конструкция панели совмещенной крыши (а) и схема расчета панели совмещенной крыши (б)

Пример расчета 2

Определить приведенное сопротивление теплопередаче панели совмещенной крыши, выполненной из ребристых железобетонных оболочек.

Исходные данные

1. Конструкция панели совмещенной крыши (рисунок 3.2) размером 3180x3480x270 мм представляет в сечении трехслойную оболочку. Наружный и внутренний слои толщиной 50 и 60 мм из железобетона с коэффициентом теплопроводности 2,04 Вт/(м·°C). Средний теплоизоляционный слой из пенополистирольных плит с коэффициентом теплопроводности 0,05 Вт/(м·°C). Каждая из оболочек имеет параллельные один другому на расстоянии 700 мм ребра по 60 и 40 мм, доходящие до середины теплоизоляционного слоя. Ребра оболочек взаимно перпендикулярны и, таким образом, каждое ребро одной оболочки примыкает к ребру другой оболочки на площадке 60x40 мм.

2. В расчете приняты следующие условия на поверхностях ограждения

снаружи - $t_{вх} = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\alpha_{вх} = 23\text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$;

внутри - $t_{вн} = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\alpha_{вн} = 8,7\text{ Вт/(м}^2\cdot^{\circ}\text{C)}$.

Порядок расчета

Процесс теплопередачи такой ограждающей конструкции трехмерен, так как распределение температур определяется не только потоками теплоты, перпендикулярными плоско-

сти ограждения, но и потоками теплоты в его плоскости. Поле температур симметрично относительно координатных плоскостей, поэтому для расчета возможно вырезать исследуемую область конструкции плоскостями, параллельными координатным (на рисунке М.2, а помечено буквами $ADEC$). На рисунке 3.2, б представлено аксонометрическое изображение этой части конструкции. Условия теплообмена: на плоскостях $AOD'D$, $CC'OA$, $BB'D'D$, $CC'B'B$ тепловые потоки, перпендикулярные осям координат OX и OY , равны нулю; на плоскостях $ACBD$ и $OC'B'D'$ возможно задать граничные условия второго рода:

- для плоскости $ACBD$ $t_{ам} = -40^\circ\text{C}$ и $\alpha_{ам} = 23\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$;

- для плоскости $OC'B'D'$ $t_{мт} = 21^\circ\text{C}$ и $\alpha_{мт} = 8,7\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$

Согласно принятой методике расчета трехмерного температурного поля исследуемая область расчленяется на 3528 элементарных параллелепипедов. Расчет выполняется на ПК. В результате расчета получаем осредненный тепловой поток $Q=3,215\text{ Вт}$. Площадь рассчитанного фрагмента $A = 0,37\cdot 0,38 = 0,1406\text{ м}^2$.

Приведенное сопротивление теплопередаче рассчитанного участка и всей панели определяется по формуле (3.1)

$$R_0^* = [(21 + 40)0,1406]/3,215 = 2,668\text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

3.4 ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ.

1. Определить приведенное сопротивление теплопередаче трехслойной стеновой панели из листовых материалов для объекта расположенного в городе N (наименование материалов, назначение и № объекта см. прил. 1 и 2, номер задания соответствует номеру в списке группы).

2. Определить приведенное сопротивление теплопередаче панели совмещенной крыши, выполненной из различных материалов для объекта расположенного в городе N (наименование материалов, назначение и № объекта см. прил. 1 и 2, номер задания соответствует номеру в списке группы).

4. ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ОГРАЖДЕНИЯ И ПОМЕЩЕНИЯ

4.1. ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

При проектировании ограждающих конструкций с учетом их теплоустойчивости необходимо руководствоваться следующими положениями:

теплоустойчивость конструкции зависит от порядка расположения слоев материалов; величина затухания амплитуды колебаний температуры наружного воздуха ν в двухслойной конструкции увеличивается, если более теплоустойчивый материал расположен изнутри;

наличие в конструкции ограждения воздушной прослойки увеличивает теплоустойчивость конструкции. В замкнутой воздушной прослойке целесообразно устраивать теплоизоляцию с теплоотражающей поверхностью; слои конструкции, расположенные между вентилируемой наружным воздухом воздушной прослойкой и наружной поверхностью ограждающей конструкции, должны иметь минимально возможную толщину. Наиболее целесообразно выполнять эти слои из тонких металлических или асбестоцементных листов.

Теплоустойчивость ограждающей конструкции здания должна соответствовать требованиям СНиП 23-02; для этого определяют нормируемую амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции A_t^{req} , °C, по формуле (11) СНиП 23-02

$$A_t^{req} = 2,5 - 0,1(t_{ext} - 21), \quad (4.1)$$

где t_{ext} - средняя месячная температура наружного воздуха за июль, °C, принимаемая согласно СНиП 23-01.

Величину затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха ν в ограждающей конструкции, состоящей из однородных слоев, рассчитывают по формуле

$$\nu = 0,9 \cdot 2,718^{D/\sqrt{2}} \left[(\varepsilon_1 + \alpha_{int})(\varepsilon_2 + Y_1) \dots (\varepsilon_n + Y_{n-1}) \times \right. \\ \left. \times (\alpha_{ext} + Y_n) \right] / \left[(\varepsilon_1 + Y_1)(\varepsilon_2 + Y_2) \dots (\varepsilon_n + Y_n) \alpha_{ext} \right], \quad (4.2)$$

где D - тепловая инерция ограждающей конструкции, определяемая по формуле (53);

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), принимаемые по приложению Д или по результатам теплотехнических испытаний;

$Y_1, Y_2, \dots, Y_{n-1}, Y_n$ - коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C);

α_{ext} - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле

$$\alpha_{ext} = 1,16 \left(5 + 10 \sqrt{\nu} \right), \quad (4.3)$$

где ν - минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость ко-

торых составляет 16% и более, принимаемая согласно СНиП 23-01, но не менее 1 м/с.

Величину γ для многослойной неоднородной ограждающей конструкции с теплопроводными включениями в виде обрамляющих ребер принимают в соответствии с ГОСТ 26253.

11.1.4 Расчетную амплитуду колебаний температуры наружного воздуха $A_{t,ext}^{des}$, °С, рассчитывают по формуле

$$A_{t,ext}^{des} = 0,5A_{t,ext} + \rho(I_{max} - I_{av})/\alpha_{ext}, \quad (4.4)$$

где $A_{t,ext}$ - максимальная амплитуда температуры наружного воздуха в июле, °С, принимаемая согласно СНиП 23-01;

ρ - коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по таблице 4.1;

I_{max} , I_{av} соответственно максимальное и среднее значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), Вт/м²: для наружных стен - как для вертикальной поверхности западной ориентации, для покрытий - как для горизонтальной поверхности;

α_{ext} - то же, что и в формуле (4.3).

Таблица 4.1 - Коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции

| N п.п. | Материал наружной поверхности ограждающей конструкции | Коэффициент поглощения солнечной радиации ρ |
|--------|---|--|
| 1 | Алюминий | 0,5 |
| 2 | Асбестоцементные листы | 0,65 |
| 3 | Асфальтобетон | 0,9 |
| 4 | Бетоны | 0,7 |
| 5 | Дерево неокрашенное | 0,6 |
| 6 | Защитный слой рулонной кровли из светлого гравия | 0,65 |
| 7 | Кирпич глиняный красный | 0,7 |
| 8 | Кирпич силикатный | 0,6 |
| 9 | Облицовка природным камнем белым | 0,45 |
| 10 | Окраска силикатная темно-серая | 0,7 |
| 11 | Окраска известковая белая | 0,3 |
| 12 | Плитка облицовочная керамическая | 0,8 |
| 13 | Плитка облицовочная стеклянная синяя | 0,6 |
| 14 | Плитка облицовочная белая или палевая | 0,45 |
| 15 | Рубероид с песчаной посыпкой | 0,9 |
| 16 | Сталь листовая, окрашенная белой краской | 0,45 |
| 17 | Сталь листовая, окрашенная темно-красной краской | 0,8 |
| 18 | Сталь листовая, окрашенная зеленой краской | 0,6 |
| 19 | Сталь кровельная оцинкованная | 0,65 |
| 20 | Стекло облицовочное | 0,7 |
| 21 | Штукатурка известковая темно-серая или терракотовая | 0,7 |
| 22 | Штукатурка цементная светло-голубая | 0,3 |
| 23 | Штукатурка цементная темно-зеленая | 0,6 |
| 24 | Штукатурка цементная кремовая | 0,4 |

Расчетную амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции A_t^{des} , °С, рассчитывают по формуле

$$A_t^{des} = A_{t,ext}^{des} / \gamma, \quad (4.5)$$

где $A_{t,ext}^{des}$ - расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха, °C,

ν - величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха $A_{t,ext}^{des}$, в ограждающей конструкции.

Для определения коэффициентов теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции следует предварительно вычислить тепловую инерцию D каждого слоя по формуле (4.8).

Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя Y , Вт/(м²·°C), с тепловой инерцией $D \geq 1$ следует принимать равным расчетному коэффициенту теплоусвоения ε материала этого слоя конструкции по приложению Д, СП 23-101-2004.

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

а) для первого слоя - по формуле

$$Y_1 = (R_1 \varepsilon_1^2 + \alpha_{int}) / (1 + R_1 \alpha_{int}); \quad (4.6)$$

б) для i -го слоя - по формуле

$$Y_i = (R_i \varepsilon_i^2 + Y_{i-1}) / (1 + R_i Y_{i-1}), \quad (4.7)$$

где R_1 , R_i , - термические сопротивления соответственно первого и i -го слоев ограждающей конструкции, м²·°C/Вт;

ε_1 , ε_i - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала соответственно первого и i -го слоев, Вт/(м²·°C), принимаемые по приложению Д СП 23-101-2004;

Y_1 , Y_i , Y_{i-1} - коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности соответственно первого, i -го и $(i-1)$ -го слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C).

Если $A_t^{des} \leq A_t^{req}$, то ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям норм по теплоустойчивости.

Значения коэффициентов теплопропускания β_{sp} солнцезащитных устройств, применяемых для окон и фонарей зданий в районах со среднемесячной температурой июля 21 °C и выше, приведены в таблице 4.2.

Тепловую инерцию D ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$D = R_1 \varepsilon_1 + R_2 \varepsilon_2 + \dots + R_n \varepsilon_n, \quad (4.8)$$

где R_1 , R_2 , ..., R_n - термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, м²·°C/Вт;

ε_1 , ε_2 , ..., ε_n - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), принимаемые по приложению Д или по результатам теплотехнических испытаний.

Таблица 4.2 - Коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств

| № п.п. | Солнцезащитные устройства | Коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств $\delta_{зр}$ |
|--|--|---|
| А. Наружные | | |
| 1 | Штора или маркиза из светлой ткани | 0,15 |
| 2 | Штора или маркиза из темной ткани | 0,20 |
| 3 | Ставни-жалюзи с деревянными пластинами | 0,10/0,15 |
| 4 | Шторы-жалюзи с металлическими пластинами | 0,15/0,20 |
| . Межстекольные (непроемчивые) | | |
| 5 | Шторы-жалюзи с металлическими пластинами | 0,30/0,35 |
| 6 | Штора из светлой ткани | 0,25 |
| 7 | Штора из темной ткани | 0,40 |
| В. Внутренние | | |
| 8 | Шторы-жалюзи с металлическими пластинами | 0,60/0,70 |
| 9 | Штора из светлой ткани | 0,40 |
| 10 | Штора из темной ткани | 0,80 |
| Примечания | | |
| 1 Коэффициенты теплопропускания: до черты - для солнцезащитных устройств с пластинами под углом 45°, после черты - под углом 90° к плоскости проема. | | |
| 2 Коэффициенты теплопропускания межстекольных солнцезащитных устройств с проемчивым межстекольным пространством следует принимать в 2 раза меньше. | | |

4.2. ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОМЕЩЕНИЙ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Теплоустойчивость помещений в холодный период года при наличии в здании системы отопления с автоматическим регулированием температуры внутреннего воздуха не нормируется. В остальных случаях нормативные требования к теплоустойчивости помещений установлены в СНиП 23-02.

Метод расчета теплоустойчивости помещений в холодный период года состоит в следующем.

Расчетную амплитуду колебания результирующей температуры помещений жилых и общественных зданий в холодный период года $A_{\text{дес}}$, °С, следует определять по формуле

$$A_{\text{дес}} = 0,7MQ_0 / (\sum A_i B_i), \quad (4.9)$$

где M - коэффициент неравномерности теплоотдачи нагревательным прибором, принимаемый по таблице 4.3;

Q_0 - средняя теплоотдача отопительного прибора, Вт, равная теплотерям данного помещения, определяемым в соответствии с нормативными документами;

A_i - площадь i -й ограждающей конструкции, м²;

B_i - коэффициент теплопоглощения поверхности i -го ограждения, Вт/(м²·°С), определяемый по формуле

$$B_i = 1 / \left[(1 / \alpha_{int}) + (1 / Y_i^{int}) \right], \quad (4.10)$$

α_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), равный 4,5 + α_k ;

α_k - коэффициент конвективного теплообмена внутренней поверхности, Вт/(м²·°C), принимаемый равным для: внутреннего ограждения - 1,2; окна - 3,5; пола - 1,5; потолка - 3,5;

Y_i^{int} - коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности i -й ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C).

Таблица 4.3 - Коэффициент неравномерности теплоотдачи нагревательных приборов M

| N п.п. | Тип отопления | M |
|---|---|---------------|
| 1 | Водяное отопление зданий с непрерывным обслуживанием | 0,1 |
| 2 | Паровое отопление или нетеплоемкими печами: | |
| | а) время подачи пара или топки печи - 18 ч, перерыв - 6 ч | 0,8 |
| | б) время подачи пара или топки печи - 12 ч, перерыв - 12 ч | 1,4 |
| | в) время подачи пара или топки печи - 6 ч, перерыв - 18 ч | 2,2 |
| 3 | Водяное отопление (время топки - 6 ч) | 1,5 |
| 4 | Печное отопление теплоемкими печами при топке их 1 раз в сутки: | |
| | толщина стенок печи в 1/2 кирпича | От 0,4 до 0,9 |
| | толщина стенок печи в 1/4 кирпича | От 0,7 до 1,4 |
| Примечание - Меньшие значения M соответствуют массивным печам, большие - менее массивным легким печам. При топке печей 2 раза в сутки величину M следует уменьшать в 2,5-3 раза для печей со стенками в 1/2 кирпича и в 2-2,3 раза - при 1/4 кирпича. | | |

Нумерация слоев в формуле (4.10) принята в направлении от внутренней к наружной поверхности ограждения.

При расчете A_i^{abs} по формуле (4.9) для окон и остекленных наружных дверей следует принимать величину

$$B_i = 1 / (1,08 R_o), \quad (4.11)$$

где R_o - сопротивление теплопередаче окна или двери, м²·°C/Вт.

Для определения коэффициентов теплоусвоения поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции следует предварительно вычислить тепловую инерцию D каждого слоя по формуле (4.8).

Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждающей конструкции Y^{int} , Вт/(м²·°C), определяется следующим образом:

а) если первый (внутренний) слой ограждающей конструкции имеет тепловую инерцию $D > 1$, то

$$Y^{int} = s_1; \quad (4.12)$$

б) если $D_1 + D_2 + \dots + D_{n-1} < 1$, но $D_1 + D_2 + \dots + D_n > 1$, то коэффициент Y^{int} следует определять последовательно расчетом коэффициентов теплоусвоения внутренней поверхности слоев конструкции, начиная с $(n-1)$ слоя до первого следующим образом:

для $(n-1)$ слоя - по формуле

$$Y_{n-1} = (R_{n-1}s_{n-1}^2 + s_n)/(1 + R_{n-1}s_n); \quad (4.13)$$

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

$$Y_i = (R_i s_i^2 + Y_{i+1})/(1 + R_i Y_{i+1}). \quad (4.14)$$

Коэффициент Y^{int} принимается равным коэффициенту теплоусвоения поверхности i -го слоя Y_i ;

в) если для ограждающей конструкции, состоящей из n слоев,

$D_1 + D_2 + \dots + D_n < 1$, то коэффициент Y^{int} следует определять последовательно расчетом коэффициентов Y_n, Y_{n-1}, \dots, Y_1 :

для n -го слоя - по формуле

$$Y_n = (R_n s_n^2 + \alpha_{ext})/(1 + R_n \alpha_{ext}); \quad (4.15)$$

для i -го слоя ($i = n-2, n-3, \dots, 1$) - по формуле (4.14);

г) для внутренних ограждающих конструкций величина Y^{int} определяется как для наружных ограждений, но принимается, что в середине ограждений $\varepsilon = 0$. Для несимметричных ограждений их середину следует назначать по половине величины $\sum D$ всего ограждения;

д) при наличии в ограждающей конструкции воздушной прослойки коэффициент теплоусвоения воздуха ε в ней принимается равным нулю.

В формулах (4.12)-(4.15) и неравенствах:

D_1, D_2, \dots, D_n - тепловая инерция соответственно 1-го, 2-го, ..., n -го слоев конструкции, определяемая по формуле (53);

R_i, \dots, R_{n-1}, R_n - термические сопротивления, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, соответственно i -го, ..., $(n-1)$ -го и n -го слоев конструкции;

$\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_i, \dots, \varepsilon_{n-1}, \varepsilon_n$ - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала 1-го, ..., i -го, ..., $(n-1)$ -го и n -го слоев конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, принимаемые по приложению Д, СП 23-101-2004;

Y_{i+1} - коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности $(i+1)$ -го слоя конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

Полученная по формуле (4.12) расчетная амплитуда колебаний результирующей температуры помещения A_t^{des} должна быть меньше или равна нормируемому значению $A_t^{des} \leq A_t^{req}$.

Выбор типа теплоаккумулирующего прибора по показателю затухания тепловой волны в нем ν_z производится по графикам рисунков 4.1-4.3 для различных режимов его зарядки в зависимости от сочетания Λ/Y_n и $Q_{p.c}/(\Lambda \Delta t^{des})$, обеспечивая в левом секторе от кривых условие $A_t^{des} \leq A_t^{req}$.

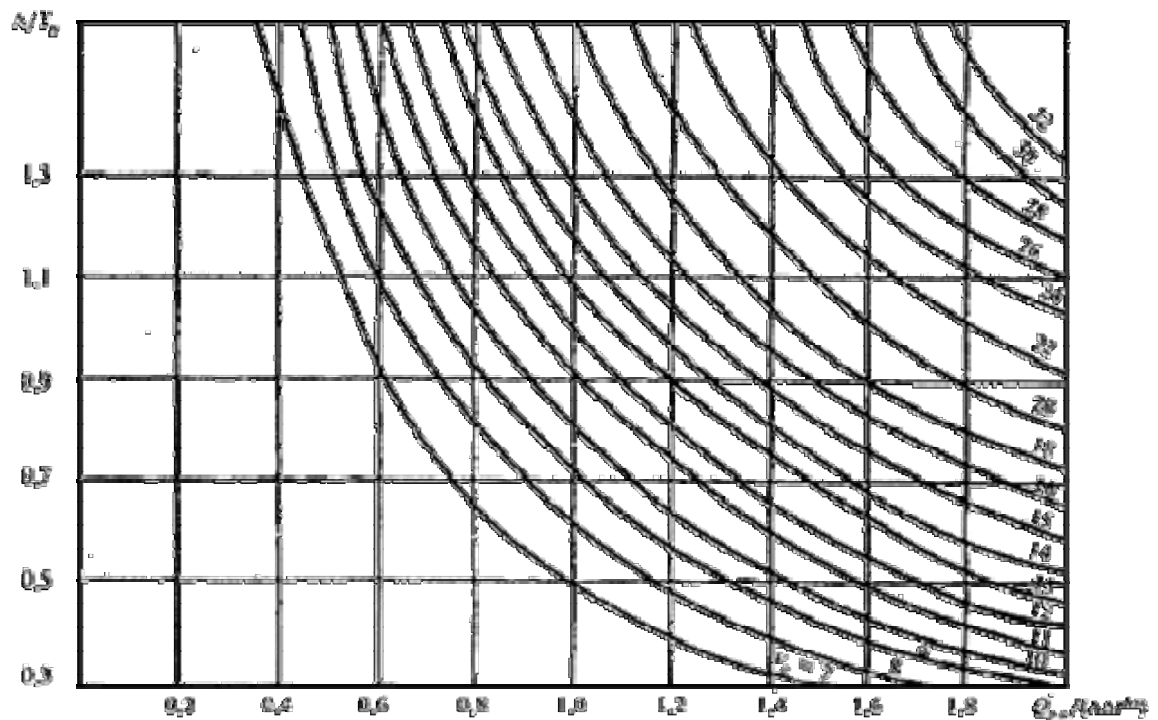


Рисунок 4.1 - График для подбора теплоаккумулирующих приборов (продолжительность зарядки 8 ч)

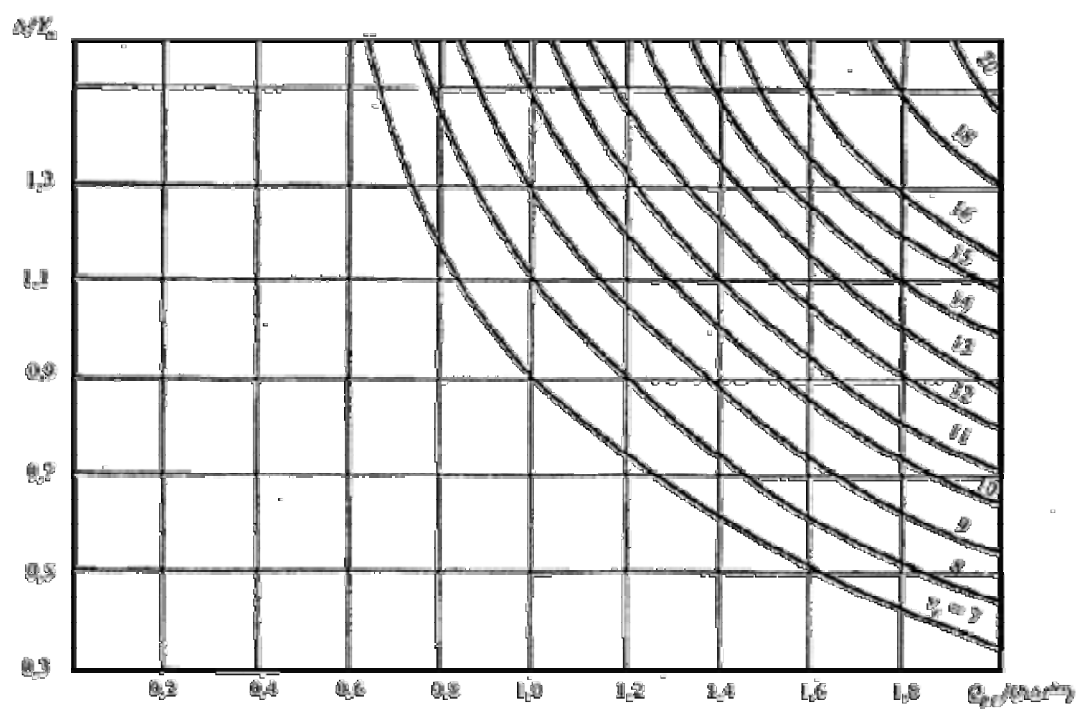


Рисунок 4.2 - График для подбора теплоаккумулирующих приборов (продолжительность зарядки 8+2 ч дневной подзарядки)

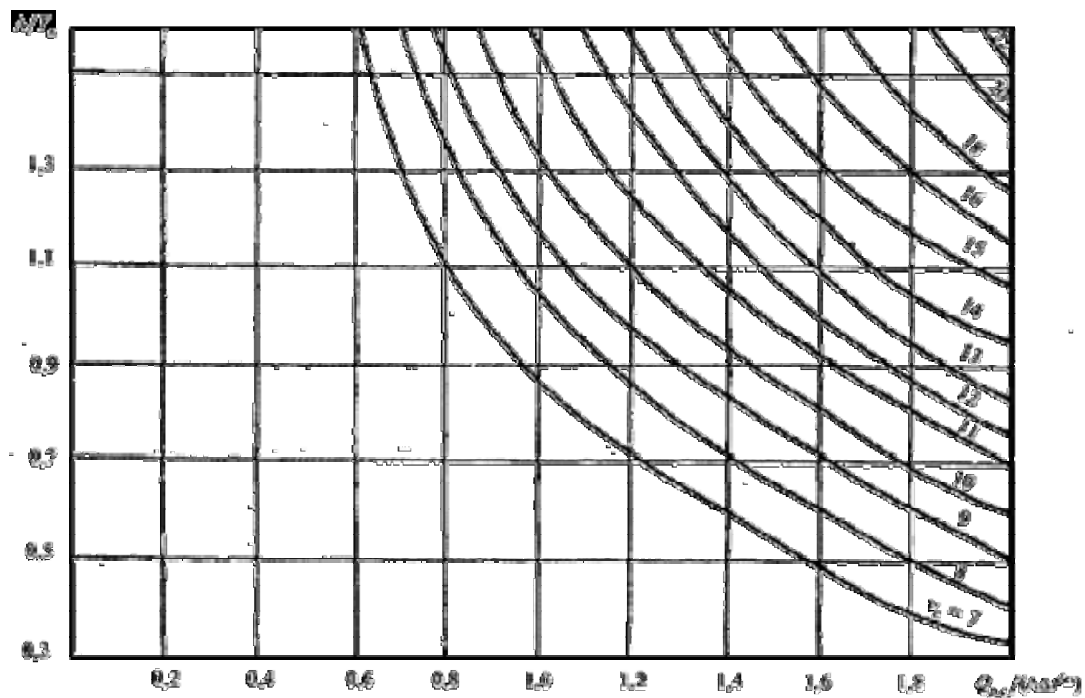


Рисунок 4.4 - График для подбора теплоаккумулирующих приборов (продолжительность зарядки 6+2 ч дневной подзарядки)

Показатель теплоусвоения внутренних поверхностей помещения и теплоаккумуляционных слоев прибора Y_n и показатель интенсивности конвективного теплообмена в помещении Λ определяются соответственно по формулам:

$$Y_n = \sum A_i Y_i; \quad (4.16)$$

$$\Lambda = \sum \alpha_{sk}^i A_i, \quad (4.17)$$

где Y_i - коэффициент теплоусвоения i -й поверхности помещения, и теплоаккумулирующего прибора, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле

$$Y = \left[R_1 \varepsilon_1^2 + R_2 \varepsilon_2^2 (R_2 R_1 \varepsilon_1^2 + 2) \right] / \left[1 + R_2 \varepsilon_2^2 (R_2 + 2R_1) \right], \quad (4.18)$$

R_1, R_2 - термические сопротивления соответственно теплоизоляционного и теплоаккумулирующего слоев прибора, м²·°C/Вт;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - коэффициенты теплоусвоения материалов соответственно теплоизоляционного и теплоаккумулирующего слоев прибора, Вт/(м²·°C), принимаемые по приложению Д или по результатам теплотехнических испытаний;

α_{sk}^i - коэффициент конвективного теплообмена i -й поверхности помещения и теплоаккумулирующего прибора с воздухом помещения, Вт/(м²·°C), принимаемый равным для: наружного ограждения - 3,1; внутреннего ограждения - 1,2; окна - 4,1; пола - 1,5; потолка - 3,5; теплоаккумулирующего прибора - 5,6 при температуре его поверхности 95 °C и 3,3 - при 40 °C ;

A_i - площадь i -й поверхности помещения и теплоаккумулирующего прибора, м².

Мощность нагревательных элементов теплоаккумулирующего прибора $Q_{p,c}$ внепикового электроотопления определяется по формуле

$$Q_{p,c} = Q_{h,l}^{des} (24 / m), \quad (4.19)$$

где $Q_{h,l}^{des}$ - расчетные теплотери помещения, Вт, определяемые по СНиП 41-01;

m - продолжительность зарядки теплоаккумулирующего прибора, ч.

В случае когда электротеплоаккумуляционная система отопления частично покрывает теплотери здания и является базовой частью комбинированной системы отопления, установочную мощность дополнительных постоянно работающих приборов системы отопления Q_b следует определять по формуле

$$Q_b = Q_{h,l}^{des} - Q_c^{des}, \quad (4.20)$$

Q_c^{des} - расчетные теплотери помещения, Вт, при температуре наиболее холодной пятидневки на 5 °C выше указанной в СНиП 23-01.

Расчетную разность температур следует определять по формуле

$$\Delta t^{des} = t_{int}^{des} - t_{ext}^{des}, \quad (4.21)$$

где t_{int}^{des} , t_{ext}^{des} - расчетные температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха.

4.3. ПРИМЕР РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ТЕПЛОАККУМУЛЯЦИОННОГО ПРИБОРА

Исходные данные

Определить мощность теплоаккумуляционного прибора, используемого для отопления помещения односемейного жилого дома, и определить тип этого прибора. Расчетная температура наружного воздуха - минус 22 °С. Расчетные теплотери помещения $Q_{h,i}^{des} = 2500$ Вт. Показатели теплоустойчивости помещения следующие: показатель теплоусвоения поверхностей $Y_n = 122,5$ Вт/°С, показатель интенсивности конвективного воздухообмена в помещении $\Lambda = 98,8$ Вт/°С. Продолжительность зарядки теплоаккумулирующего прибора $m = 8$ ч. Расчетную разность температур Δt^{des} определяют по формуле (4.21), равную 20-(-22)=42 °С. Рассчитать мощность теплоаккумуляционного и дополнительного приборов для случая комбинированной системы отопления, состоящей из базовой (вне пиковой) теплоаккумуляционной системы и дополнительной постоянно работающей системы.

Порядок расчета

Мощность отопительного прибора определяется по формуле

$$Q_{p,c} = 2500(24/8) = 7500 \text{ Вт.}$$

Подбор типа прибора производим по графику на рисунке 4.1, предварительно определив $\Lambda/Y_n = 98/122,5 = 0,81$ и $Q_{p,c}/(\Lambda \Delta t^{des}) = 7500/(98,8 \cdot 42) = 1,81$. В результате следует выбрать теплоаккумулирующий прибор с показателем затухания $\nu_c = 18$.

Количество теплоты $Q_{p,c}$, поступающей от теплоаккумуляционного прибора базовой системы, рассчитывают согласно 11.2.2.6 при расчетной температуре минус (-22+5)=17 °С по формуле

$$Q_{p,c} = Q_{h,i}^{des} [t_{int} - (t_{ext} + 5)] / (t_{int} - t_{ext}) = 2500 \text{ Вт} (20 + 17) / (20 + 22) = 2202 \text{ Вт.}$$

Мощность дополнительного постоянно работающего прибора отопления Q_b определяют по уравнению (4.20)

4.4. ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ.

1. Определить теплоустойчивость помещений в теплый период года при наличии в здании системы отопления для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1 и 2, номер задания соответствует номеру в списке группы).
2. Определить теплоустойчивость помещений в холодный период года при наличии в здании системы отопления для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1 и 2, номер задания соответствует номеру в списке группы).
3. Определить мощность теплоаккумуляционного прибора для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

5. ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ.

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Воздушным режимом здания называют общий процесс обмена воздуха между всеми его помещениями и с наружным воздухом. Воздухообмен в здании происходит под действием естественных сил и работы искусственных побудителей движения воздуха.

Наружный воздух поступает в помещения через неплотности ограждений или по каналам приточных вентиляционных систем. Внутри здания воздух может перетекать между помещениями через двери и неплотности во внутренних конструкциях. Внутренний воздух удаляется из помещений за пределы здания через неплотности наружных ограждений и по вентиляционным каналам вытяжных систем.

Естественными силами, вызывающими движение воздуха в здании, являются гравитационное и ветровое давления. Температура и плотность воздуха внутри и снаружи здания обычно неодинаковы, в результате чего гравитационное давление по сторонам ограждений оказывается разным. За счет действия ветра на наветренной стороне здания создается подпор, а на поверхностях ограждений возникает избыточное статическое давление. На заветренной стороне образуется разрежение, и статическое давление оказывается пониженным. Таким образом, при ветре давление с внешней стороны здания отличается от давления внутри помещений.

Гравитационное и ветровое давления обычно действуют совместно. Воздухообмен под влиянием этих естественных сил трудно рассчитывать и прогнозировать. Его можно уменьшить, герметизируя ограждения, а также частично регулировать с помощью дросселирования каналов вентиляции, открыванием окон, фрамуг и вентиляционных фонарей.

Воздушный режим связан с тепловым режимом здания. Инфильтрация наружного воздуха приводит к дополнительным затратам тепла на его подогрев. Эксфильтрация влажного внутреннего воздуха увлажняет и снижает теплозащитные качества ограждений. Положение и размеры зоны инфильтрации и эксфильтрации в здании зависят от геометрии, конструктивных особенностей, режима вентилирования здания, а также от района строительства, времени года и параметров климата. Между фильтрующимся воздухом и ограждением происходит теплообмен, интенсивность которого зависит от места фильтрации в конструкции ограждения (массив, стык панелей, окна, воздушные прослойки и т. д.).

Таким образом, возникает необходимость в расчетах воздушного режима здания: определении интенсивности инфильтрации и эксфильтрации воздуха и решении задачи теплопередачи отдельных частей ограждения при наличии воздухопроницания.

Воздушный режим здания в большой мере зависит от воздухопроницаемости наружных и внутренних ограждений. В большинстве случаев по техническим причинам полная герметичность ограждений невозможна. Интенсивность фильтрации воздуха зависит от разности давлений с двух сторон конструкции и ее свойства проницаемости для воздуха. В технических расчетах применяют различные характеристики воздухопроницаемости. В частности, пользуются понятием коэффициента воздухопроницания I в $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ или $\text{кг/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ и обратной величиной—сопротивлением воздухопроницанию $R_n = 1/I$. Коэффициент I равен количеству воздуха в кг, проходящему через 1 м^2 ограждения (или через 1 пог. м щели, стыка) за 1 ч при разности давлений в 1 Па .

5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ВОЗДУХОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДЕНИЙ.

Воздухоизоляционные свойства строительных материалов и конструкций характеризуются сопротивлением их воздухопроницанию R_{mf}^{des} , $m^2 \cdot ч \cdot Па/кг$, которое должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию R_{mf}^{reg} , определяемого согласно разделу 8 СНиП 23-02.

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции R_{mf}^{des} , $m^2 \cdot ч \cdot Па/кг$, следует определять по формуле

$$R_{mf}^{des} = R_{mf1} + R_{mf2} + \dots + R_{mfn}, \quad (5.1)$$

где R_{mf1} , R_{mf2} , ..., R_{mfn} - сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ч \cdot Па/кг$, принимаемые по таблице 17.

Таблица 5.1 - Сопротивление воздухопроницанию материалов и конструкций

| N п.п . | Материалы и конструкции | Толщина слоя, мм | Сопротивление воз- духопроницанию R_{mf} , $m^2 \cdot ч \cdot Па/кг$ |
|---------------|---|---------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Бетон сплошной (без швов) | 100 | 19620 |
| 2 | Газосиликат сплошной (без швов) | 140 | 21 |
| 3 | Известняк-ракушечник | 500 | 6 |
| 4 | Картон строительный (без швов) | 1,3 | 64 |
| 5 | Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в 1 кирпич и более | 250 и более | 18 |
| 6 | Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича | 120 | 2 |
| 7 | Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в 1 кирпич и более | 250 и более | 9 |
| 8 | Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе толщиной в полкирпича | 120 | 1 |
| 9 | Кладка кирпича керамического пустотного на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича | - | 2 |
| 10 | Кладка из легкобетонных камней на цементно-песчаном растворе | 400 | 13 |
| 11 | Кладка из легкобетонных камней на цементно-шлаковом растворе | 400 | 1 |
| 12 | Листы асбестоцементные с заделкой швов | 6 | 196 |
| 13 | Обои бумажные обычные | - | 20 |
| 14 | Обшивка из обрезных досок, соединенных впритык или вчетверть | 20-25 | 0,1 |
| 15 | Обшивка из обрезных досок, соединенных в шпунт | 20-25 | 1,5 |
| 16 | Обшивка из досок двойная с прокладкой между обшивками строительной бумаги | 50 | 98 |
| 17 | Обшивка из фибrolита или из древесно-волокнистых бесцементных мягких плит с заделкой швов | 15-70 | 2,5 |
| 18 | Обшивка из фибrolита или из древесно-волокнистых бесцементных мягких плит без заделки швов | 15-70 | 0,5 |
| 19 | Обшивка из жестких древесно-волокнистых листов с | 10 | 3,3 |

| | | | |
|--|---|---------|--------------------|
| | заделкой швов | | |
| 20 | Обшивка из гипсовой сухой штукатурки с заделкой швов | 10 | 20 |
| 21 | Пенобетон автоклавный (без швов) | 100 | 1960 |
| 22 | Пенобетон неавтоклавный | 100 | 196 |
| 23 | Пенополистирол | 50-100 | 79 |
| 24 | Пеностекло сплошное (без швов) | 120 | >2000 |
| 25 | Плиты минераловатные жесткие | 50 | 2 |
| 26 | Рубероид | 1,5 | Воздухонепроницаем |
| 27 | Толь | 1,5 | 490 |
| 28 | Фанера клееная (без швов) | 3-4 | 2940 |
| 29 | Шлакобетон сплошной (без швов) | 100 | 14 |
| 30 | Штукатурка цементно-песчаным раствором по каменной или кирпичной кладке | 15 | 373 |
| 31 | Штукатурка известковая по каменной или кирпичной кладке | 15 | 142 |
| 32 | Штукатурка известково-гипсовая по дереву (по дроби) | 20 | 17 |
| 33 | Керамзитобетон плотностью 900 кг/м ³ | 250-400 | 13-17 |
| 34 | То же, 1000 кг/м ³ | 250-400 | 53-80 |
| 35 | То же, 1100-1300 кг/м ³ | 250-450 | 390-590 |
| 36 | Шлакопемзобетон плотностью 1500 кг/м ³ | 250-400 | 0,3 |
| <p>Примечания</p> <p>1 Для кладок из кирпича и камней с расшивкой швов на наружной поверхности приведенное в настоящей таблице сопротивление воздухопроницанию следует увеличивать на 20 м²ч·Па/кг.</p> <p>2 Сопротивление воздухопроницанию воздушных прослоек и слоев ограждающих конструкций из сыпучих (шлака, керамзита, пемзы и т.п.), рыхлых и волокнистых (минеральной ваты, соломы, стружки и т.п.) материалов следует принимать равным нулю независимо от толщины слоя.</p> <p>3 Для материалов и конструкций, не указанных в настоящей таблице, сопротивление воздухопроницанию следует определять экспериментально.</p> | | | |

Проверка ограждающих конструкций на соответствие требованиям СНиП 23-02 по сопротивлению воздухопроницанию осуществляется следующим образом.

Определяют разность давлений воздуха Δp , Па, на наружной и внутренней поверхностях заполнения оконного проема на уровне пола первого надземного этажа проектируемого здания согласно СНиП 23-02 по формуле

$$\Delta p = 0,55H(\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0,33\gamma_{ext}v^2, \quad (5.2)$$

где H - высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м;

γ_{ext} , γ_{int} - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, определяемый по формулам:

$$\gamma_{ext} = 3463/(273 + t_{ext}); \quad (5.3)$$

$$\gamma_{int} = 3463/(273 + t_{int}), \quad (5.4)$$

t_{ext} - расчетная температура наружного воздуха, °С;

t_{int} - расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

v - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более (установленная при стандартной высоте 10 м), принимаемая по таблице 1* СНиП 23-01; для зданий высотой свыше 60 м v следует умножать на коэффициент ξ изменения скорости ветра по высоте, принимаемый по таблице 5.2

Таблица 5.2 - Изменение скорости ветра по высоте по отношению к стандартной высоте 10 м

| Высота, м | Коэффициент ξ при расчетной скорости ветра, м/с | | | | | | | | |
|--------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 10 |
| 10 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 100 | 2,8 | 2,4 | 2,2 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,2 |
| 150 | 3,2 | 2,8 | 2,5 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,4 |
| 200 | 3,5 | 3,0 | 2,7 | 2,4 | 2,1 | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,4 |
| 250 | 3,8 | 3,2 | 2,8 | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,8 | 1,5 |
| 300 | 3,8 | 3,4 | 3,0 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 1,6 |
| 350 | 4,0 | 3,4 | 3,0 | 2,6 | 2,4 | 2,3 | 2,1 | 2,0 | 1,7 |
| 400 | 4,0 | 3,4 | 3,2 | 2,8 | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 2,1 | 1,8 |
| 450 | 4,0 | 3,6 | 3,2 | 2,9 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 2,2 | 1,8 |
| 500 | 4,0 | 3,6 | 3,2 | 2,9 | 2,6 | 2,5 | 2,3 | 2,2 | 1,9 |

Примечание - Коэффициенты ξ действительны для центрального региона РФ. Для других регионов РФ коэффициенты могут использоваться условно.

Определяют нормируемое сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций $R_{нф}^{req}$, м²·ч·Па/кг, за исключением заполнений световых проемов, по формуле (12) СНиП 23-02

$$R_{нф}^{req} = \Delta p / G_n, \quad (5.3)$$

G_n - нормируемая воздухопроницаемость ограждающих конструкций, кг/(м²·ч), принимаемая по таблице 11 СНиП 23-02.

12.3 Нормируемое сопротивление воздухопроницанию светопрозрачных конструкций $R_{нф}^{req}$, м²·ч/кг, определяют по формуле

$$R_{нф}^{req} = (1 / G_n) (\Delta p / \Delta p_0)^{2/3}, \quad (5.4)$$

где G_n - нормируемая воздухопроницаемость светопрозрачной конструкции, кг/(м²·ч), принимаемая по таблице 11 СНиП 23-02 при $\Delta p_0 = 10$ Па;

$\Delta p_0 = 10$ Па - разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях светопрозрачной конструкции, при которой определяется воздухопроницаемость сертифицируемого образца.

Сопротивление воздухопроницанию выбранного типа светопрозрачной конструкции $R_{нф}$, м²·ч/кг определяют по формуле

$$R_{нф} = (1 / G_s) (\Delta p / \Delta p_0)^n, \quad (5.5)$$

где G_s - воздухопроницаемость светопрозрачной конструкции, кг/(м²·ч), при $\Delta p_0 = 10$ Па, полученная в результате сертификационных испытаний;

n - показатель режима фильтрации светопрозрачной конструкции, полученный в результате сертификационных испытаний.

В случае $R_{нф} \geq R_{нф}^{req}$ выбранная светопрозрачная конструкция удовлетворяет требованиям СНиП 23-02 по сопротивлению воздухопроницанию.

В случае $R_{ny} < R_{ny}^{req}$ необходимо заменить светопрозрачную конструкцию и проводить расчеты по формуле (5.5) до удовлетворения требований СНиП 23-02.

Проверка зданий и их помещений на степень воздухопроницаемости осуществляется согласно методике, приведенной в ГОСТ 31167. Рекомендуемая классификация воздухопроницаемости ограждающих конструкций объекта по кратности воздухообмена при $\Delta p = 50$ Па (n_{50} , ч⁻¹) (помещения, группы помещений (квартиры) жилых многоквартирных, общественных, административных, бытовых, сельскохозяйственных, вспомогательных помещений производственных зданий и сооружений, а также многоквартирных зданий в целом) приведена в таблице 19. При установлении классов воздухопроницаемости "умеренная", "высокая", "очень высокая" следует принимать меры по снижению воздухопроницаемости объектов. При установлении классов "низкая" и "очень низкая" в объектах, имеющих вентиляцию с естественным побуждением, следует принимать меры, обеспечивающие дополнительный приток свежего воздуха.

Таблица 5.3 - Классы воздухопроницаемости ограждающих конструкций объекта

| Кратность воздухообмена при $\Delta p = 50$ Па (n_{50} , ч ⁻¹) | Наименование класса |
|---|---------------------|
| $n_{50} < 1$ | Очень низкая |
| $1 \leq n_{50} < 2$ | Низкая |
| $2 \leq n_{50} < 4$ | Нормальная |
| $4 \leq n_{50} < 6$ | Умеренная |
| $6 \leq n_{50} < 10$ | Высокая |
| $10 \leq n_{50}$ | Очень высокая |

5.3. ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ВЫБОРА ТИПА ОКОННОГО БЛОКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Пример 1

Исходные данные

Определить, удовлетворяют ли в отношении сопротивления воздухопроницанию требованиям СНиП 23-02 окна в пластмассовых переплетах с двухкамерными стеклопакетами в 12-этажном здании высотой $H = 34,8$ м в г.Уфе. Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь $v = 5,5$ м/с. Согласно сертификату воздухопроницаемость окна при $\Delta p = 10$ Па равна $G = 3,94$ кг/(м²·ч) показатель режима фильтрации $n = 0,55$.

Порядок расчета

Для г.Уфы согласно СНиП 23-02 средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 равна минус 35 °С, расчетная температура внутреннего воздуха равна 21 °С.

Вычисляем удельный вес наружного и внутреннего воздуха по формулам (5.1) и (5.2):

$$\gamma_{ext} = 3463 / [273 + (-35)] = 14,55 \text{ Н/м}^3,$$

$$\gamma_{int} = 3463 / (273 + 21) = 11,78 \text{ Н/м}^3.$$

Определяем расчетную разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях окна на уровне пола первого этажа здания по формуле (5.1)

$$\Delta p = 0,55 \cdot 34,8 (14,55 - 11,78) + 0,03 \cdot 14,55 \cdot 5,5^2 = 66,22 \text{ Па}.$$

Находим нормируемое сопротивление воздухопроницанию окон в рассматриваемом доме по формуле (5.5)

$$R_{inf}^{req} = (1/5)(66,22/10)^{2/3} = 0,71 \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг}.$$

Сопротивление воздухопроницанию окна определим по формуле (5.5)

$$R_{inf} = (1/3,94)(66,22/10)^{0,55} = 0,72 \text{ м}^2 \cdot \text{ч/кг}.$$

Таким образом, выбранное окно удовлетворяет требованиям СНиП 23-02.

Пример 2

Исходные данные

Одноквартирный одноэтажный жилой дом. Место строительства - г.Тихвин Ленинградской области. Расчетная температура воздуха в помещениях $t_{int}=20$ °С. Согласно СНиП 23-01 средняя температура t_{ht} и продолжительность отопительного периода z_{ht} для г.Тихвина составляют: $t_{ht}=-2,8$ °С; $z_{ht}=227$ сут. Градусо-сутки отопительного периода, определяемые по формуле, равны

$$D_d = (20 + 2,8)227 = 5176 \text{ °С} \cdot \text{сут}.$$

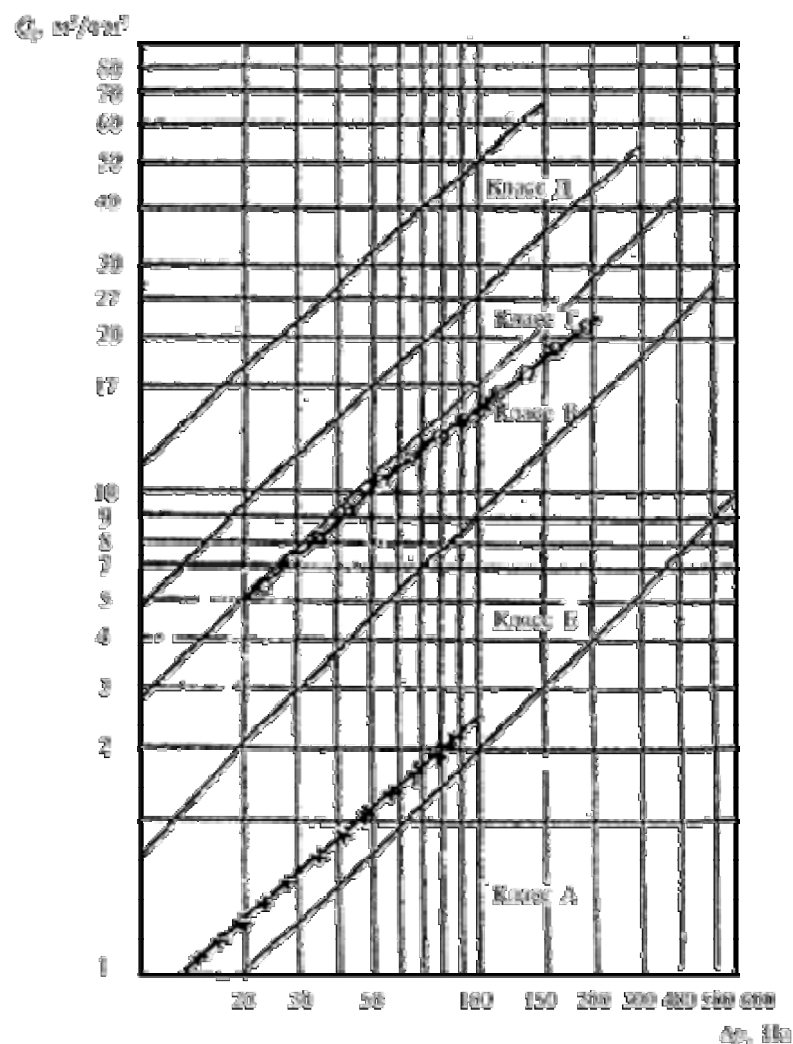
Нормируемое сопротивление теплопередаче для окон дома согласно таблице 4 СНиП 23-02 составляет $R_{req} = 0,538 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$


Порядок расчета

Для установки в данном здании выбран оконный блок производства фирмы "Профит" (Вышний Волочек) с тройным остеклением в деревянных раздельно-спаренных переплетах.

Согласно протоколу сертификационных испытаний приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока (при отношении площади остекления к площади заполнения светового проема равном 0,75) $R_0^r = 0,545 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт} > R_{req} = 0,538 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$

Результаты сертификационных испытаний этого блока на воздухопроницаемость согласно ГОСТ 26602.2 приведены на рисунке 5.1. По результатам испытаний на воздухопроницаемость оконный блок производства фирмы "Профит" относится к классу В.



 - оконный блок из клееного бруса хвойных пород с двухкамерным стеклопакетом с двойным уплотнением притворов (фирма "Норвуд");


 - оконный блок с тройным остеклением в деревянных раздельно-спаренных переплетах с двойным уплотнением притворов (фирма "Профит")

Рисунок 5.1 - Графики зависимостей объемной воздухопроницаемости Q_v от перепада давления Δp по результатам сертификационных испытаний оконного блока, сопоставленные с графиками нормативных прямых, определяющих границы классов оконных блоков по воздухопроницаемости по ГОСТ 26602.2

Согласно 8.6 СНиП 23-02 оконные блоки в одноэтажных домах по воздухопроницаемости должны быть в пределах классов В-Д. Выбранный оконный блок по воздухопроницаемости имеет класс В и он может быть применен в многоквартирном одноэтажном жилом доме.

Пример 3

Исходные данные

Девятиэтажное жилое здание. Место строительства - г.Тверь. Расчетная температура воздуха в помещениях $t_{int}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Согласно СНиП 23-01 средняя температура t_{hf} и продолжительность z_{hf} отопительного периода для г.Твери составляют: $t_{hf}=-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $z_{hf}=218$ сут.

Градусо-сутки отопительного периода, определяемые по формуле, равны

$$D_d = (20 + 3,0)218 = 5014\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$$

Нормируемое сопротивление теплопередаче для окон жилого дома составляет $R_{req} = 0,526\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Порядок расчета

Для установки в 9-этажном жилом здании выбирают оконный блок ООО "Норвуд" из клееного бруса хвойных пород с двухкамерным стеклопакетом с уплотнением притворов в двух плоскостях.

Согласно протоколу сертификационных испытаний приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока (при отношении площади остекления к площади заполнения светового проема, равном 0,75) $R_0^r = 0,6\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт} > R_{req} = 0,526\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Результаты сертификационных испытаний этого блока на воздухопроницаемость приведены на рисунке 5.1. По этим данным в соответствии с ГОСТ 26602.2 оконный блок производства "Норвуд" относится к классу Б.

Согласно СНиП 23-02 воздухопроницаемость окон зданий трехэтажных и выше должна быть не ниже класса Б.

Следовательно, согласно требованиям СНиП 23-02 выбранный оконный блок по воздухопроницаемости применим в 9-этажном жилом здании.

5.4. ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ.

1. Определить теплоустойчивость помещений в теплый период года при наличии в здании системы отопления для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1 и 2, номер задания соответствует номеру в списке группы).

2. Определить теплоустойчивость помещений в холодный период года при наличии в здании системы отопления для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1 и 2, номер задания соответствует номеру в списке группы).

3. Определить мощность теплоаккумуляционного прибора для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

6. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАРОПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ (ЗАЩИТА ОТ ВЛАГИ)

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Расчет нормируемого сопротивления паропроницанию ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) производят по СНиП 23-02 с учетом следующих требований.

Парциальное давление насыщенного водяного пара E , E_0 , E_1 , E_2 , E_3 , Па, в формулах (16)-(20) СНиП 23-02 принимают:

для помещений без агрессивной среды - по таблицам С.1 и С.2, с агрессивной средой - по таблице С.3 приложения С СП 23-101-2004;

по температуре в плоскости возможной конденсации τ_c , определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно холодного, переходного, теплого периодов и периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами - по формуле

$$\tau_c = t_{int} - (t_{int} + t_i)(1/\alpha_{int} + R_c)/R_o, \quad (6.1)$$

где t_{int} - Расчетная температура воздуха внутри жилых и общественных зданий для холодного периода года;

α_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°C), принимаемый по таблице 7 СНиП 23-02

t_i - средняя температура наружного воздуха i -го периода, °C, определяемая по формуле

$$t_i = \sum_{j=1}^n t_j^{av} / n, \quad (6.2)$$

где t_j^{av} - средняя месячная температура воздуха j -го месяца, °C;

n - число месяцев i -го периода;

R_c - термическое сопротивление слоя ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации, м²·°C/Вт,

R_o - сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°C/Вт.

Парциальное давление водяного пара E , E_0 , E_1 , E_2 , E_3 в формулах (16)-(20) СНиП 23-02 в помещениях с агрессивной средой обозначают соответственно: E_p , E_{p0} , E_{p1} , E_{p2} , E_{p3} .

Значения парциального давления водяного пара E_p , Па, над насыщенными растворами солей для температур 10-30 °C принимают по таблице С.3 приложения С СП 23-101-2004; для температур ниже 10 °C они могут быть определены по формуле

$$E_{pi} = 0,01 E_i \varphi_p, \quad (6.3)$$

где E_i - парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, принимается по температуре в плоскости возможной конденсации по таблицам С.1 и С.2 приложения С СП 23-

101-2004 ;

φ_p - относительная влажность воздуха над насыщенным водным раствором соли, %, при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, принимается по таблице С.3 приложения С СП 23-101-2004.

Парциальное давление водяного пара E_{pi} , в плоскости возможной конденсации наружных стен из керамзитобетона на керамзитовом песке ($\rho_o=1200\text{ кг/м}^3$), содержащем соли NaCl, KCl, MgCl_2 или их смеси, а также расстояние до плоскости конденсации от внутренней поверхности стены δ_{ω} в указанных стенах следует определять соответственно по формулам:

$$E_{pi} = 0,01E_i\varphi_p \text{ при } i=1, 2, 3, 0; \quad (6.4)$$

$$\delta_{\omega} = 0,07\delta_{ms}\varphi_p, \quad (6.5)$$

где φ_p - относительная влажность воздуха в порах материала ограждающей конструкции, %, определяемая в соответствии с 13.3 СП 23-101-2004;

δ_{ms} - толщина утеплителя, м.

Индексы $i=1, 2, 3, 0$ относятся соответственно к холодному, переходному, теплomu периоду и периоду месяцев с отрицательными средними месячными температурами.

Сопrotивление паропрооницанию R_{vp} , $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}$, однослойной или отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_{vp} = \delta/\mu, \quad (6.6)$$

где δ - толщина слоя ограждающей конструкции, м;

μ - расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя ограждающей конструкции, $\text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$, принимаемый по приложению Д СП 23-101-2004.

Сопrotивление паропрооницанию многослойной ограждающей конструкции (или ее части) равно сумме сопротивлений паропрооницанию составляющих ее слоев.

Сопrotивление паропрооницанию R_{vp} листовых материалов и тонких слоев пароизоляции следует принимать по приложению Ш СП 23-101-2004.

Примечания

1 Сопrotивление паропрооницанию воздушных прослоек в ограждающих конструкциях следует принимать равным нулю независимо от расположения и толщины этих прослоек.

2 Для обеспечения нормируемого сопротивления паропрооницанию R_{vp}^{req} ограждающей конструкции следует определять сопротивление паропрооницанию R_{vp} конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации.

3 В помещениях с влажным или мокрым режимом следует предусматривать пароизоляцию теплоизолирующих уплотнителей сопряжений элементов ограждающих конструкций (мест примыкания заполнений проемов к стенам и т.п.) со стороны помещений; сопротивление паропрооницанию в местах таких сопряжений проверяется из условия ограничения

накопления влаги в сопряжениях за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха на основании расчета температурного и влажностного полей.

Значения температуры в плоскости возможной конденсации следует определять по формуле

$$\tau = t_{int} - [(t_{int} - t_{ext}) / R_o] (R_{int} + \sum R), \quad (6.7)$$

где t_{int} , t_{ext} - расчетные температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха (среднесезонная или средняя за период влагонакопления), °C;

R_o - сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

$$R_{int} = 1 / \alpha_{int},$$

где $\sum R$ - сумма термических сопротивлений слоев конструкции, расположенных между внутренней поверхностью и плоскостью возможной конденсации, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

При расчете величин R_o и $\sum R$ расчетные коэффициенты теплопроводности материалов слоев ограждающей конструкции зданий с агрессивной средой могут быть приняты по приложению Д при соответствующих условиях эксплуатации.

Для стен промышленных зданий, подверженных воздействию высокоактивных в гигроскопическом отношении аэрозолей ($\varphi_p \leq 60\%$) расчет по формулам (16)-(20) СНиП 23-02 выполнять не следует. Защиту от увлажнения таких стен с внутренней стороны следует производить без расчета как от непосредственного воздействия раствора соответствующего аэрозоля.

Независимо от результатов расчета по формулам (16)-(20) СНиП 23-02 нормируемые сопротивления паропрооницанию R_{p1}^{req} и R_{p2}^{req} (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) во всех случаях должны приниматься не более $5 m^2 \cdot ч \cdot Па / мг$.

Изотонии сорбции в зависимости от массового содержания для случая ограждающей конструкции из керамзитобетона на керамзитовом песке, содержащем хлориды натрия, калия и магния, приведены в приложении Э СП 23-101-2004.

Определение сопротивления паропрооницанию при наличии графиков сорбции выполняют следующим образом.

Относительную влажность воздуха φ_p , %, в порах материала ограждающей конструкции определяют по графикам сорбции по приложению Э в зависимости от массового содержания C . При этом величина φ_p в формулах (6.3) и (6.4) при расчете E_{pi} (при $i=1, 2, 3, 0$) определяется по графикам сорбции при $\varphi=10\%$, а при расчете E_{p0} - по графикам сорбции при $\varphi=15\%$ по приложению Щ СП 23-101-2004.

6.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПАРОПРОНИЦАНИЮ

Рассчитать сопротивление паропрооницанию наружной многослойной стены из железобетона, утеплителя и кирпичной облицовки жилого здания в Москве. Проверить соответствие сопротивления паропрооницанию стены требованиям СНиП 23-02, рассчитать распределение парциального давления водяного пара по толще стены и возможность образования конденсата в толще стены.

Исходные данные

Расчетная температура t_{int} , °C, и относительная влажность внутреннего воздуха φ_{int} , %: для жилых помещений $t_{int} = 20$ °C (согласно ГОСТ 30494), $\varphi_{int} = 55\%$ (согласно СНиП 23-02).

Расчетная зимняя температура t_{ext} , °C, и относительная влажность наружного воздуха φ_{ext} , %, определяются следующим образом: t_{ext} и φ_{ext} принимаются соответственно равными средней месячной температуре и средней относительной влажности наиболее холодного месяца. Для Москвы наиболее холодный месяц январь и согласно таблице 3* СНиП 23-01 $t_{ext} = -10,2$ °C, и согласно таблице 1* СНиП 23-01 $\varphi_{ext} = 84\%$.

Влажностный режим жилых помещений - нормальный; зона влажности для Москвы - нормальная, тогда условия эксплуатации ограждающих конструкций определяют по параметру Б (согласно СНиП 23-02). Расчетные теплотехнические показатели материалов приняты по параметру Б приложения Д СП 23-101-2004.

Наружная многослойная стена жилого дома состоит из следующих слоев, считая от внутренней поверхности:

1 - гипсовая штукатурка толщиной 5 мм, плотностью $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ с окраской внутренней поверхности двумя слоями масляной краски, расчетные коэффициенты теплопроводности $\lambda_E = 0,35 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, паропроницаемости $\mu = 0,11 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$;

2 - железобетон толщиной 100 мм, плотностью $\rho_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_E = 2,04 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, $\mu = 0,03 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$;

3 - утеплитель Styrofoam 1В А фирмы "ДАУ ЮРОП ГмбХ" толщиной 100 мм, плотностью $\rho_0 = 28 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_E = 0,031 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, $\mu = 0,006 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$;

4 - кирпичная облицовка из сплошного глиняного обыкновенного кирпича толщиной 120 мм, $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_E = 0,81 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, $\mu = 0,11 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$;

5 - штукатурка из поризованного гипсоперлитового раствора толщиной 8 мм, $\rho_0 = 500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_E = 0,19 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, $\mu = 0,43 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$.

Порядок расчета

Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции равно

$$R_0 = 1/8,7 + 0,005/0,35 + 0,1/2,4 + 0,1/0,031 + 0,12/0,81 + 0,008/0,19 + 1/23 = 3,638 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Согласно СНиП 23-02 (п.9.1, примечание 3) плоскость возможной конденсации в многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя.

Сопrotивление паропроницанию R_{vp} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропроницанию, определяемых по формулам (16) и (17) СНиП 23-02, приведенных ниже для удобства изложения:

$$R_{vp}^{req} = (e_{int} - E) R_{vp}^e / (E - e_{ext}); \quad (6.1)$$

$$R_{vp2}^{req} = 0,0024 z_0 (e_{int} - E_0) / (\rho_w \delta_w \Delta_{av} + \eta), \quad (6.2)$$

где e_{int} парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле

$$e_{int} = (\varphi_{int} / 100) E_{int}, \quad (6.3)$$

где E_{int} парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре t_{int} принимается по приложению С СП 23-101-2004: при $t_{int} = 20^\circ\text{C}$ $E_{int} = 2338$ Па. Тогда при $\varphi_{int} = 55\%$ $e_{int} = (55 / 100) 2338 = 1286$ Па;

E - парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле

$$E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12, \quad (6.4)$$

E_1, E_2, E_3 - парциальные давления водяного пара, Па, принимаемые по температуре τ_i в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;

z_1, z_2, z_3 - продолжительность, мес, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая с учетом следующих условий:

а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус 5°C ;

б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до плюс 5°C ;

в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше плюс 5°C .

Продолжительность периодов и их средняя температура определяются по таблице 3* СНиП 23-01, а значения температур в плоскости возможной конденсации τ_i , соответствующие этим периодам, по формуле (6.1) СП 23-101-2004

$$\tau_i = t_{int} - (t_{int} - t_i)(R_{si} + \sum R) / R_0, \quad (6.5)$$

где t_{int} - расчетная температура внутреннего воздуха $^\circ\text{C}$, принимаемая для жилого здания в Москве равной 20°C ;

t_i - расчетная температура наружного воздуха i -го периода, $^\circ\text{C}$, принимаемая равной средней температуре соответствующего периода;

R_{si} - сопротивление теплопередаче внутренней поверхности ограждения, равное $R_{si} = 1 / \alpha_{int} = 1 / 8,7 = 0,115 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{Вт}^{-1}$;

$\sum R$ - термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации;

R_0 - сопротивление теплопередаче ограждения, определенное ранее равным

$$R_0 = 3,638 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{Вт}^{-1}.$$

Определим термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней по-

верхности до плоскости возможной конденсации

$$\sum R = 0,005/0,35 + 0,1/2,04 + 0,1/0,031 = 3,289 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)}/\text{Вт}.$$

Установим для периодов их продолжительность z_i , сут, среднюю температуру t_i , °C, согласно СНиП 23-01 и рассчитаем соответствующую температуру в плоскости возможной конденсации τ_i , °C, по формуле (6.5) для климатических условий Москвы:

зима (январь, февраль, декабрь):

$$z_1 = 3 \text{ мес};$$

$$t_1 = [(-10,2) + (-9,2) + (-7,3)]/3 = -8,9 \text{ °C};$$

$$\tau_1 = 20 - (20 + 8,9)(0,115 + 3,289)/3,638 = -7,04 \text{ °C};$$

весна - осень (март, апрель, октябрь, ноябрь):

$$z_2 = 4 \text{ мес};$$

$$t_2 = [(-4,3) + 4,4 + 4,3 + (-1,9)]/4 = 0,6 \text{ °C};$$

$$\tau_2 = 20 - (20 - 0,6)(0,115 + 3,289)/3,638 = 1,85 \text{ °C};$$

лето (май - сентябрь):

$$z_3 = 5 \text{ мес};$$

$$t_3 = (11,9 + 16 + 18,1 + 16,3 + 10,7)/5 = 14,6 \text{ °C};$$

$$\tau_3 = 20 - (20 - 14,6)(0,115 + 3,289)/3,638 = 14,95 \text{ °C}.$$

По температурам (τ_1, τ_2, τ_3) для соответствующих периодов определяем по приложению С парциальные давления (E_1, E_2, E_3) водяного пара: $E_1 = 337 \text{ Па}$, $E_2 = 698 \text{ Па}$, $E_3 = 1705 \text{ Па}$ и по формуле (6.4) определим парциальное давление водяного пара E , Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции для соответствующих продолжительностей периодов z_1, z_2, z_3 .

$$E = (337 \cdot 3 + 698 \cdot 4 + 1705 \cdot 5)/12 = 1027 \text{ Па}.$$

Сопротивление паропрооницанию $R_{vp}^e, \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, определяется по формуле (6.6).

$$R_{vp}^e = 0,008/0,43 + 0,12/0,11 = 1,11 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха e_{ex} , Па, за годовой период определяют по СНиП 23-01 (таблица 5а*)

$$e_{ex} = (280 + 290 + 390 + 620 + 910 + 1240 + 1470 + 1400 + 1040 + 700 + 500 + 360)/12 = 767 \text{ Па}.$$

По формуле (16) СНиП 23-02 определяем нормируемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации согласно СНиП 23-02 (п.9.1а)

$$R_{vp1}^{req} = (1286 - 1027)1,11/(1027 - 767) = 1,11 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропроницанию R_{vp2}^{req} из условия ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха берут определенную ранее продолжительность этого периода z_0 , сут, среднюю температуру этого периода t_0 , °C: $z_0 = 151$ сут, $t_0 = -6,6$ °C.

Температуру τ_0 , °C, в плоскости возможной конденсации для этого периода определяют по формуле (80)

$$\tau_0 = 20 - (20 + 6,6)(0,115 + 3,289)/3,638 = -4,9 \text{ °C}.$$

Парциальное давление водяного пара E_0 , Па, в плоскости возможной конденсации определяют по приложению С при $\tau_0 = -4,89$ °C равным $E_0 = 405$ Па.

Согласно СНиП 23-02 в многослойной ограждающей конструкции увлажняемым слоем является утеплитель, в данном примере Styrofoam плотностью $\rho_w = \rho_0 = 28 \text{ кг/м}^3$ при толщине $\gamma_w = 0,1$ м. Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в этом материале согласно СНиП 23-02 $\Delta w_{av} = 25\%$.

Средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами, определенная ранее, равна $e_0^{av} = 364$ Па.

Коэффициент η определяется по формуле (20) СНиП 23-02.

$$\eta = 0,0024(405 - 364)151/1,11 = 13,39.$$

Определим R_{vp2}^{req} по формуле (17) СНиП 23-02

$$R_{vp2}^{req} = 0,0024 \cdot 151(1286 - 405) / (28 \cdot 0,1 \cdot 25 + 13,39) = 3,83 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

При сравнении полученного значения R_{vp} с нормируемым устанавливаем, что $R_{vp} > R_{vp2}^{req} > R_{vp1}^{req}$.

Следовательно, ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям СНиП 23-02 в отношении сопротивления паропроницанию.

6.3. РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА ПО ТОЛЩЕ СТЕНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ КОНДЕНСАТА В ТОЛЩЕ СТЕНЫ.

Для проверки конструкции на наличие зоны конденсации внутри стены определяем сопротивление паропроницанию стены R_{vp} по формуле (6.6) СП 23-101-2004 (здесь и далее сопротивлением влагообмену у внутренней и наружной поверхностей пренебрегаем).

$$R_{vp} = 0,005 / 0,11 + 0,1 / 0,03 + 0,1 / 0,006 + 0,12 / 0,11 + 0,008 / 0,43 = 21,15 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Определяем парциальное давление водяного пара внутри и снаружи стены по формуле (6.3) и приложению С СП 23-101-2004

$$\tau_{int} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}; \varphi_{int} = 55\%;$$

$$e_{int} = (55/100)2338 = 1286 \text{ Па};$$

$$t_{ext} = -10,2 \text{ }^{\circ}\text{C}; \varphi_{int} = 84\%;$$

$$e_{ext} = (84/100)260 = 218 \text{ Па}.$$

Определяем температуры τ_i на границах слоев по формуле (6.5), нумеруя от внутренней поверхности к наружной, и по этим температурам - максимальное парциальное давление водяного пара E_i по приложению С:

$$\tau_1 = 20 - (20 + 10,2)(0,115) / 3,638 = 19,0 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$E_1 = 2197 \text{ Па};$$

$$\tau_2 = 20 - (20 + 10,2)(0,115 + 0,014) / 3,638 = 18,9 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$E_2 = 2182 \text{ Па};$$

$$\tau_3 = 20 - (20 + 10,2)(0,115 + 0,063) / 3,638 = 18,5 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$E_3 = 2129 \text{ Па};$$

$$\tau_4 = 20 - (20 + 10,2)(0,115 + 3,289) / 3,638 = -8,3 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$E_4 = 302 \text{ Па};$$

$$\tau_5 = 20 - (20 + 10,2)(0,115 + 3,437) / 3,638 = -9,5 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$E_5 = 270 \text{ Па};$$

$$\tau_6 = 20 - (20 + 10,2)(0,115 + 3,479) / 3,638 = -9,8 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$E_6 = 264 \text{ Па};$$

Рассчитаем действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев по формуле

$$e_i = e_{int} - (e_{int} - e_{ext}) \sum R / R_{vp}, \quad (6.6)$$

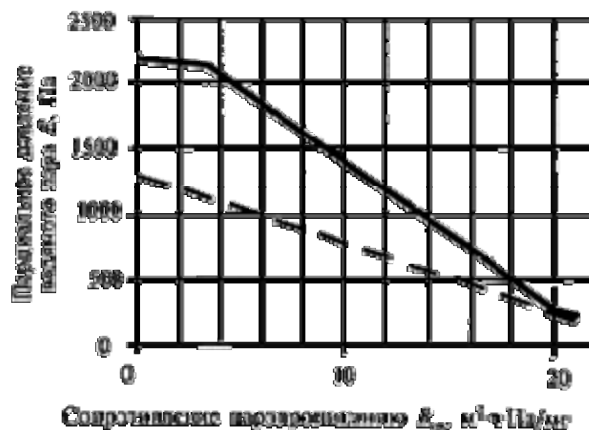
$\sum R$ - сумма сопротивлений паропроницанию слоев, считая от внутренней поверхности.

В результате расчета по формуле (6.6) получим следующие значения: $e_1 = 1286 \text{ Па}$, $e_2 = 1283 \text{ Па}$, $e_3 = 1115$, $e_4 = 274 \text{ Па}$, $e_5 = 219 \text{ Па}$, $e_6 = 218 \text{ Па}$.

При сравнении величин максимального парциального давления E_i водяного пара и величин действительного парциального давления e_i водяного пара на соответствующих границах слоев видим, что все величины e_i ниже величин E_i , что указывает на отсутствие возможности конденсации водяного пара в ограждающей конструкции.

Для наглядности расчета построим график распределения максимального парциального давления E_i водяного пара и график изменения действительного парциального давления

e_i водяного пара по толще стены в масштабе сопротивлений паропропусканию его слоев. Очевидно, что эти кривые не пересекаются, что также доказывает невозможность образования конденсата в ограждении.



— - - - - распределение действительного парциального давления водяного пара e
 — — — — — распределение максимального парциального давления водяного пара E

Рисунок 6.1 - Распределение парциального давления водяного пара в ограждающей конструкции (слева направо - от внутренней поверхности к наружной).

6.4. ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ.

1. Определить нормируемое сопротивление паропропусканию ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) в холодный период года при наличии в здании системы отопления для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

2. Проверить конструкции на наличие зоны конденсации внутри стены в холодный период года при наличии в здании системы отопления для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

7. РАСЧЕТ И ПОДБОР НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ.

7. 1. ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДЕНИЯ.

Выбор теплоизоляционного материала по условиям экономической целесообразности следует производить только из материалов, предназначенных для ограждающих конструкций, удовлетворяющих требованиям экологической и пожарной безопасности, деструкционной стойкости.

Экономическую целесообразность теплозащиты следует оценивать по выполнению двух условий.

Первое условие: чистый дисконтированный доход от применения выбранного теплоизоляционного материала в данной конструкции должен быть положительным

$$P_m = \Delta L \sum_{t=1}^T (1 + E)^{-t} - \Delta K \geq 0, \quad (7.1)$$

где P_m - чистый дисконтированный доход (интегральный эффект), руб/м²;

ΔL - ежегодное сокращение эксплуатационных издержек за счет снижения теплотерь через 1 м² поверхности ограждающей конструкции, руб/(м²·год);

ΔK - капитальные вложения в теплоизоляционный слой (на 1 м² поверхности ограждающей конструкции), руб/м²;

E - норма дисконта, выбираемая заказчиком (при отсутствии данных принимается равной 0,08 год⁻¹);

T - нормативный срок службы ограждающей конструкции здания, лет;

t - номер текущего года.

Второе условие: срок окупаемости капитальных вложений в теплозащитный слой ограждающей конструкции (с учетом дисконтирования прибыли) должен быть не больше срока окупаемости банковского вклада.

Первое условие экономической целесообразности при выборе теплоизоляционного материала должно удовлетворять неравенству

$$c_m \lambda_m \leq 24 c_g f(F) f(r) \alpha_1 D_{\text{дв}} / (R_{\text{рег}} R_{\text{д}}^*), \quad (7.2)$$

где $c_m \lambda_m$ - параметр теплоизоляционного материала, определяющий стоимость единицы термического сопротивления теплоизоляционного слоя площадью 1 м², (руб/м²)/(м²·°C/Вт);

c_m - стоимость теплоизоляционного материала, руб/м³;

λ_m - коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, Вт/(м·°C);

c_g - тарифная стоимость тепловой энергии от выбранного источника теплоснабжения, руб/Вт·ч;

$f(F)$ - функция влияния относительной площади оребрения для трехслойных бетонных конструкций с ребрами и теплоизоляционными вкладышами;

$f(r)$ - функция влияния теплотехнической неоднородности многослойной конструкции;

α_1 - коэффициент дисконтирования эксплуатационных издержек, лет;
 D_d - то же, что и в формуле (2.1), °C·сут;
 n - то же, что и в формуле (3) СНиП 23-02;
 R_{req} - нормируемое приведенное сопротивление теплопередаче многослойной ограждающей конструкции, определяемое согласно СНиП 23-02, м²·°C/Вт;
 R_0^* - сопротивление теплопередаче той же конструкции без теплоизоляционного слоя, м²·°C/Вт.

Численные значения $f(F)$, $f(r)$, α_1 определяются по формулам:

$$f(F) = (1 - F_p / F)^{-1}, \quad (7.3)$$

где F_p / F - отношение площади, занимаемой ребрами, к площади поверхности конструкции (без учета оконных проемов);

$$f(r) = r(R_{req} - R_0^*) / (R_{req} - rR_0^*), \quad (7.4)$$

где R_{req} и R_0^* - те же, что и в формуле (7.2);

$$\alpha_1 = [1 - (1 + E)^{-T}] / E, \quad (7.5)$$

где E , T - то же, что и в формуле (7.1).

Второе условие экономической целесообразности при выборе теплоизоляционного материала должно удовлетворять неравенству

$$c_m \lambda_m \leq 24 c_e f(F) f(r) \alpha_2 D_d n / (R_{req} R_0^*), \quad (7.6)$$

где α_2 - коэффициент, определяемый по формуле

$$\alpha_2 = [1 - (1 + E)^{-(1+1/E)}] / E, \quad (7.7)$$

c_m , λ_m , c_e , $f(F)$, $f(r)$, D_d , n , R_{req} , R_0^* - то же, что и в формуле 7.2.

Все теплоизоляционные материалы, удовлетворяющие двум неравенствам (7.2) и (7.6), обеспечивают экономическую целесообразность применения в качестве теплозащиты. При этом приоритет следует отдавать материалам с наименьшим значением $c_m \lambda_m$, как обеспечивающим максимальную величину чистого дисконтированного дохода в данных условиях.

Теплоизоляционные материалы, удовлетворяющие только первому условию, обеспечивают относительную экономическую целесообразность. Их использование рекомендуется только по согласованию с заказчиком.

Использование для теплозащиты зданий теплоизоляционных материалов, не удовлетворяющих условиям экономической целесообразности, не рекомендуется.

7.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДЕНИЯ.

Требуется оценить экономическую целесообразность использования в г.Уфе следующих теплоизоляционных материалов для теплозащиты кирпичной стены жилого дома с конструктивным слоем из силикатного четырнадцатипустотного кирпича на цементно-песчаном растворе с коэффициентом теплопроводности $\lambda_1=0,64$ Вт/(м·°С) и наружным облицовочным слоем из керамического пустотного кирпича на цементно-песчаном растворе с коэффициентом теплопроводности $\lambda_2=0,58$ Вт/(м·°С):

- плит теплоизоляционных из минеральной ваты на синтетическом связующем П-75 (Салаватский завод ОАО "Термостепс") с коэффициентом теплопроводности $\lambda_m=0,045$ Вт/(м·°С);
- плит пенополистирольных ПСБ-С-50 (ООО НПО "Полимер", г.Уфа) с коэффициентом теплопроводности $\lambda_m=0,041$ Вт/(м·°С);
- матов прошивных из минеральной ваты М-125 (Салаватский завод ОАО "Термостепс") с коэффициентом теплопроводности $\lambda_m=0,044$ Вт/(м·°С);
- шлакоматов 2М-100 (ОАО "Нефтехимстрой", г.Уфа) с коэффициентом теплопроводности $\lambda_m=0,044$ Вт/(м·°С).

Исходные данные:

- толщина основного конструктивного слоя стены $\delta_1=0,38$ м;
- толщина наружного облицовочного слоя $\delta_2=0,12$ м;
- крепление - гибкие связи из стеклопластика;
- коэффициент теплотехнической однородности $r=0,84$;
- нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_{req} = 3,33$ м²·°С/Вт;
- район строительства - г.Уфа, $D_d=5730$ °С·сут;
- тарифная стоимость тепловой энергии $c_g = 115 \cdot 10^{-6}$ руб/Вт·ч;
- нормативный срок службы конструкции $T=50$ лет;
- норма дисконта, выбранная заказчиком, $E = 0,1$ год⁻¹.

Порядок расчета

1. Суммарное сопротивление теплопередаче стены без теплоизоляционного слоя

$$R_0^* = R_{si} + \delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + R_{se} = 0,114 + 0,38 / 0,64 + 0,12 / 0,58 + 0,043 = 0,958 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

2. Значение функций влияния внутреннего оребрения и теплотехнической однородности конструкции

$$f_{(F)} = (1 - F_p / F)^{-1} = 1,0,$$
$$f_{(r)} = 0,84(3,33 - 0,958) / (3,33 - 0,84 \cdot 0,958) = 0,789.$$

3. Значения коэффициентов дисконтирования

$$\alpha_1 = [1 - (1 + 0,1)^{-50}] / 0,1 = 9,9 \text{ лет};$$

$$\alpha_2 = [1 - (1 + 0,1)^{-(1+1/0,1)}] / 0,1 = 6,5 \text{ лет}.$$

4. Определение условий экономической целесообразности по формулам (7.2)-(7.6):

- для первого условия

$$c_m \lambda_m \leq (24 \cdot 115 \cdot 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 0,789 \cdot 9,9 \cdot 5730 \cdot 1) / (3,33 \cdot 0,958) =$$

$$= 38,7 \text{ (руб/м}^2 \text{)} / \text{(м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)}$$

- для второго условия

$$c_m \lambda_m \leq (24 \cdot 115 \cdot 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot 0,789 \cdot 6,5 \cdot 5730 \cdot 1) / (3,33 \cdot 0,958) =$$

$$= 25,4 \text{ (руб/м}^2 \text{)} / \text{(м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)}$$

5. Значения параметра $c_m \lambda_m$ для заданных теплоизоляционных материалов приняты по данным предприятий-производителей:

- плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем П-75 (Салаватский завод ОАО "Термостепс"):

$$c_m \lambda_m = 20,3 \text{ (руб/м}^2 \text{)} / \text{(м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)}$$

- плиты пенополистирольные ПСБ-С-50 (ООО НПО "Полимер" г.Уфа):

$$c_m \lambda_m = 43,1 \text{ (руб/м}^2 \text{)} / \text{(м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)}$$

- маты прошивные из минеральной ваты М-125 (Салаватский завод ОАО "Термостепс"):

$$c_m \lambda_m = 31,7 \text{ (руб/м}^2 \text{)} / \text{(м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)}$$

- шлакоматы 2М-100 (ОАО "Нефтехимстрой", г.Уфа):

$$c_m \lambda_m = 28,2 \text{ (руб/м}^2 \text{)} / \text{(м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)}$$

6. Теплоизоляционным материалом, удовлетворяющим требованиям экономической целесообразности, в данном случае являются плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем П-75 Салаватского завода ОАО "Термостепс", имеющие $c_m \lambda_m < 25,4 \text{ (руб/м}^2 \text{)} / \text{(м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)}$.

7.3. ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ.

1. Рассчитать экономически целесообразное сопротивление теплопередаче ограждения в холодный период года при наличии в здании системы отопления для объекта расположенного в городе N (назначение и № объекта см. прил. 1, номер задания соответствует номеру в списке группы).

Библиографический список рекомендуемой литературы

Основной

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: учебник для вузов / Богословский В.Н. - СПб.: «АВОК Северо-Запад», 2006.- 400с.:ил.- Библиогр. в конце кн.- 5-902146-10-0 /в пер./: 00.00.

Дополнительный.

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. - М.: Госстрой России,, 2004. – 71 с.
2. СНиП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные. - М.: Госстрой России,, 2004. – 25 с.
3. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. - М.: Госстрой России, 2000, - 67с.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. - М.: Госстрой России,, 2004. – 28 с.
5. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. - М.: Госстрой России, 2004. – 186 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Задания для расчета и подбора наружных ограждений.

| № вар. | Р-он стр-ва (город) | Назн. помещ | Конструкция ограждения номер слоя в конструкции номер слоя в СНИП/толщина, мм | | | | | Размеры наружной стены $l \times h$, м | Размеры окна $l \times h$, м |
|-----------|------------------------|----------------|---|---------------|--------|---------------|--------|--|-------------------------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| 1 | Саратов | жилое | 71/30 | 85/120 | 142/? | 85/120 | 71/30 | 3,1x2,8 | 1,0x1,2 |
| 2 | Самара | лечебн. | 108/12 | возд.пр-ка/50 | 85/250 | 142/? | 71/30 | 4,5x2,65 | 2,2x1,65 |
| 3 | Томск | дошкольн | 83/10 | возд.пр-ка/30 | 17/? | - | - | 6,8x3,0 | 4,75x1,5 |
| 4 | Тюмень | жилое | 120/15 | 129/? | 87/380 | возд.пр-ка/20 | 178/12 | 4,3x3,1 | 3,3x2,2 |
| 5 | Улан-Удэ | лечебн. | 124/20 | 93/250 | 132/? | 93/65 | 73/50 | 5,5x2,7 | 2,75x2,0 |
| 6 | Уссурийск | дошкольн | 90/200 | 137/? | 72/50 | возд.пр-ка/30 | 96/30 | 6,6x2,2 | 3,0x2,45 |
| 7 | Хабаровск | жилое | 83/12 | 63/80 | 137/? | 78/50 | 98/20 | 5,9x3,5 | 3,7x2,9 |
| 8 | Челябинск | лечебн. | 83/12 | 140/? | 115/30 | 179/10 | - | 6,0x2,6 | 4,0x1,15 |
| 9 | Чита | дошкольн | 124/20 | 76/30 | 92/125 | 147/? | 92/125 | 4,1x4,0 | 1,25x1,25 |
| 10 | Южно-Сахалинск | жилое | 120/20 | 129/? | 87/250 | возд.пр-ка/50 | 178/20 | 4,8x3,7 | 2,55x1,35 |
| 11 | Владивосток | лечебн. | 83/10 | 71/30 | 23/? | 196/5 | - | 3,2x2,65 | 1,65x1,85 |
| 12 | Иркутск | дошкольн | 83/24 | 120/30 | 129/? | 120/30 | 180/5 | 4,3x3,4 | 2,3x1,4 |
| 13 | Хабаровск | жилое | 79/20 | 90/200 | 158/? | 90/200 | 79/50 | 7,2x3,95 | 5,1x2,95 |
| 14 | Новосибирск | лечебн. | 108/25 | возд.пр-ка/70 | 85/380 | 142/? | 71/30 | 8,8x4,1 | 6,8x2,7 |
| 15 | Омск | дошкольн | 124/30 | 93/125 | 132/? | 93/125 | 73/20 | 9,0x5,35 | 6,0x3,35 |
| 16 | Тюмень | жилое | 83/36 | 129/? | 115/30 | 179/10 | - | 2,8x2,8 | 1,8x1,8 |
| 17 | Братск | лечебн. | 90/200 | 175/? | 72/50 | возд.пр-ка/30 | 96/30 | 3,5x3,5 | 2,5x1,65 |
| 18 | Пермь | дошкольн | 124/10 | 76/50 | 92/125 | 172/? | 92/125 | 4,5x4,5 | 3,5x3,5 |
| 19 | Екатеринбург | жилое | 71/30 | 85/250 | 169/? | 85/120 | 71/30 | 6,6x3,3 | 4,6x2,3 |
| 20 | Челябинск | лечебн. | 71/30 | 85/120 | 63/? | 85/120 | 71/30 | 10,1x3,45 | 8,5x2,8 |
| 21 | Оренбург | дошкольн | 83/30 | возд.пр-ка/50 | 25/? | - | - | 4,9x2,55 | 1,9x1,35 |
| 22 | Казань | жилое | 79/20 | 90/200 | 158/? | 87/65 | 79/50 | 8,56x3,25 | 5,65x1,56 |
| 23 | Магадан | лечебн. | 79/20 | 87/250 | 165/? | 84/125 | 79/50 | 7,62x5,25 | 5,25x3,62 |
| 24 | Петрозаводск | дошкольн | 74/20 | 129/? | 87/250 | возд.пр-ка/25 | 178/20 | 5,25x7,62 | 2,25x4,85 |
| 25 | Санкт-Петербург | жилое | 86/125 | 158/? | 87/250 | возд.пр-ка/50 | 178/20 | 4,85x3,15 | 2,85x2,15 |
| 26 | Москва | лечебн. | 108/12 | возд.пр-ка/50 | 88/250 | 177/? | 88/65 | 6,5x3,8 | 4,1x2,8 |
| 27 | Воронеж | дошкольн | 90/100 | 176/? | 90/100 | возд.пр-ка/30 | 96/30 | 5,8x2,45 | 2,7x1,45 |
| 28 | Пенза | жилое | 90/250 | 150/? | 72/50 | возд.пр-ка/40 | 96/30 | 4,6x3,1 | 2,5x1,5 |
| 29 | Саратов | лечебн. | 124/30 | 93/125 | 159/? | 93/125 | 73/20 | 5,05x3,05 | 3,05x1,05 |
| 30 | Росто-на-Дону | дошкольн | 108/30 | 90/100 | 132/? | 93/125 | 73/20 | 6,1x4,1 | 1,0x1,0 |
| 31 | Астрахань | жилое | 83/36 | 120/40 | 142/? | 120/40 | 180/10 | 3,1x2,8 | 1,0x1,2 |
| 32 | Ставрополь | лечебн. | 124/20 | 93/250 | 132/? | 93/65 | 73/50 | 4,5x2,65 | 2,2x1,65 |
| 33 | Калининград | дошкольн | 108/12 | возд.пр-ка/50 | 85/250 | 142/? | 71/30 | 6,8x3,0 | 4,75x1,5 |
| 34 | Рязань | жилое | 120/20 | 129/? | 87/250 | возд.пр-ка/50 | 178/20 | 4,3x3,1 | 3,3x2,2 |
| 35 | Курск | лечебн. | 90/200 | 137/? | 72/50 | возд.пр-ка/30 | 96/30 | 5,5x2,7 | 2,75x2,0 |
| 36 | Белгород | дошкольн | 83/12 | возд.пр-ка/30 | 129/? | 115/50 | 179/10 | 6,6x2,2 | 3,0x2,45 |
| 37 | Тверь | жилое | 83/36 | возд.пр-ка/30 | 25/? | - | - | 5,9x3,5 | 3,7x2,9 |
| 38 | Клин | лечебн. | 83/24 | возд.пр-ка/30 | 28/? | 178/10 | - | 6,0x2,6 | 4,0x1,15 |
| 39 | Гош | дошкольн | 124/20 | 76/30 | 92/125 | 147/? | 90/125 | 4,1x4,0 | 1,25x1,25 |
| 40 | Муром | жилое | 124/20 | 76/30 | 90/200 | 147/? | 92/125 | 4,8x3,7 | 2,55x1,35 |

Задания для расчета экономически целесообразного сопротивления теплопередаче ограждения

| № вар. | Район стр-ва (город) | δ_1 , м | δ_2 , м | r | c_{θ} , руб/Вт·ч | T , лет | E , год ⁻¹ |
|-----------|-------------------------|----------------|----------------|------|----------------------------|-----------|-------------------------|
| 1 | Абакан | 0,25 | 0,25 | 0,84 | 115×10^{-6} | 50 | 0,1 |
| 2 | Архангельск | 0,38 | 0,12 | 0,81 | 113×10^{-6} | 30 | 0,2 |
| 3 | Астрахань | 0,2 | 0,1 | 0,75 | 110×10^{-6} | 40 | 0,3 |
| 4 | Белгород | 0,57 | 0,2 | 0,85 | 100×10^{-6} | 60 | 0,4 |
| 5 | Биробиджан | 0,3 | 0,13 | 0,77 | 109×10^{-6} | 55 | 0,5 |
| 6 | Благовещенск | 0,4 | 0,2 | 0,81 | 116×10^{-6} | 32 | 0,6 |
| 7 | Братск, Ирк. | 0,45 | 0,1 | 0,9 | 108×10^{-6} | 47 | 0,15 |
| 8 | Брянск | 0,55 | 0,15 | 0,77 | 107×10^{-6} | 61 | 0,25 |
| 9 | Владивосток | 0,47 | 0,1 | 0,76 | 111×10^{-6} | 45 | 0,35 |
| 10 | Владимир | 0,58 | 0,14 | 0,83 | 105×10^{-6} | 51 | 0,45 |
| 11 | Волгоград | 0,26 | 0,17 | 0,74 | 112×10^{-6} | 48 | 0,55 |
| 12 | Вологда | 0,36 | 0,16 | 0,80 | 115×10^{-6} | 50 | 0,12 |
| 13 | Воронеж | 0,21 | 0,09 | 0,84 | 113×10^{-6} | 30 | 0,17 |
| 14 | Выборг | 0,42 | 0,19 | 0,81 | 110×10^{-6} | 40 | 0,23 |
| 15 | Зей, Амурской обл. | 0,39 | 0,12 | 0,75 | 100×10^{-6} | 60 | 0,31 |
| 16 | Иваново | 0,25 | 0,1 | 0,85 | 109×10^{-6} | 55 | 0,42 |
| 17 | Иркутск | 0,38 | 0,2 | 0,77 | 116×10^{-6} | 32 | 0,11 |
| 18 | Казань | 0,2 | 0,13 | 0,81 | 108×10^{-6} | 47 | 0,22 |
| 19 | Тверь | 0,57 | 0,2 | 0,9 | 107×10^{-6} | 61 | 0,33 |
| 20 | Калуга | 0,3 | 0,1 | 0,77 | 111×10^{-6} | 45 | 0,09 |
| 21 | Кемерово | 0,4 | 0,15 | 0,76 | 105×10^{-6} | 51 | 0,1 |
| 22 | Киров | 0,45 | 0,1 | 0,83 | 112×10^{-6} | 48 | 0,2 |
| 23 | Красноярск | 0,55 | 0,14 | 0,74 | 115×10^{-6} | 50 | 0,3 |
| 24 | Курган | 0,47 | 0,17 | 0,80 | 113×10^{-6} | 30 | 0,4 |
| 25 | Курск | 0,58 | 0,16 | 0,84 | 110×10^{-6} | 40 | 0,5 |
| 26 | Липецк | 0,26 | 0,09 | 0,81 | 100×10^{-6} | 60 | 0,6 |
| 27 | Москва | 0,36 | 0,19 | 0,75 | 109×10^{-6} | 55 | 0,15 |
| 28 | Мурманск | 0,21 | 0,12 | 0,85 | 116×10^{-6} | 32 | 0,25 |
| 29 | Нальчик | 0,42 | 0,1 | 0,77 | 108×10^{-6} | 47 | 0,35 |
| 30 | Новгород | 0,39 | 0,2 | 0,81 | 107×10^{-6} | 61 | 0,45 |
| 31 | Новосибирск | 0,25 | 0,13 | 0,9 | 111×10^{-6} | 45 | 0,55 |
| 32 | Омск | 0,38 | 0,2 | 0,77 | 105×10^{-6} | 51 | 0,12 |
| 33 | Орел | 0,2 | 0,1 | 0,76 | 112×10^{-6} | 48 | 0,17 |
| 34 | Охотск, Хаб. | 0,57 | 0,15 | 0,83 | 115×10^{-6} | 50 | 0,23 |
| 35 | Пенза | 0,3 | 0,1 | 0,74 | 113×10^{-6} | 30 | 0,31 |
| 36 | Пермь | 0,4 | 0,14 | 0,80 | 110×10^{-6} | 40 | 0,42 |
| 37 | Псков | 0,45 | 0,17 | 0,76 | 100×10^{-6} | 60 | 0,11 |
| 38 | Ростов-на -Дону | 0,55 | 0,16 | 0,83 | 109×10^{-6} | 55 | 0,22 |
| 39 | Рязань | 0,47 | 0,09 | 0,74 | 116×10^{-6} | 32 | 0,33 |
| 40 | Смоленск | 0,58 | 0,19 | 0,80 | 108×10^{-6} | 47 | 0,09 |