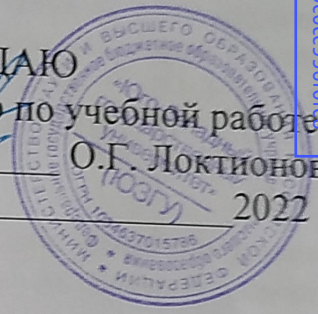


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра теплогазоводоснабжения

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 0 » 09 2022 г.



Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 14.09.2023 17:32:37
Уникальный программный ключ:
9ba7735e34c012eba476f6d2d064c72781953be730d12374d16f5c0ce536f0f6c

Определение мощности системы обеспечения микроклимата

Методические указания для практических занятий , курсового проектирования и самостоятельной работы студентов всех форм обучения направлений подготовки 08.03.01, 08.04.01, 13.03.01, 13.04.01

Курск 2022

УДК 697.2(07)

Составители: Е.В. Умеренков, Э.В. Умеренкова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры
теплогазоводоснабжения Т.В. Поливанова

Определение мощности системы обеспечения микроклимата:
методические указания для практических занятий, курсового проектирования
и самостоятельной работы студентов всех форм обучения направлений
подготовки 08.03.01, 08.04.01, 13.03.01, 13.04.01 Юго-Зап. гос. ун-т;
сост. Э.В. Умеренкова, Е.В. Умеренков. Курск, 2022. 30 с.: табл. 3. , ил.1.
Библиогр.: с. 30 .

Изложены основные теоретические положения и алгоритм составления
теплового баланса при определении тепловой нагрузки системы обеспечения
микроклимата.

Методические указания предназначены для студентов и магистров
ВУЗов теплоэнергетических и строительных специальностей всех форм
обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ. л. 1,74. Уч.-изд. л. 1,58 Тираж 100 экз. Заказ. 1824 Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Оглавление

Введение	4
1 Теоретические положения	5
1.1 Расчет тепловой нагрузки системы отопления. Уравнение баланса.....	5
1.2 Расчет трансмиссионных теплопотерь	6
1.3 Расчет потерь тепла на инфильтрацию	7
1.4 Расчет бытовых тепловыделений.....	10
2 Пример расчета	11
3 Вопросы и задачи для самоконтроля.....	26
Библиографический список	30

Введение

Здания и сооружения необходимо оборудовать системой отопления для поддержания в них допустимых температурных условий, отвечающих требованиям теплового комфорта.

Создание теплового комфорта необходимо для обеспечения соответствующего теплообмена между человеком и окружающей средой (т.е. такого теплообмена, когда в теле человека не изменяется количество теплоты).

Для этого в каждом закрытом помещении должна поддерживаться заданная температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций (1-е условие температурного комфорта) и определенные параметры воздушной среды, а также температура нагретых поверхностей отопительных приборов (2-е условие температурного комфорта).

Внутреннюю среду помещения, характеризуемую параметрами воздуха и температурой поверхностей ограждающих и отопительных приборов, называют микроклиматом помещения.

В инженерной практике, относящейся к отоплению, используется метод расчета параметров микроклимата, который связывает два параметра:

- температуру внутреннего воздуха t_v ;
- радиационную температуру помещения.

Современный подход к проектированию систем обеспечения микроклимата направлен на оптимизацию их установочной мощности, с целью снижения затрат тепловой энергии [1].

Задачей студента является освоение теоретических и практических основ, позволяющих грамотно и профессионально выполнять все расчеты и принимать соответствующие решения, связанные с определением тепловой нагрузки системы обеспечения микроклимата.

1. Теоретические положения

1.1 Расчет тепловой нагрузки системы отопления.

Уравнение теплового баланса

Мощность системы отопления определяют для расчётных теплопотерь, т. е. при потерях тепла при расчётной температуре наружного воздуха для проектирования систем отопления, учитывая:

- а) потери теплоты через ограждающие конструкции;
- б) расход теплоты на нагревание наружного воздуха, проникающего в помещения за счет инфильтрации или путем организованного притока через оконные клапаны, форточки, фрамуги и другие устройства для вентиляции помещений;
- в) тепловой поток, регулярно поступающий от электрических приборов, освещения, людей и других источников тепла.

Расчетную мощность системы отопления ($Q_{от}$, Вт) определяют из уравнения теплового баланса помещений:

$$Q_{от}^{зд} = Q_T + Q_{инф.} - Q_{быт.}, \quad (1.1)$$

где Q_T – теплопотери теплопередачей через ограждающие конструкции здания, Вт;

$Q_{инф.}$ – расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха, Вт;

$Q_{быт.}$ – бытовые тепловыделения, Вт.

Теплопотери следует определять для всех отапливаемых помещений, суммируя потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции, с округлением до 5 Вт :

- через наружные стены;
- через внутренние стены, если разность температур в помещении, которые они разделяют, превышает 3°C ;
- через окна;
- через балконные двери;
- через пол на первом этаже;
- через потолок на последнем этаже.

Для ограждений, обращенных наружной поверхностью в сторону неотапливаемых помещений (подвальные и чердачные

помещения, холодные подполья, тамбура, закрытые веранды и лоджии и т.п.), в которых температура воздуха будет выше расчетной температуры наружного воздуха t_n , вводят поправочный коэффициент n .

В случае, непредусмотренном нормами, определяют температуру воздуха в неотапливаемом помещении, граничащем с отапливаемым, исходя из уравнения теплового баланса неотапливаемого помещения.

Теплопотери через внутренние ограждающие конструкции помещений допускается не учитывать, если разность температур в этих помещениях 3°C и менее. Если разность температур более 3°C , то для помещений с более высокой температурой внутреннего воздуха эти потери теплоты необходимо суммировать с другими теплопотерями, а для помещений с более низкой температурой внутреннего воздуха их следует учитывать как теплопоступления.

1.2 Расчет трансмиссионных теплопотерь

Потери теплоты теплопередачей (трансмиссионные) следует определять по формуле:

$$Q = \frac{1}{R} * A * (t_e - t_n) * (1 + \sum \beta) * n \quad (1.2)$$

где R - фактическое термическое сопротивление ограждения, $\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

A - расчетная площадь ограждающей конструкции, м^2 ;

β - добавочные потери теплоты в долях от основных потерь.

Линейные размеры ограждающих конструкций определяют с точностью до $0,1\text{м}$, а площадь – с точностью до $0,1\text{м}^2$, в соответствии с правилами обмера.

Дополнительные теплопотери учитываются добавками к основным, задаваемыми в долях единицы. Добавки подразделяются на несколько видов:

1. Добавка на ориентацию ограждения по сторонам света принимается для всех наружных вертикальных ограждений или

проекций на вертикаль наружных наклонных ограждений (рис.3), обращенных на:

- север (С); восток (В); северо-восток (СВ) и северо-запад (СЗ) – в размере 0,1;
- юго-восток (ЮВ) и запад (З) – 0,05.

В жилых помещениях, разрабатываемых для типового проектирования, через все ограждения, обращенные на любую из сторон света в размере 0,13.

б) через необогреваемые полы 1 этажа над холодными подпольями зданий в местностях с расчетной температурой -40°C и ниже – в размере 0,05;

в) через наружные двери, не оборудованные воздушными завесами при высоте зданий H , м, от средней планировочной отметки земли до верха карниза в размере:

- 0,2 H – для тройных дверей с двумя тамбурами между ними;
- 0,27 H – для двойных дверей с тамбуром между ними;
- 0,34 H – для двойных дверей без тамбура;
- 0,22 H – для одинарных дверей.

1.3 Расчет потерь тепла на инфильтрацию

В жилых и общественных зданиях с естественной вытяжной вентиляцией (без компенсации подогретым притоком) расход теплоты на инфильтрацию определяют двумя путями:

- вычисляется расход теплоты на подогрев инфильтрующегося воздуха, обеспечивающего нормативный воздухообмен, т.е. равного расходу удаляемого вытяжного воздуха;
- рассчитывается расход теплоты из условия нагревания инфильтрующегося через наружные ограждения воздуха при отсутствии вентиляции.

За расчетное принимается большее из полученных значений.

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха при нормативном воздухообмене определяют:

$$Q_{\text{инф}}^H = 0,28L_H\rho_H C(t_B - t_H), \quad (1.3)$$

где L_n – расход удаленного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$, не компенсируемый подогретым потоком, равное для:

а) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее 20 м^2 общей площади на человека - $3 A_{\text{ж}}$;

б) других жилых зданий - $0,35 h_{\text{эт}}(A_{\text{ж}})$, но не менее 30т , где т - расчетное число жителей в здании;

в) общественных и административных зданий определяют согласно подразделу проектной документации "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети" с учетом баланса приточного и вытяжного воздуха, в том числе при использовании систем рециркуляции, либо согласно приложению И СП 60.13330.2020 [2] с учетом количества человек в помещениях;

$h_{\text{эт}}$ - высота этажа от пола до потолка, м;

ρ_n – плотность наружного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$, определяется по формуле:

$$\rho_n = \frac{353}{273 + t_n} \quad (1.4)$$

c – удельная теплоемкость воздуха равная $1 \text{ кДж}/\text{кг} \text{ } ^\circ\text{С}$.

При отсутствии вентиляции, расход теплоты на нагревание инфильтрующегося через неплотности ограждений воздуха определяют:

$$Q_{\text{инф.}} = 0,28 \sum G_i * k * C * (t_g - t_n) \quad (1.5)$$

где k – коэффициент учета влияния встречного потока в конструкциях;

G_i – расход инфильтрующегося воздуха, $\text{кг}/\text{ч}$, через ограждающие конструкции помещения: наружные стены, окна, балконные двери, щели и неплотности проемов ограждений, стыки стеновых панелей.

Таким образом, задача инженерного расчета сводится к определению расхода инфильтрационного воздуха $G_{\text{инф}}$, $\text{кг}/\text{ч}$, через отдельные ограждения каждого помещения. Инфильтрация через стены и покрытия невелика, поэтому ею обычно пренебрегают и рассчитывают только через заполнение световых проемов, а также

через закрытые двери и ворота, в том числе и те, которые при обычном эксплуатационном режиме не открываются.

Расход воздуха через окна и балконные двери, определяем:

$$G_i = 0,216 * \sum A_i * \frac{\Delta p_i^{0,67}}{Ru}; \quad (1.6)$$

через закрытые двери и ворота:

$$G_i = \sum A_i * \frac{1}{Ru} \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)^{1/2} \quad (1.7)$$

где A_i – площади окон и балконных дверей, m^2 ;

Ru – сопротивление воздухопроницанию, $m^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$, окон и балконных дверей;

Δp_i – расчетная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций на расчетном этаже .

Расчетная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях каждой ограждающей конструкции равна:

$$\Delta p_i = p_{ti} + p_{vi} - \Delta p_{ci} - p_{int}, \quad (1.8)$$

где p_{ti} – избыточное гравитационное давление, Па;

p_{vi} – избыточное ветровое давление, Па;

Δp_{ci} – расчетные потери давления в вентиляционных системах, Па;

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

В зданиях с естественной вентиляцией

$$\Delta p_{ci} = (H-h_i)(\rho_{+5} - \rho_v) \times g, \quad (1.9)$$

где h_i – расчетная высота, м, от уровня земли до верха окон;

ρ_{+5}, ρ_v – плотности воздуха, соответственно при температуре воздуха $+5^\circ\text{C}$ и расчетной внутренней температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Гравитационное давление определяется соотношением:

$$p_{ti} = (H - h_i) (\rho_H - \rho_B)g , \quad (1.10)$$

Ветровое давление:

$$p_{vi} = 0,5\rho_H V_H^2 (C_H - C_3)k' , \quad (1.11)$$

где $C_H = 0,8$; $C_3 = -0,6$ – аэродинамические коэффициенты для соответственно наветренной и заветренной стороны [3];

k' - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте в зависимости от типа местности и высоты здания [3].

Условно-постоянное давление воздуха в здании p_{int} , Па (отождествляется с давлениями на внутренних поверхностях наружных ограждающих конструкций) определяется:

$$p_{int} = 0,5 Hg(\rho_H - \rho_B) + 0,25 V^2 \rho_H (C_H - C_3)k' , \quad (1.12)$$

таким образом, имеем:

$$\Delta p_i = (H - h_i) (\rho_H - \rho_{+5})g + 0,5\rho_H V^2 (C_H - C_3)k' - p_{int} . \quad (1.13)$$

1.4 Расчет бытовых тепловыделений

В жилых зданиях тепловой поток, $Вт$, поступающий в помещение от электрических приборов, освещения, людей и др. источников, следует определять по формуле:

$$Q_{\text{быт.}} = q_{\text{быт.}} A_{\text{ж}} , \quad (1.14)$$

где $q_{\text{быт.}}$ - величина бытовых тепловыделений на 1 м^2 площади жилых помещений ($A_{\text{ж}}$) или расчетной площади общественного здания ($A_{\text{р}}$), $Вт/\text{м}^2$, принимаемая для:

а) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир менее 20 м^2 общей площади на человека $q_{\text{быт.}} = 17 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

б) жилых зданий с расчетной заселенностью квартир 45 м^2 общей площади и более на человека $q_{\text{быт.}} = 10 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

в) других жилых зданий - в зависимости от расчетной заселенности квартир по интерполяции величины $q_{\text{быт}}$ между 17 и 10 Вт/м²;

г) для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения учитываются по расчетному числу людей (90 Вт/чел), находящихся в здании, освещения (по установочной мощности) и оргтехники (10 Вт/ м²) с учетом рабочих часов в неделю.

2 Пример расчета

Характеристика объекта строительства

Назначение здания – жилое, многоквартирное;

Район постройки – Архангельск;

Число этажей – 12;

Подвал ниже уровня земли;

Чердак;

Ориентация фасада – Ю (южная).

Расчетные параметры внутреннего воздуха

Согласно СП 50.13330.2012, ГОСТ 30494-2011, расчетная средняя температура внутреннего воздуха принимается $t_{\text{в}} = 21$ °С. По данным таблицы 3.1 СП 131.13330.2020 расчетная температура наружного воздуха в холодный период года для условий г. Архангельск, $t_{\text{н}} = -33$ °С, продолжительность отопительного периода $z_{\text{от}} = 250$ дня и средняя температура наружного воздуха составляет $t_{\text{от}} = -4,5$ °С за отопительный период. Скорость ветра составляет 3,4 м/с. Климатический район – 1. Зона влажности – влажная. Влажностный режим – нормальный.

На основании п. 5.1 СП 60.13330.2012, п. 5.1 СП 60.13330.2020 и табл. 1 ГОСТ 30494, параметры микроклимата для отопления помещений (температура внутреннего воздуха) в холодный период года

в обслуживаемой зоне жилых помещений следует принимать минимальную из оптимальных.

Температура внутреннего воздуха в расчетном здании приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Наименование отапливаемого помещения	Расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в}$, °С
Жилая комната	21
Кухня	19
Ванная, совмещ. санузел	24
Туалет	19
Лестничная клетка	16

Расчет термического сопротивления ограждающих конструкций

1. Определяем по ГСОП:

$$ГСОП = (t_{в} - t_{ср.от.}) \cdot z,$$

$$ГСОП = (21 - (-4,5)) \cdot 250 = 6375 \text{ °С} \cdot \text{сут.}$$

По таблице 3 СП 50.13330.2012 расчетное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций для жилого многоквартирного дома принимают следующие значения:

- для стен:

$$R_{*тр}(6000) = 3,5 \text{ (м}^2\text{°С/Вт)},$$

$$R_{*тр}(8000) = 4,2 \text{ (м}^2\text{°С/Вт)},$$

$$R_{0ст}^{тр} = 3,5 + (4,2 - 3,5) \cdot \frac{6375 - 6000}{8000 - 6000} = 3,63 \frac{\text{м}^2 \text{ °С}}{\text{Вт}}.$$

- для перекрытий над холодными подвалами и подпольями:

$$R_{*тр}(6000) = 4,6 \text{ (м}^2\text{°С/Вт)},$$

$$R_{*тр}(8000) = 5,5 \text{ (м}^2\text{°С/Вт)},$$

$$R_{0пер}^{тр} = 4,6 + (5,5 - 4,6) \cdot \frac{6375 - 6000}{8000 - 6000} = 4,77 \frac{\text{м}^2 \text{ °С}}{\text{Вт}}.$$

- для покрытий:

$$R_{*тр}(6000) = 6,2 \text{ (м}^2\text{°С/Вт)},$$

$$R_{*тр}(8000) = 5,2 \text{ (м}^2\text{°С/Вт)},$$

$$R_{0пок}^{тр} = 5,2 + (6,2 - 5,2) \cdot \frac{6375 - 6000}{8000 - 6000} = 5,39 \frac{\text{м}^2 \text{ °С}}{\text{Вт}}.$$

- для окон и балконных дверей:

$$R_{*тр}(6000) = 0,6 \text{ (м}^2\text{°С/Вт)},$$

$$R_{*тр}(8000) = 0,7 \text{ (м}^2\text{°С/Вт)},$$

$$R_{0\text{ок}}^{\text{ТР}} = 0,6 + (0,7 - 0,6) * \frac{6375-6000}{8000-6000} = 0,62 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\text{б.д.}} = 1,5 \cdot R_{\text{ок}}^{\text{ТР}} = 1,5 \cdot 0,62 = 0,93 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Нормируемое сопротивление теплопередаче входных дверей $R_0^{\text{норм}}$ должно быть не менее $0,6 \cdot R_0^{\text{норм}}$ стен зданий, определяемого по формуле 5.4 СП 50.13330.2012:

$$R_0^{\text{мп}} = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\Delta t^{\text{н}} \cdot \alpha_{\text{в}}}$$

где $n = 1$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;

$$R_0^{\text{мп}} = \frac{1 \cdot (21 - (-33))}{4 \cdot 8,7} = 1,55 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

$$R_{0,\text{дв}}^{\text{норм}} = 0,6 \cdot 1,55 = 0,93 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Расчет толщины основного теплоизоляционного слоя

Наружная стена

1) Кирпич облицовочный силикатный пустотелый на ЦПР: $\rho = 1500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_{\text{б}} = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$, $\delta = 120 \text{ мм}$.

2) Плиты из экструдированного пенополистирола: $\rho = 30 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_{\text{б}} = 0,031 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$.

3) Кирпич глиняный обыкновенный на ЦПР: $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_{\text{б}} = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$, $\delta = 510 \text{ мм}$.

4). Внутренняя штукатурка из известково-песчаного раствора: $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,93 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$, $\delta = 50 \text{ мм}$.

На основании п. 8.17 СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» и таблицы 1 ГОСТ 54851-2011 «Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче» коэффициент теплотехнической неоднородности для стен жилых зданий из кирпича (510мм) с эффективным утеплителем – 0,74.

$$\delta_{\text{из}}^{\text{нс}} = \left(R_{0\text{нс}}^{\text{мп}} \frac{1}{r} - \left(\frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\text{ен}} \right) \right) \cdot \lambda_{\text{из}}$$

$$\delta_{\text{из}} = \left(3,63 \cdot \frac{1}{0,74} - \left(\frac{1}{23} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,005}{0,93} + \frac{1}{8,7} \right) \right) \cdot 0,031 = 0,123 \text{ м}$$

$$\delta_{из}^{nc} \approx 0,15 \text{ м.}$$

Приведенное (фактическое) сопротивление теплопередаче определяется по следующей формуле:

$$R_{nc}^{\phi} = \left[\frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_{кир}}{\lambda_{кир}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_н} \right] \cdot r$$

$$R^{\phi} = 0,74 \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,005}{0,93} + \frac{0,15}{0,031} + \frac{1}{23} \right) = 4,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Вт.

$$R^{\phi} > R^{тр}.$$

Внутренняя стена

1) Кирпич глиняный обыкновенный на ЦПР: $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_{б} = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$, $\delta = 250 \text{ мм}$.

2) Внутренняя штукатурка из известково-песчаного раствора: $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$, $\delta = 20 \text{ мм}$.

$$R^{\phi} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{8,7} = 0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Чердак

Состав наружных ограждающих конструкций определен согласно техническому паспорту и проведенному обследованию. Теплотехнические характеристики их материалов определялись в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

– железобетон: $\rho_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_{б} = 2,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$;

– замкнутая воздушная прослойка при направлении теплового потока снизу-вверх и положительной температуре воздуха в прослойке:

$$R_{a,1} = 0,14 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}.$$

Сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций определяются в зависимости от количества слоев и материалов по формулам (Е.1), (Е.4) – (Е.14) СП 50.13330.2012.

Расчёт приведённого сопротивления теплопередачи неоднородной части чердачного перекрытия производится с учетом теплопроводных включений конструкции в соответствии с указаниями прил. Е СП 50.13330.2012 и п. 9.1.7 СП 23-101-2004 с

целью последующего определения фактического сопротивления теплопередачи чердачного перекрытия.

В конструкции чердачного перекрытия выделяется регулярный элемент шириной 1000 мм и длиной 1 м. Для упрощения расчета круглые элементы железобетонного перекрытия заменяются на квадратные с пересчетом диаметра (160 мм) на эквивалентную сторону квадрата (140 мм).

Плоскостями параллельными направлению теплового потока, выделенный элемент условно разрезается на участки. Получается 2 характерных участка – I, II.

Первый участок состоит из железобетона толщиной 220 мм.

Второй участок состоит из 2-х слоев железобетона толщиной 40 мм и воздушной прослойки толщиной 140 мм.

Термическое сопротивление этих участков определяются по формуле (7) СП 23-101-2004:

$$R_I = \frac{2 \cdot 0,04}{2,04} + 0,14 = 0,04 + 0,14 = 0,18 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}};$$

$$R_{II} = \frac{0,22}{2,04} = 0,108 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Термическое сопротивление R_{aT} всего регулярного элемента при разбивке его плоскостями, параллельными тепловому потоку, определяется по формуле (10) СП 23-101-2004:

$$R_{aT} = \frac{A}{\sum_{i=1}^m \frac{A_i}{R_{0,i}^r}},$$

где A_i , $R_{0,i}^r$ – соответственно площадь i -го участка характерной части ограждающей конструкции, м^2 , и его приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

A – общая площадь конструкции, равная сумме площадей отдельных участков, м^2 ;

m – число участков ограждающей конструкции с различным приведенным сопротивлением теплопередаче.

$$R_{aT} = \frac{0,07 + 0,14}{\frac{0,07}{0,18} + \frac{0,14}{0,108}} = \frac{0,21}{0,39 + 1,3} = \frac{0,21}{1,69} = 0,124 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Плоскостями (А, Б, В), перпендикулярными направлению теплового потока, выделенный элемент условно разрезается на слои. Получается 3 характерных слоя.

Слой А – однородный, состоит из слоя железобетона, толщиной 40 мм;

Слой Б – неоднородный, состоит из горизонтальной воздушной прослойки толщиной 0,14 мм и слоя железобетона толщиной 70 мм;

Слой В – неоднородный, состоит из слоя железобетона, толщиной 40 мм.

Термическое сопротивление однородных слоев определяются по формуле (7) СП 23-101-2004:

$$R_A = \frac{0,04}{2,04} = 0,02 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}};$$

$$R_B = \frac{0,04}{2,04} = 0,02 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Термическое сопротивление неоднородного слоя Б определяются по формуле (10) СП 23-101-2004:

$$R_B = \frac{0,07 + 0,14}{\frac{0,07}{1} + \frac{0,14}{1}} = \frac{0,21}{1 + 1} = \frac{0,21}{2} = 0,105 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Термическое сопротивление R_T всего регулярного элемента при разбивке его плоскостями, перпендикулярными тепловому потоку, определяется как сумма термических сопротивлений отдельных однородных и неоднородных слоев:

$$R_T = 0,02 + 0,105 + 0,02 = 0,145 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Термическое сопротивление всего регулярного элемента с учетом теплопроводных включений определяется по формуле (19) СП 23-101-2004:

$$R_k^r = \frac{R_{aT} + 2 \cdot R_T}{3};$$

$$R_k^r = \frac{0,124 + 2 \cdot 0,145}{3} = 0,14 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче всей конструкции пустотной железобетонной плиты составит:

$$R_{0,чeрд}^{пр} = \frac{1}{8,7} + 0,14 + \frac{1}{12} = 0,34 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Необходимо провести утепление:

$$\delta_{из}^{пер} = \left(4,77 - \left(\frac{1}{12} + \frac{0,09}{0,76} + 0,34 + \frac{1}{8,7} \right) \right) \cdot 0,045 = 0,185 \text{ м.}$$

Принимаем $\delta_{из}^{пер} = 0,20 \text{ м.}$

Для обеспечения требуемой величины сопротивления теплопередаче кровли здания необходимо применение гидрофобизированных тепло-, звукоизоляционных плит из минеральной ваты на основе горных пород базальтовой группы на низкофенольном связующем, группы горючести НГ по ГОСТ Р 57270-2016.

Коэффициенты теплопроводности λ_B , Вт/(м·°С), используемых материалов для условий эксплуатации Б по СП 50.13330.2012 равны:

- железобетонная пустотная плита перекрытия: $\rho_o = 2500$ кг/м³, $R_{0,чёрд}^{пр} = 0,34$ м·°С/Вт;
- минераловатные плиты ТЕХНОЛАЙТ ОПТИМА по ТУ 5262-01074182181-2012: $\rho_o = 100$ кг/м³, $\lambda = 0,045$ Вт/м·°С;
- стяжка из цементно-песчаным раствором: $\rho = 1800$ кг/м³, $\lambda = 0,76$ Вт/м·°С, $\delta = 100$ мм.

Термическое сопротивление участков I и II определяются по формуле (7) СП 23-101-2004.

Приведенное сопротивление теплопередаче всей конструкции кровли составит:

$$R_{0,чёрд}^{\Phi} = \frac{1}{8,7} + 0,34 + \frac{0,20}{0,045} + \frac{0,09}{0,76} + \frac{1}{12} = 5,33 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$$

$$R^{\Phi} > R^{\text{тр.}}$$

Перекрытие над подвалом.

Схема конструкции перекрытия над подвалом представлена на рис.2.1

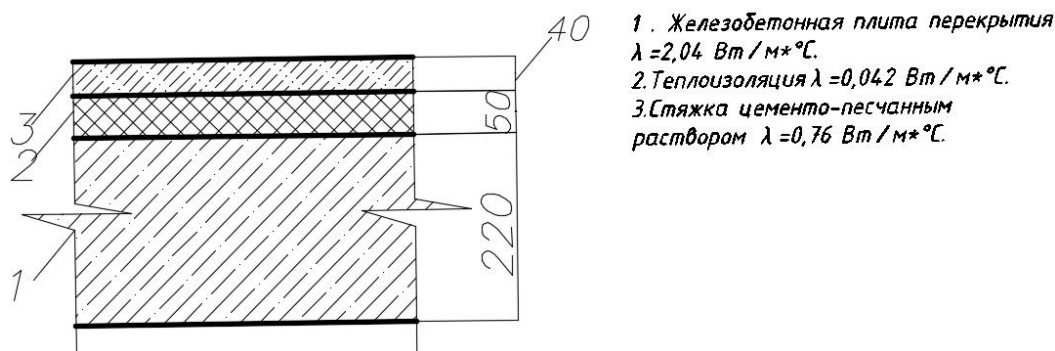


Рис.2.1 - Схема перекрытия над подвалом.

Определим требуемое сопротивление теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом по формуле:

$$R_{\text{ТП}}^{\text{тр.}} = n * R_{\text{ХП}}^{\text{тр.}}, \quad (5)$$

$$R_{0 \text{ пер}}^{\text{тр}} = 4,6 + (5,5 - 4,6) * \frac{6375-6000}{8000-6000} = 4,77 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}};$$

$$n = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{х}})}{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})} = \frac{(21-2)}{(21+33)} = 0,35.$$

$t_{\text{х}}$ -расчетная температура воздуха в подвале.

$$R_{\text{ТП}}^{\text{тр}} = 0,35 \cdot 4,77 = 1,67 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Коэффициенты теплопроводности конструктивных слоев по условиям эксплуатации А (исходя из зоны влажности и нормального влажностного режима помещения):

$$\lambda_1 = 2,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

$$\lambda_{\text{из}} = 0,042 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

$$\lambda_3 = 0,76 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C};$$

Определим необходимую толщину изоляции, учитывая, что коэффициент теплотехнической неоднородности для перекрытия над подвалом $\gamma = 1$.

$$\delta_{\text{из.}} = (1,67 - (\frac{1}{8,7} + \frac{0,04}{0,76} + (\frac{0,22}{2,04}) \times 1 + \frac{1}{6})) \cdot 0,042 = 0,052 \text{ м},$$

принимаем 0,06 м.

Рассчитаем фактическое значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции по формуле 4:

$$R_{\phi} = (\frac{1}{8,7} + \frac{0,04}{0,76} + (\frac{0,22}{2,04}) \times 1 + \frac{0,06}{0,042} + \frac{1}{6}) = 1,87 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

$$R_{\phi} > R^{\text{тр}}.$$

В качестве утеплителя принимаем минераловатные плиты ТЕХНО-Т 120(1200×600×50) 1 шт.

Входная дверь (с тамбуром)

Входная дверь ДСН ДКН 1-2-1 М2 2100-1800 1800 ГОСТ 31173-2003,

с 2-мя тамбурами, класса 2: $R_{\text{дв}}^{\text{пр}} = 1,14 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$

$$R_{\text{дв}}^{\phi} > R_{\text{дв}}^{\text{тр}}.$$

Окна

Оконные блоки выполнены 2-х камерный стеклопакет ПВХ, расстояние между стеклами 18 и 18 мм из стекла без покрытия с заполнением воздухом по ГОСТ 23166-99.

По показателю приведенного сопротивления теплопередаче окно относится к классу А2, $R_{\text{ок}}^{\text{пр}} = 0,75 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$

$$R_{\text{ок}}^{\phi} > R_{\text{ок}}^{\text{тр}}.$$

Таблица 2.2 Термические сопротивления.

Наименование перекрытия	R^{ϕ}
Наружная стена	4,40
Внутренняя стена	0,56
Перекрытие над подвалом	1,87
Чердачное перекрытие	5,33
Окно	0,75
Входная дверь	1,14

Расчет теплопотерь первого этажа

Помещение 101, кухня – 19 °С;

НС1: a=3,4 м, b=2,7 м, A=9,18 м² – ориентация Ю – 0;

НС2: a=5,44 м, b=2,7 м, A=14,69 м² – ориентация В – 0,1;

ОК1: a=1,42 м, a=1,42 м, A=2,02 м² – ориентация Ю – 0;

ВС3: a=1,75 м, b=2,7 м, A=4,73 м²;

ПЛ: A=18,5 м².

Приведенный коэффициент теплопередачи окна будет равен:

$$K_{\text{ок}} = K_{\text{ок}} - K_{\text{ст}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}};$$

$$K_{\text{ок}} = \frac{1}{0,75} - \frac{1}{4,4} = 1,11 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}};$$

Теплопотери через ограждающие конструкции, Вт:

$$Q_{\text{НС1}} = \frac{1}{R} \cdot A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n = \frac{1}{4,4} \cdot 9,18 \cdot (19 - (-33)) \cdot (1 + 0) \cdot 1 = 108,5 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{НС2}} = 0,23 \cdot 14,69 \cdot (19 - (-33)) \cdot (1 + 0,1) \cdot 1 = 193,3 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{ОК1}} = 1,11 \cdot 2,02 \cdot (19 - (-33)) \cdot (1 + 0) \cdot 1 = 116,6 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{ПОЛ}} = 0,53 \cdot 18,5 \cdot (19 - 2) \cdot 0,4 = 66,7 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{огр.}} = 108,5 + 193,3 + 116,6 + 66,7 = 485,1 \text{ Вт}.$$

Потери тепла на нагревание наружного воздуха на фактическую инфильтрацию и на нормативный воздухообмен

Расход тепла на инфильтрацию при отсутствии вентиляции определяется по формуле :

$$Q_{\text{инф}}^{\phi} = 0,28 \cdot \Sigma G_i \cdot k \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$$

$$h_{\text{эт}} = 2,7 \text{ м}, v = 3,4 \text{ м/с}.$$

Расход воздуха через окна и балконные двери определяем:

$$G_i = \frac{1}{R_u^{\phi}} \cdot \sum A_i \cdot \left(\frac{\Delta p_i}{R_u^{\phi}} \right)^{0,67}$$

Расчетная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях каждой ограждающей конструкции возникает за счет гравитационного и ветрового давления и может быть определена как:

$$\Delta p_i = (H - h_i) \cdot g \cdot (\rho_H - \rho_{+5}) + 0,5 \cdot v^2 \cdot \rho_H \cdot (C_H - C_3) \cdot k' - p_{int} \quad (9)$$

где H – высота здания, м, от уровня земли до верха вытяжной шахты;

h_i – расчетная высота от уровня земли до рассматриваемой точки (м);

ρ_{+5} , ρ_B – плотности воздуха, соответственно при температуре воздуха $+5$ °С и расчетной внутренней температуре, кг/м³;

$C_H = 0,8$; $C_3 = -0,6$ – аэродинамические коэффициенты для соответственно наветренной и заветренной стороны;

k' – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления

по высоте в зависимости от типа местности и высоты здания;

p_{int} – условно-постоянное давление, Па

$$\rho_H = \frac{353}{273-33} = 1,47 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{+5} = \frac{353}{273+5} = 1,27 \text{ кг/м}^3;$$

$$H = h_0 + 10 \cdot h + h_{\text{вент.шх}} = 1 + 12 \cdot 2,7 + 1,5 = 34,9 \text{ м};$$

$$k' = 0,74.$$

Условно-постоянное давление воздуха в здании p_{int} , Па (отождествляется с давлениями на внутренних поверхностях наружных ограждающих конструкций) определяется:

$$p_{int} = 0,5 \cdot H \cdot g \cdot (\rho_H - \rho_B) + 0,25 \cdot v^2 \cdot \rho_H \cdot (C_H - C_3) \cdot k'$$

$$\rho_B = \frac{353}{273+19} = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

$$p_{int} = 0,5 \cdot 34,9 \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,25 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,74 = 48,86 \text{ Па}.$$

Уровень верха окна первого этажа: $h_1 = 1 + 0,8 + 1,42 = 3,22$ м, тогда расчётный перепад давления на уровне верха окна:

$$\Delta p_1 = (34,9 - 3,22) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,74 - 48,86 = 36,62 \text{ Па}.$$

Нормативное сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей жилых зданий определяется в соответствии с п. 7.5 СП 50.13330.2012:

$$R_u \geq R_u^{\text{тр}} = \frac{1}{G_c} \left[\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right]^{0,67}$$

Разность давлений воздуха ΔP на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, определяется по формуле 7.2 СП 50.13330.2012:

$$\Delta P = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_H - \gamma_B) + 0,03 \cdot \gamma_H \cdot v^2$$

где ΔP_0 – расчетная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций соответственно на уровне пола первого этажа и 10 Па.

γ_H, γ_B – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, определяемый по формуле (7.3) СП 50.13330.2012:

$$\gamma_H = \frac{3463}{273+t_{\text{от}}}, \gamma_H = \frac{3463}{273+(-33)} = 14,43 \text{ Н/м}^3$$

$$\gamma_B = \frac{3463}{273+t_B}, \gamma_B = \frac{3463}{273+19} = 11,86 \text{ Н/м}^3$$

$\Delta P = 0,55 \cdot 34,9 \cdot (14,43 - 11,86) + 0,03 \cdot 14,43 \cdot 3,4^2 = 54,34$ Па.

$$R_u^{\text{тр}} = \frac{1}{5} \left[\frac{54,34}{10} \right]^{0,67} = 0,62 \text{ кг/(ч} \cdot \text{м}^2); G_u = \frac{1}{R_u^{\text{тр}}} = \frac{1}{0,62} = 1,61 \frac{\text{кг}}{\text{ч} \cdot \text{м}^2}.$$

В курсовой работе предусматривается установка окон VEKA Euroline

с двухкамерными стеклопакетами из ПВХ профилей класса воздухопроницаемости Б по ГОСТ 23166-2021. Сопротивление воздухопроницаемости: $R_u^{\Phi} = 1,31 \text{ кг/(ч} \cdot \text{м}^2)$, $G_u^{\Phi} = \frac{1}{R_u^{\Phi}} = \frac{1}{1,31} = 0,77 \frac{\text{кг}}{\text{ч} \cdot \text{м}^2}$.

Таким образом, сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций не менее нормируемых значений сопротивления воздухопроницанию.

Расход воздуха через окна:

$$G_i = 0,216 \cdot \sum A_i \cdot \left(\frac{\Delta p_i}{R_u^{\Phi}} \right)^{0,67}$$

$$G_i = 0,216 \cdot (2,02) \cdot \left(\frac{36,62}{1,31} \right)^{0,67} = 4,06 \text{ кг/ч.}$$

$$Q_{\text{инф}}^{\text{н}} = 0,28 \cdot \sum G_i \cdot k \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) = 0,28 \cdot 4,06 \cdot 1,11 \cdot 1 \cdot (19 - (-33)) = 65,62 \text{ Вт.}$$

Расход тепла на нормативный воздухообмен:

$$Q_{\text{инф}}^{\text{н}} = 0,28 L_{\text{н}} \rho_{\text{н}} C (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}),$$

где $L_{\text{н}}$ – расход удаленного воздуха, м³/ч, не компенсируемый подогретым потоком.

Для зданий жилищно-гражданского назначения:

$$L_{\text{н}} = 3 A_{\text{п}}$$

где 3 – удельный нормативный расход, м³/ч на 1 м² площади пола помещения;

$A_{\text{п}}$ – площадь пола жилой комнаты (кухни), м²;

$$A_{\text{п}} = 18,5 \text{ м}^2,$$

$$Q_{\text{инф}}^{\text{н}} = 0,28 \cdot 3 \cdot 18,5 \cdot 1,47 \cdot 1 \cdot (19 - (-33)) = 1187,9 \text{ Вт.}$$

Теплопоступления от бытовых источников:

$$Q_{\text{быт}} = 10 \cdot A_{\text{пол}}, \text{ Вт} \quad (22)$$

$$Q_{\text{быт}} = 10 \cdot 18,5 = 185,0 \text{ Вт.}$$

Теплопоступления из помещения № 103 (ванная):

ВС1: $a=1,75$ м, $b=2,7$ м, $A=4,73$ м².

$$Q_{\text{ВС1}} = 1,79 \cdot 4,73 \cdot (24 - 19) \cdot 1 = 33,9 \text{ Вт.}$$

Теплопотери помещения (101)

$$Q_{\text{с.о.}} = Q_{\text{огр.}} + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{быт.}}$$

$$Q_{\text{с.о.}} = 485,1 + 1187,9 - 185,0 - 33,9 = 1454,1 \text{ Вт.}$$

Расчет теплопотерь типового этажа (201)

$$Q_{\text{НС1}} = 0,23 \cdot 9,18 \cdot (19 - (-33)) \cdot (1 + 0) \cdot 1 = 108,5 \text{ Вт;}$$

$$Q_{\text{НС2}} = 0,23 \cdot 14,69 \cdot (19 - (-33)) \cdot (1 + 0,1) \cdot 1 = 193,3 \text{ Вт;}$$

$$Q_{\text{ОК1}} = 1,11 \cdot 2,02 \cdot (19 - (-33)) \cdot (1 + 0) \cdot 1 = 116,6 \text{ Вт;}$$

$$Q_{\text{инф}}^{\text{н}} = 0,28 \cdot 3 \cdot 18,5 \cdot 1,47 \cdot 1 \cdot (19 - (-33)) = 1187,9 \text{ Вт;}$$

$$Q_{\text{быт}} = 10 \cdot 18,5 = 185,0 \text{ Вт;}$$

$$Q_{\text{ВС1}} = 1,79 \cdot 4,73 \cdot (24 - 19) \cdot 1 = 33,9 \text{ Вт;}$$

$$Q_{\text{с.о.}} = 108,5 + 193,3 + 116,6 + 1187,9 - 185,0 - 33,9 = 1387,4 \text{ Вт.}$$

Расчет теплопотерь последнего этажа (1201)

$$Q_{\text{НС1}} = 0,23 \cdot 9,18 \cdot (19 - (-33)) \cdot (1 + 0) \cdot 1 = 108,5 \text{ Вт;}$$

$$Q_{\text{НС2}} = 0,23 \cdot 14,69 \cdot (19 - (-33)) \cdot (1 + 0,1) \cdot 1 = 193,3 \text{ Вт;}$$

$$\begin{aligned}
Q_{\text{ОК1}} &= 1,11 \cdot 2,02 \cdot (19 - (-33)) \cdot (1 + 0) \cdot 1 = 116,6 \text{ Вт}; \\
Q_{\text{ПОТ}} &= 0,19 \cdot 18,5 \cdot (19 - (-33)) \cdot 1 = 182,8 \text{ Вт}; \\
Q_{\text{инф}}^{\text{н}} &= 0,28 \cdot 3 \cdot 18,5 \cdot 1,47 \cdot 1 \cdot (19 - (-33)) = 1187,9 \text{ Вт}; \\
Q_{\text{быт}} &= 10 \cdot 18,5 = 185,0 \text{ Вт}; \\
Q_{\text{ВС1}} &= 1,79 \cdot 4,73 \cdot (24 - 19) \cdot 1 = 33,9 \text{ Вт}; \\
Q_{\text{с.о.}} &= 108,5 + 193,3 + 116,6 + 182,8 + 1187,9 - 185,0 - 33,9 = \\
&= 1570,2 \text{ Вт}.
\end{aligned}$$

Расчет теплопотерь лестничной клетки

Исходные данные:

Район строительства – г. Архангельск;

Количество этажей – 12;

Высота от поверхности земли до уровня верха окна нижнего окна лестничной клетки – 4,91 м;

Максимальная высота здания – 34,9 м.

Таблица 2.3 Термические сопротивления

Наименование перекрытия	R_{Φ}
Наружная стена	4,40
Перекрытие над подвалом	1,87
Чердачное перекрытие	5,33
Окно	0,75
Входная дверь	1,14

Теплопотери теплопередачей:

Теплопотери через наружную стену:

$$Q_{\text{Т}}^{\text{СТ}} = \frac{1}{R} \cdot (A_{\text{СТ}} - A_{\text{ДВ}}) \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n$$

где $A_{\text{СТ}}$ – площадь наружной стены, $A_{\text{СТ}} = 6,34 \cdot 2,7 \cdot 12 = 205,42 \text{ м}^2$;

$A_{\text{ДВ}}$ – площадь входной двери, $A_{\text{ДВ}} = 1,8 \cdot 2,1 = 3,78 \text{ м}^2$;

$t_{\text{В}}$ – температура на лестничной клетке, ($16 \text{ }^{\circ}\text{C}$);

$t_{\text{Н}}$ – температура наружного воздуха ($-33 \text{ }^{\circ}\text{C}$);

$$Q_{\text{Т}}^{\text{СТ}} = 0,23 \cdot (205,42 - 3,78) \cdot (16 - (-33)) \cdot (1 + 0) \cdot 1 = 2272,3 \text{ Вт}.$$

Теплопотери через окна:

$$Q_{\text{Т}}^{\text{ОК}} = A_{\text{ОК}} \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}}) \cdot k_{\text{ОК}} \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n_{\text{ОК}}$$

где $A_{\text{ок}}$ – площадь окна на лестничной клетке, $A_{\text{ок}} = 0,9 \cdot 1,2 = 1,08 \text{ м}^2$.

$n_{\text{ок}}$ – количество окон - 1 шт;

$$Q_{\text{Т}}^{\text{ок}} = 1,11 \cdot 1,08 \cdot (16 - (-33)) \cdot (1 + 0) \cdot 11 = 646,2 \text{ Вт.}$$

Теплопотери через дверь:

$$Q_{\text{Т}}^{\text{дв}} = \frac{1}{R} \cdot A_{\text{дв}} \cdot \Delta t \cdot (1 + \Sigma\beta)$$

где $1 + \Sigma\beta$ – добавки на ориентацию и на врывание.

Добавка на врывание рассчитывается по формуле:

$$0,27 \cdot H = 0,27 \cdot 34,9 = 9,42.$$

$$Q_{\text{Т}}^{\text{дв}} = 0,88 \cdot 3,78 \cdot (16 - (-33)) \cdot (1 + 9,42 + 0) = 1698,4 \text{ Вт.}$$

Теплопотери через пол:

$$Q_{\text{Т}}^{\text{пл}} = A_n \cdot \frac{1}{R} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n$$

где A_n – площадь пола.

$$Q_{\text{Т}}^{\text{пл}} = 31,01 \cdot 0,53 \cdot (16 - 2) \cdot 0,4 = 92,0 \text{ Вт.}$$

Теплопотери через потолок:

$$Q_{\text{Т}}^{\text{пт}} = 31,01 \cdot 0,19 \cdot (16 - (-33)) \cdot 1 = 288,7 \text{ Вт.}$$

Общие теплопотери теплопередачей составят:

$$Q_{\text{Т}}^{\text{общ}} = 2272,3 + 646,2 + 1698,4 + 92,0 + 288,7 = 4997,6 \text{ Вт.}$$

Определяем плотность воздуха при $t=16 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\rho_{+16} = \frac{353}{273 + 16} = 1,2 \text{ кг/м}^3$$

Определяем расчетные перепады давлений на уровне верха каждого окна лестничной клетки:

$$\Delta p_i = (H - h_i) \cdot g \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{+5}) + 0,5 \cdot v^2 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot (C_{\text{н}} - C_3) \cdot k' - p_{\text{int}}$$

$$\Delta p_2 = (34,9 - 4,91) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,4 - 48,86 = 32,31 \text{ Па;}$$

$$\Delta p_3 = (34,9 - 7,61) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,40 - 48,86 = 25,43 \text{ Па;}$$

$$\Delta p_4 = (34,9 - 10,31) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,405 - 48,86 = 18,61 \text{ Па;}$$

$$\Delta p_5 = (34,9 - 13,01) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,445 - 48,86 = 12,21 \text{ Па;}$$

$$\Delta p_6 = (34,9 - 15,71) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,486 - 48,86 = 5,82 \text{ Па};$$

$$\Delta p_7 = (34,9 - 18,41) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,526 - 48,86 = - 0,59 \text{ Па};$$

$$\Delta p_8 = (34,9 - 21,11) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,564 - 48,86 = - 7,01 \text{ Па};$$

$$\Delta p_9 = (34,9 - 23,81) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,598 - 48,86 = - 13,49 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{10} = (34,9 - 26,51) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,631 - 48,86 = - 19,98 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{11} = (34,9 - 29,21) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,665 - 48,86 = - 26,45 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{12} = (34,9 - 31,91) \cdot 9,8 \cdot (1,47 - 1,21) + 0,5 \cdot 3,4^2 \cdot 1,47 \cdot (0,8 - (-0,6)) \cdot 0,699 - 48,86 = - 32,93 \text{ Па}.$$

Определим расходы воздуха через окна лестничной клетки:

$$G_i = 0,216 \cdot A_i \cdot \left(\frac{\Delta p_i}{R_u} \right)^{0,67}$$

$$G_2 = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{32,31}{1,31} \right)^{0,67} = 2,00 \text{ кг/ч};$$

$$G_3 = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{25,43}{1,31} \right)^{0,67} = 1,70 \text{ кг/ч};$$

$$G_4 = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{18,61}{1,31} \right)^{0,67} = 1,38 \text{ кг/ч};$$

$$G_5 = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{12,21}{1,31} \right)^{0,67} = 1,04 \text{ кг/ч};$$

$$G_6 = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{5,82}{1,31} \right)^{0,67} = 0,63 \text{ кг/ч};$$

$$G_7 = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{|-0,59|}{1,31} \right)^{0,67} = 0,14 \text{ кг/ч};$$

$$G_8 = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{|-7,01|}{1,31} \right)^{0,67} = 0,72 \text{ кг/ч};$$

$$G_9 = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{|-13,49|}{1,31} \right)^{0,67} = 1,11 \text{ кг/ч};$$

$$G_{10} = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{|-19,98|}{1,31} \right)^{0,67} = 1,45 \text{ кг/ч};$$

$$G_{11} = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{|-26,45|}{1,31} \right)^{0,67} = 1,75 \text{ кг/ч};$$

$$G_{12} = 0,216 \cdot 1,08 \cdot \left(\frac{|-32,93|}{1,31} \right)^{0,67} = 2,02 \text{ кг/ч};$$

$$\Sigma G_i = 13,94 \text{ кг/ч.}$$

Расход тепла на инфильтрацию:

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot 13,94 \cdot 1,11 \cdot (16 + 33) = 212,3 \text{ Вт.}$$

Таким образом, общие теплопотери лестничной клетки составят:

$$Q_{\text{лк}} = 4997,6 + 212,3 = 5209,9 \text{ Вт.}$$

3 Вопросы и задачи для самоконтроля по разделу

1. Какая температура является расчетной при проектировании систем отопления?
2. Что такое отопительный период?
3. От чего зависит требуемое термическое сопротивление ограждений?
4. Какие виды потерь тепла определяют мощность систем отопления?
5. Какие условия микроклимата поддерживает система отопления?
6. В каком случае следует определять теплопотери через внутренние ограждения?
7. Как определяют условия эксплуатации строительных материалов?
8. Чему равно требуемое термическое сопротивление входной двери в здание?

9. В каком случае добавочный коэффициент на ориентацию равен нулю?
10. В каком случае площадь окон не вычитают из площади стен при расчете теплопотерь?
11. Сопротивлению воздухопроницанию это -
12. Инфильтрация это -
13. Эффективная изоляция это -
14. Правила обмера наружных ограждений
15. Потери тепла через наружные ограждения теплопередачей
16. Как называется процесс движения воздуха из отапливаемого помещения через неплотности ограждений?

Задача № 1

Рассчитать трансмиссионные теплопотери помещения

Исходные данные:

$$t_{\text{н}} = -13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{в}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Помещение 101, гостиная – 20°C;

НС1: $a=3,92 \text{ м}$, $b=3,0 \text{ м}$, $A=11,76 \text{ м}^2$ – ориентация ЮЗ

НС2: $a=6,42 \text{ м}$, $b=3,0 \text{ м}$, $A=19,26 \text{ м}^2$ – ориентация СЗ ;

ОК₁: $a=1,47 \text{ м}$, $b=1,42 \text{ м}$, $A=2,09 \text{ м}^2$ – ориентация СЗ

ОК_{2,3}: $a=1,86 \text{ м}$, $b=1,42 \text{ м}$, $A=2,64 \text{ м}^2$ – ориентация СЗ

БДв (глухая часть): $a=0,7 \text{ м}$, $b=0,7 \text{ м}$, $A=0,49 \text{ м}^2$ – ориентация В

ПЛ: $A=18,03 \text{ м}^2$

Задача № 2

Рассчитать расход тепла на нормативный воздухообмен для жилого помещения

Исходные данные:

$$t_n = -18^\circ \text{C}$$

$$t_b = 20^\circ \text{C}$$

A_n – площадь пола комнат квартиры, м^2 ;

$$A_n = 11,72 \text{ м}^2,$$

Задача № 3

Рассчитать тепlopоступления от бытовых источников для жилого помещения, если плотность заселения более 20 м^2 , а отапливаемая площадь с постоянным пребыванием людей - $11,72 \text{ м}^2$

Задача № 4

Рассчитать тепlopотери через входную дверь в лестничную клетку жилого дома.

Исходные данные:

Район строительства – г. Кемерово;

Высота здания – $19,95 \text{ м}$;

площадь входной двери, $A_{\text{дв}} = 1,3 \cdot 2,1 = 2,73 \text{ м}^2$ –

ориентация ЮВ;

t_b – температура на лестничной клетке, (16°C);

t_n – температура наружного воздуха (-39°C);

Задача № 4

Определить условно-постоянное давление в здании

Исходные данные:

Район строительства – г. Кемерово;

Высота здания – 19,95 м;

скорость ветра составляет 3,4 м/с;

Библиографический список

1. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 28.12.2013) "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 10.01.2014)
2. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»
3. СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия»