

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ
РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Основы проектирования и конструирования частей зданий**

Направление подготовки 08.03.01 Строительство
Направленность (профиль) Промышленное и гражданское строительство

Ставрополь

Содержание

Введение.....	6
Практическое занятие 1. <i>Расчет тепловой защиты стеновых ограждающих конструкций зданий</i>	7
Практическое занятие 2. <i>Расчет тепловой защиты покрытий гражданских зданий</i>	17
Практическое занятие 3. <i>Теплоустойчивость ограждающих конструкций в теплый период года</i>	25
Практическое занятие 4. <i>Воздухопроницаемость ограждающих конструкций и помещений зданий</i>	35
Практическое занятие 5. <i>Защита от переувлажнения ограждающих конструкций зданий</i>	41
Практическое занятие 6. <i>Расчет теплоусвоения поверхности полов гражданских зданий</i>	55
Практическое занятие 7. <i>Построение расчетной частотной характеристики изоляции от воздушного шума ограждающей конструкции</i>	63
Практическое занятие 8. <i>Определение величины индекса изоляции воздушного шума R_w</i>	70
Практическое занятие 9. <i>Определение величины индекса приведенного уровня ударного шума $L_{n.w}$</i>	76
Практическое занятие 10. <i>Расчет звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций зданий</i>	81
Практическое занятие 11. <i>Определение времени реверберации в проектируемом помещении</i>	89
Практическое занятие 12. <i>Расчет среднего коэффициента звукопоглощения ограждающих конструкций</i>	101
Практическое занятие 13. <i>Расчет и проектирование путей движения людских потоков в зданиях</i>	109

Практическое занятие 14. <i>Расчет и проектирование путей эвакуации в промышленном здании</i>	120
Практическое занятие 15. <i>Расчет естественного освещения и площади боковых светопроемов в жилых зданиях</i>	127
Практическое занятие 16. <i>Расчет естественного освещения рабочих помещений зданий, определение площади боковых светопроемов</i>	136
Список рекомендуемой литературы	143

Практическое занятие 1

Расчет тепловой защиты стеновых ограждающих конструкций зданий

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками теплофизического расчета стеновых ограждающих конструкций зданий при установившемся потоке тепла.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен усвоить основные принципы теплофизического расчета наружных ограждающих конструкций зданий.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

Теплофизический расчет является обязательным при проектировании зданий. Выполненный расчет позволяет правильно выбрать тип наружных ограждающих конструкций, их материал и толщину, что является крайне необходимым для соблюдения санитарно-гигиенических условий и условий энергосбережения.

Теоретическая часть

Теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

а) приведенные сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должны быть не меньше нормируемых значений;

б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);

в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно – гигиеническое требование).

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований а, б и в.

К тепловой защите ограждающих конструкций относятся приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций, свойства теплоустойчивости ограждающих конструкций, теплоусвоения поверхности пола, санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к ограждающим конструкциям.

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , $m^2\text{°C}/Wm$, для наружных стен следует рассчитывать для фасада здания либо для одного промежуточного этажа с учетом откосов проемов без учета их заполнений.

Приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций (окон, балконных дверей, фонарей) принимается на основании сертификационных испытаний; при отсутствии результатов сертификационных испытаний следует принимать значения по своду правил.

С теплотехнической точки зрения различают три вида наружных стен по числу основных слоев: однослойные, двухслойные и трехслойные.

Однослойные стены выполняют из конструкционно-теплоизоляционных материалов и изделий, совмещающих несущие и теплозащитные функции.

В *двухслойных стенах* предпочтительно расположение утеплителя снаружи. Используются два варианта наружного утеплителя: системы с наружным покровным слоем без зазора и системы с воздушным зазором между

наружным облицовочным слоем и утеплителем. Не рекомендуется применять теплоизоляцию с внутренней стороны из-за возможного накопления влаги в теплоизоляционном слое.

В *трехслойных ограждениях* с защитными слоями на точечных (гибких, шпоночных) связях рекомендуется применять утеплитель из минеральной ваты, стекловаты или пенополистирола с толщиной, устанавливаемой по расчету с учетом теплопроводных включений от связей. В этих ограждениях соотношение толщин наружных и внутренних слоев должно быть не менее 1:1,25 при минимальной толщине наружного слоя 50 мм.

При проектировании *стен из кирпича и других мелкоштучных материалов* следует максимально применять облегченные конструкции в сочетании с плитами из эффективных теплоизоляционных материалов.

При проектировании *стен с неветилируемыми воздушными прослойками* следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- размер прослойки по высоте должен быть не более высоты этажа и не более 6 м, размер по толщине - не менее 40 мм;
- воздушные прослойки следует разделять глухими диафрагмами из негорючих материалов на участки размером не более 3 м;
- воздушные прослойки рекомендуется располагать ближе к холодной стороне ограждения.

При проектировании *стен с вентилируемой воздушной прослойкой* (стены с вентилируемым фасадом) следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- воздушная прослойка должна быть толщиной не менее 60 и не более 150 мм и ее следует размещать между наружным слоем и теплоизоляцией;
- наружный слой стены должен иметь вентиляционные отверстия, суммарная площадь которых определяется из расчета 75 см^2 на 20 м^2 площади стен, включая площадь окон;
- применять жесткие теплоизоляционные материалы плотностью не менее $80 - 90 \text{ кг/м}^3$, имеющие на стороне, обращенной к прослойке,

паронепроницаемые пленки (применение мягких теплоизоляционных материалов не рекомендуется);

- при использовании в качестве наружного слоя облицовки из плит искусственных или натуральных камней горизонтальные швы должны быть раскрыты (не должны заполняться уплотняющим материалом).

При проектировании теплозащиты зданий различного назначения следует применять, как правило, типовые технические решения и изделия полной заводской готовности, в том числе конструкции комплектной поставки, со стабильными теплоизоляционными свойствами, в сочетании с надежной гидроизоляцией, не допускающей проникновения влаги.

Методика расчета тепловой защиты стенового ограждения здания.

Расчет тепловой защиты стенового ограждения здания следует проводить в соответствии с разделом 5 СП 50.13330 и СП131.13330, СП 23-101-2004. Величину нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции $R_o^{норм}$, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, следует определять по формуле:

$$R_o^{норм} = R_o^{mp} \cdot m_p, \quad (1)$$

где: R_o^{mp} – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода $ГСОП$, $^\circ C \cdot сут$, района строительства и определять по таблице 3 СП 50.13330;

m_p – коэффициент, учитывающий особенности района строительства, в расчете по формуле (1) принимается равным 1.

Значения величины R_o^{mp} , $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, для величин $ГСОП$, отличающихся от табличных, следует определять по формуле:

$$R_o^{mp} = a \cdot ГСОП + b, \quad (3)$$

где: $ГСОП$ - градусо-сутки отопительного периода, $^\circ C \cdot сут / год$, для конкретного пункта;

a, b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 3 СП 50.13330 для соответствующих групп зданий.

Градусо-сутки отопительного периода $ГСОП$, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}$, определяют по формуле:

$$ГСОП = (t_{\text{в}} - t_{\text{он}}) z_{\text{он}}, \quad (2)$$

где: $t_{\text{в}}$ - расчетная температура внутреннего воздуха здания, $^{\circ}\text{C}$, принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий указанных в таблице 3: по поз.1 - по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале $20-22^{\circ}\text{C}$); по поз.2 - согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по ГОСТ 30494 (в интервале $16-21^{\circ}\text{C}$); по поз.3 - по нормам проектирования соответствующих зданий;

$t_{\text{он}}, z_{\text{он}}$ - средняя температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$, и продолжительность, $\text{сут}/\text{год}$, отопительного периода, принимаемые по таблице 3.1 СП 50.13330 для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8°C , а при проектировании лечебно-профилактических и детских учреждений и домов-интернатов для престарелых не более 10°C .

В случаях реконструкции зданий, для которых по архитектурным или историческим причинам невозможно утепление стен снаружи, нормируемое значение сопротивления теплопередаче стен допускается определять по формуле:

$$R_o^{\text{норм}} = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / \Delta t_{\text{н}} \cdot \alpha_{\text{в}}, \quad (4)$$

где: $\alpha_{\text{в}}$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$, принимаемый по таблице 4 СП 50.13330;

$\Delta t_{\text{н}}$ - нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха, $t_{\text{в}}, ^{\circ}\text{C}$, и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции $t_{\text{н}}, ^{\circ}\text{C}$, принимаемый по таблице 5 СП 50.13330;

$t_{\text{в}}$ - то же, что в формуле (2);

t_n – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °C, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по таблице 3.1 СП131.13330.

Условное сопротивление теплопередаче $R_o^{ysl}, m^2 \cdot ^\circ C / Bm$, проектируемой ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$R_o^{ysl} = R_g + \sum R_s + R_n, \quad (5)$$

где: R_g – сопротивления тепловосприятию внутренней поверхности ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$, находят по формуле:

$$R_g = 1/\alpha_g, \quad (6)$$

α_g – то же, что и в формуле (4);

R_n – сопротивления теплоотдаче наружной поверхности ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$, находят по формуле:

$$R_n = 1/\alpha_n, \quad (7)$$

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, $Bm / (m^2 \cdot ^\circ C)$, принимаемый по таблице 6 СП 50. 13330;

R_i – термическое сопротивление, $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$, однородного слоя многослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$R_i = \delta_i / \lambda_i, \quad (8)$$

где: δ_i – толщина слоя, м;

λ_i – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, $Bm / (m \cdot ^\circ C)$ определяемый по приложению Т СП 50. 13330 в зависимости от условий эксплуатации конструкций.

Формула (5) принимает вид:

$$R_o^{ysl} = 1/\alpha_g + \sum \delta_i / \lambda_i + 1/\alpha_n, \quad (9)$$

Допускается приведенное сопротивление характерного i -го участка ограждающей конструкции R_o^{np} определять по формуле:

$$R_o^{np} = R_o^{ysl} \cdot r, \quad (10)$$

где: r - коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений.

Величину коэффициента теплотехнической однородности r следует принимать для:

- *панелей индустриального изготовления* должен быть, как правило, не менее величин, установленных в таблице 1 настоящих указаний;

- для *стен жилых зданий из кирпича* должен быть, как правило, не менее 0,74 при толщине стены 510 мм; 0,69 - при толщине стены 640 мм и 0,64 - при толщине стены 780 мм.

Если в проектируемой конструкции ограждения достигнуть рекомендуемых величин r не удастся, то такую конструкцию применять не следует.

Т а б л и ц а 1: Минимально допустимые значения коэффициента теплотехнической однородности для конструкций индустриального изготовления.

№ п.п.	Ограждающая конструкция	Коэффициент r
1	Из однослойных легковесных панелей	0,90
2	Из легковесных панелей с термовкладышами	0,75
3	Из трехслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем и гибкими связями	0,70
4	Из трехслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем и железобетонными шпонками или ребрами из керамзитобетона	0,60
5	Из трехслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем и железобетонными ребрами	0,50
6	Из трехслойных металлических панелей с эффективным утеплителем	0,75
7	Из трехслойных асбестоцементных панелей с эффективным утеплителем	0,70

Величину приведенного сопротивления теплопередаче $R_o^{np}, м^2\text{°C}/Вт$, проектируемой ограждающей конструкции следует принимать не менее нормируемых значений $R_o^{норм}, м^2\text{°C}/Вт$.

Пример выполнения задания

Задача. Выполнить расчет теплозащиты стенового ограждения 3-х этажного кирпичного жилого дома для условий строительства г. Анапа в соответствии с требованиями нормативных документов СП 50.13330 и СП131.13330, СП 23-101-2004.

Исходные данные. Район строительства - г. Анапа. Тип здания – жилое. Вид ограждающей конструкции к расчету – наружная стена.

Расчетные параметры внутреннего воздуха жилых помещений $t_g=20^\circ$, относительная влажность 55% (параметры микроклимата таблица 1 СП50.133330).

Зона влажности района строительства по Карте зон влажности - 1 – влажная (приложение В СП 50. 13330). Условия эксплуатации конструкции – Б (по таблице 2 СП 50. 13330). Средняя температура и продолжительность отопительного периоды для г. Анапы: $t_{on} = 2,5^\circ C$; $z_{on} = 145 \text{ сут}$ (таблица 3.1 графы 11,12 СП131.13330).

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\alpha_s = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ C)$, (таблица 4 СП 50.13330), наружной поверхности $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ C)$ (таблица 6 СП 50.13330).

Решение (1-й способ). Для обеспечения теплозащитных качеств ограждающих конструкций необходимо соблюдение условия

$$R_o^{np} \geq R_o^{норм}, \text{ м}^2 \cdot ^\circ C/\text{Вт}.$$

1. Определим величину базового сопротивления теплопередаче R_o^{mp} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ C/\text{Вт}$. По формуле (2) находим:

$$ГСОП = (20 + 2,5) \cdot 145 = 2682,5^\circ C \cdot \text{сут}.$$

По формуле (3):

$$R_o^{mp} = 0,00035 \cdot 2682,5 + 1,4 = 2,34 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C/\text{Вт},$$

где: $a = 0,00035$, $b = 1,4$ (таблица 3 СП 50.13330 для стен жилых зданий).

2. Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции $R_0^{\text{норм}}$, определяем по формуле (1):

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{мр}} \cdot m_p = 2,34 \cdot 1 = 2,34 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)},$$

где: $R_0^{\text{мр}} = 2,34 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции;

$m_p = 1$ – коэффициент, учитывающий особенности района строительства.

3. К расчету представим следующую конструкцию стенового ограждения: стена выполнена из глиняного кирпича толщиной 380 мм с утеплением наружной стороны плитами эффективного утеплителя из пенополистирола толщиной 100 мм и облицовкой декоративным кирпичом – 120 мм, внутренняя отделка – оштукатуривание известково-песчаным раствором – 10 мм (рис.1).

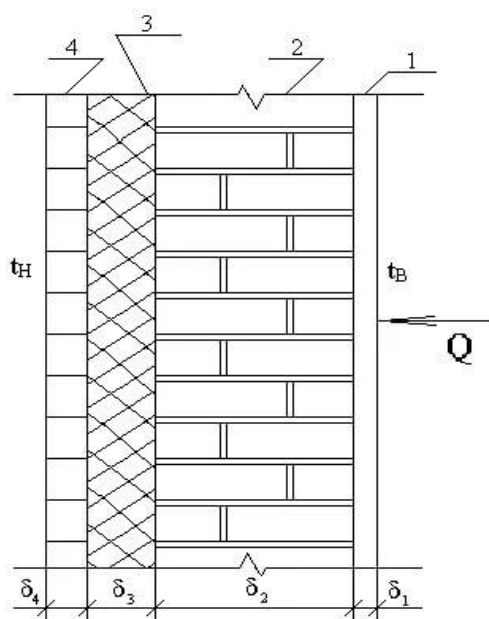


Рисунок 1: Конструкция стены жилого дома:

1- мокрая штукатурка (известково-песчаный раствор); 2 – кладка из глиняного обыкновенного кирпича; 3 – теплоизоляция (плиты из пенополистирола); 4 – кладка из пустотелого керамического кирпича .

4. Коэффициенты теплопроводности слоев ограждающей конструкции устанавливаем согласно условий эксплуатации Б по приложению Т СП 50.13330:

1 слой – штукатурка из известково-песчаного раствора: $\rho_1 = 1600 \text{ кг/м}^3$, $\delta_1 = 10 \text{ мм}$, $\lambda_1 = 0,81 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$;

2 слой – кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе: $\rho_2 = 1800 \text{ кг/м}^3$, $\delta_2 = 380 \text{ мм}$, $\lambda_2 = 0,7 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$;

3 слой – теплоизоляция из плит пенополистирола: $\rho_3 = 20 \text{ кг/м}^3$, $\delta_3 = 100 \text{ мм}$, $\lambda_3 = 0,038 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$;

4 слой – кладка из декоративного керамического пустотного кирпича на цементно-песчаном растворе: $\rho_4 = 1400 \text{ кг/м}^3$, $\delta_4 = 120 \text{ мм}$, $\lambda_4 = 0,64 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

4. Величину условного сопротивления теплопередаче R_o^{ysl} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$, ограждающей конструкции определяем по формуле (9):

$$R_o^{ysl} = 1/8,7 + 0,01/0,81 + 0,38/0,7 + 0,1/0,038 + 0,12/0,64 + 1/23 = 3,53$$

$$\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт},$$

где: $\alpha_6 = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ (таблица 4 СП 50.13330); $\alpha_n = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ (таблица 6 СП 50.13330);

5. Приведенное сопротивление ограждающей конструкции R_o^{np} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$, определяем по формуле (9):

$$R_o^{np} = 3,53 \cdot 0,69 = 2,45 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт},$$

где: величину коэффициента теплотехнической однородности ограждающей конструкции принимаем $r = 0,69$.

Величина приведенного сопротивления теплопередаче R_o^{np} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$, больше требуемого $R_o^{норм}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$, ($2,45 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт} > 2,33 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$), следовательно, данная конструкция стенового ограждения удовлетворяет требованиям теплозащиты для условий строительства г.Анапа.

Решение (2-й способ). Для обеспечения теплозащитных качеств ограждающих конструкций необходимо соблюдение условия: приведенное сопротивление теплопередаче наружной конструкции стены должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементные требования) $R_o^{np} \geq R_o^{норм}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$. Из этого условия следует определять требуемую толщину теплоизоляционного слоя:

$$R_o^{np} = R_o^{ysl} \cdot r, \quad (10)$$

$$R_o^{ysl} = 1/\alpha_6 + \sum \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_n, \quad (9)$$

$$R_o^{np} = (1/\alpha_e + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3 + \delta_4/\lambda_4 + 1/\alpha_n) \cdot r \geq R_o^{норм}$$

$$(1/\alpha_e + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3 + \delta_4/\lambda_4 + 1/\alpha_n) \cdot r \geq R_o^{норм}$$

$$\delta_3 \geq (R_o^{норм}/r - 1/\alpha_e - \delta_1/\lambda_1 - \delta_2/\lambda_2 - \delta_4/\lambda_4 - 1/\alpha_n) \cdot \lambda_3 \quad (10)$$

1. Определим величину базового сопротивления теплопередаче R_o^{mp} , $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$. По формуле (2) находим:

$$ГСОП = (20 + 2,5) \cdot 145 = 2682,5 \text{ } ^\circ C \cdot \text{сут.}$$

По формуле (3):

$$R_o^{mp} = 0,00035 \cdot 2682,5 + 1,4 = 2,34 \text{ } м^2 \cdot ^\circ C / Вт,$$

где: $a = 0,00035$, $b = 1,4$ (таблица 3 СП 50.13330 для стен жилых зданий).

2. Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции $R_o^{норм}$, определяем по формуле (1):

$$R_o^{норм} = R_o^{mp} \cdot m_p = 2,34 \cdot 1 = 2,34 \text{ } м^2 \cdot ^\circ C / Вт,$$

где: $R_o^{mp} = 2,34 (м^2 \cdot ^\circ C / Вт)$ базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции;

$m_p = 1$ – коэффициент, учитывающий особенности района строительства.

3. К расчету представим следующую конструкцию стенового ограждения: стена выполнена из глиняного кирпича толщиной 380 мм с утеплением наружной стороны плитами эффективного утеплителя из пенополистирола и облицовкой декоративным кирпичом – 120 мм, внутренняя отделка – оштукатуривание известково-песчаным раствором – 10 мм (рис.1). Толщина выбранного материала утеплителя в данном случае неизвестна.

4. Коэффициенты теплопроводности слоев ограждающей конструкции устанавливаем согласно условий эксплуатации Б по приложению Т СП 50.13330, приняв толщину теплоизоляционного слоя $x, мм$

1 слой – штукатурка из известково-песчаного раствора: $\rho_1 = 1600 \text{ } кг/м^3$, $\delta_1 = 10 \text{ } мм$, $\lambda_1 = 0,81 \text{ } Вт/(м \cdot ^\circ C)$;

2 слой – кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе: $\rho_2 = 1800 \text{ } кг/м^3$, $\delta_2 = 380 \text{ } мм$, $\lambda_2 = 0,7 \text{ } Вт/(м \cdot ^\circ C)$;

3 слой – теплоизоляция из плит пенополистирола: $\rho_3 = 20 \text{ } кг/м^3$, $\delta_3 = x \text{ } мм$, $\lambda_3 = 0,038 \text{ } Вт/(м \cdot ^\circ C)$;

4 слой – кладка из декоративного керамического пустотного кирпича на цементно-песчаном растворе: $\rho_4 = 1400 \text{ кг/м}^3$, $\delta_4 = 120 \text{ мм}$, $\lambda_4 = 0,64 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

5. Величину условного сопротивления теплопередаче R_o^{ysl} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$, ограждающей конструкции определяем по формуле (9):

$$R_o^{ysl} = 1/8,7 + 0,01/0,81 + 0,38/0,7 + x/0,038 + 0,12/0,64 + 1/23 = x/0,038 + 0,9 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт},$$

где: $\alpha_6 = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ (таблица 4 СП 50.13330); $\alpha_n = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ (таблица 6 СП 50.13330).

6. Приведенное сопротивление ограждающей конструкции R_o^{np} , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$, по формуле (10):

$$R_o^{np} = (x/0,038 + 0,9) \cdot 0,69 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}.$$

7. Определяем требуемую толщину теплоизоляционного слоя из плит пенополистирола:

$$(x/0,038 + 0,9) \cdot 0,69 \geq 2,34 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)},$$

$$x \geq 0,09 \text{ м}.$$

Принимают толщину утеплителя округленной в большую сторону, согласно унифицированным размерам реальных прайсов или номенклатуре заводских марок, равной 100 мм.

8. Вычисляем приведенное сопротивление теплопередаче стены, с принятой в результате расчета толщиной утеплителя по формуле (10):

$$R_o^{np} = (1/8,7 + 0,01/0,81 + 0,38/0,81 + 0,1/0,045 + 0,12/0,64 + 1/23) \cdot 0,69 =$$

$$= 2,6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}.$$

9. В результате расчета величина приведённого сопротивления теплопередаче R_o^{np} больше требуемого базового значения требуемого сопротивления теплопередаче $R_o^{норм}$ ($2,6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт} > 2,34 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$), следовательно, рассматриваемая конструкция стены удовлетворяет требованиям по тепловой защите применительно к климатическим условиям г. Анапы.

Задание.

Произвести расчёт теплозащиты стеновых ограждающих конструкций гражданского здания согласно индивидуального задания.

Вопросы к практическому занятию.

1. Что называют термическим сопротивлением конструкции?
2. Чему равно термическое сопротивление однородной конструкции, слоистой конструкции?
3. Как определяется общее сопротивление ограждающей конструкции теплопередаче?
4. Дайте определение коэффициента тепловосприятости, коэффициента теплоотдачи.
5. Приведите примеры конструктивного решения стен гражданских зданий.
6. Конструктивное решение стенового ограждения с воздушной прослойкой.
7. В чем заключаются санитарно-гигиенические требования к проектным решениям ограждающих конструкций зданий?

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [1, 2, 3, 5, 9,10,11, 12,13]

Практическое занятие 2

Расчет тепловой защиты покрытий гражданских зданий

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками теплофизического расчета покрытий гражданских зданий при установившемся потоке тепла.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен усвоить основные принципы теплофизического расчета наружных ограждающих конструкций зданий.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

Теплофизический расчет является обязательным при проектировании зданий. Выполненный расчет позволяет правильно выбрать тип наружных ограждающих конструкций, их материал и толщину, что является крайне необходимым для соблюдения санитарно-гигиенических условий и условий энергосбережения.

Теоретическая часть

Покрытия жилых и общественных зданий могут быть *бесчердачными (совмещенными)* и *раздельной конструкции*. Чердаки, в зависимости от способа удаления вентиляционного воздуха, могут быть холодным или теплым.

Крыши с холодным чердаком разрешается применять в жилых зданиях любой этажности. *Крыши с теплым чердаком* рекомендуется применять в зданиях 6 этажей и более.

В *крыше с холодным чердаком* внутреннее пространство должно вентилироваться наружным воздухом через специальные отверстия в стенах, площадь сечения которых должна быть не менее 0,001 площади перекрытия. При скатной кровле из штучных материалов (асбестоцементных листов, черепицы) чердачное пространство вентилируется через зазоры между его листами, поэтому вентиляционные отверстия допускается не предусматривать. При крыше с холодным чердаком теплоизоляция укладывается по чердачному перекрытию по всему периметру чердака на ширину не менее 1 м.

В *крыше с теплым чердаком* чердачное пространство, имеющее утепленные наружные стены и утепленное кровельное покрытие, обогревается теплым воздухом, который поступает из вытяжной вентиляции дома. Для удаления воздуха из чердачного пространства следует предусматривать вытяжные шахты по одной на каждую секцию.

Бесчердачные покрытия (совмещенные крыши) могут устраиваться невентилируемыми и вентилируемыми. *Невентилируемые покрытия* следует предусматривать в тех случаях, когда в конструкции покрытия исключается недопустимое влагонакопление в холодный период года. *Вентилируемые покрытия* надлежит предусматривать в тех случаях, когда конструктивные меры не обеспечивают нормального влажностного состояния конструкций.

В жилых и общественных зданиях рекомендуется применение вентилируемых совмещенных крыш. Рекомендуемая конструкция бесчердачного (совмещенного) вентилируемого покрытия крыши может содержать следующие слои, считая от нижней поверхности:

- несущая конструкция;
- пароизолирующий слой;
- теплоизолирующий слой;

-вентилируемая прослойка, служащая для удаления влаги из конструкции покрытия или для его охлаждения;

-основание под гидроизоляцию (стяжка или кровельная плита при целевых вентилируемых прослойках);

- многослойный гидроизолирующий кровельный ковер.

Осушающие воздушные прослойки и каналы следует располагать над теплоизоляцией или в ее верхней зоне. Минимальный размер поперечного сечения этих прослоек не должен быть менее 40 мм. Приточные отверстия следует устраивать в карнизной части, а вытяжные - с противоположной стороны здания или в коньке. Суммарное сечение как приточных, так и вытяжных отверстий рекомендуется назначать в пределах 0,002 - 0,001 от горизонтальной проекции покрытия.

Методика расчета тепловой защиты покрытий зданий.

Расчет тепловой защиты зданий проводится в соответствии с разделом 5 СП 50.13330 и СП131.13330, СП 23-101-2004. Методика расчета тепловой защиты покрытия зданий аналогична расчету теплозащиты стенового ограждения.

Пример выполнения задания

Задача. Необходимо проверить соответствие принятой конструкции совмещенного покрытия 5-ти этажного кирпичного жилого дома, для условий строительства в г. Ставрополе, требованиям СП 50.13330 и СП131.13330, СП 23-101-2004.

Исходные данные. Проектируемое перекрытие жилого дома выполнено из ж/б плит с утеплением минераловатными жесткими плитами (рис.1). Внутренняя температура воздуха в помещениях $t_{int} = 20^{\circ}\text{C}$.

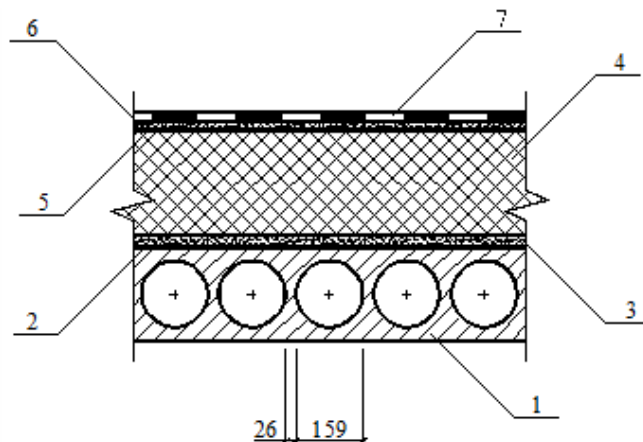


Рисунок 1: Конструктивная схема совмещенного покрытия:

1 - железобетонная многопустотная плита покрытия; 2 - пароизоляция – пергамин (один слой); 3 - гравий керамзитовый по уклону (минимальная толщина 20 мм); 4 - плитный утеплитель – плиты пенополистирола; 5 - гидроизоляция – пергамин (один слой); 6 - цементно-песчаная стяжка; 7 - четырехслойный рубероидный кровельный ковер.

Зона влажности по карте зон влажности приложение В СП 50.13330 2 – *нормальная*; влажностный режим помещений при температуре $t_e = 20^\circ\text{C}$ и влажности в пределах 50 – 60 % по таблице 1 СП 50. 13330– *нормальный*; условия эксплуатации конструкции по таблице 2 СП 50. 13330 – *Б*.

Решение. 1. По таблице 3.1 СП 131.13330 определяем среднюю температуру и продолжительность отопительного периоды для города Ставрополя : $t_{on} = 0,5^\circ\text{C}$; $z_{on} = 168 \text{ сут.}$

По формуле (2) находим:

$$ГСОП = (20 - 0,5) \cdot 168 = 3276 (^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}).$$

2. Определим величину базового сопротивления теплопередаче R_o^{mp} , $\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}$, по формуле (3): Для ограждающих конструкций – типа совмещенное покрытие жилого здания $a = 0,0005$, $b = 2,2$.

$$R_o^{mp} = 0,0005 \cdot 3276 + 2,2 = 3,838 (\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт}),$$

где: $a = 0,0005$, $b = 2,2$ для ограждающих конструкций – типа совмещенное покрытие жилого здания (таблица 3 СП 50.13330).

3. Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции $R_0^{\text{норм}}$, определяем по формуле (1):

$$R_0^{\text{норм}} = R_o^{mp} \cdot m_p = 3,84 \cdot 1 = 3,84 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

где: $R_o^{mp} = 3,84 (м^2 \cdot ^\circ C / Вт)$ базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции;

$m_p = 1$ – коэффициент, учитывающий особенности района строительства.

4. Устанавливаем коэффициенты теплопроводности слоев материала конструкции покрытия участвующих в теплозащите (по приложению Т СП 50.13330), приняв толщину теплоизоляционного слоя $x, мм$:

1 слой – железобетонная многослойная плита покрытия: $\rho_1 = 2500 кг/м^3$, $\delta_1 = 220 мм$, $\lambda_1 = 2,04 Вт/(м \cdot ^\circ C)$;

2 слой – гравий керамзитовый по уклону: $\rho_2 = 600 кг/м^3$; минимальная толщина $\delta_2 = 20 мм$, $\lambda_2 = 0,145 Вт/(м \cdot ^\circ C)$;

3 слой – плиты из пенополистирола: $\rho_3 = 40 кг/м^3$, $\delta_3 = x мм$, $\lambda_3 = 0,05 Вт/(м \cdot ^\circ C)$;

4 слой – цементно-песчаная стяжка: $\rho_4 = 1800 кг/м^3$, $\delta_4 = 20 мм$, $\lambda_4 = 0,93 Вт/(м \cdot ^\circ C)$;

5 слой – четырехслойный рубероидный кровельный ковер: $\rho_5 = 600 кг/м^3$, $\delta_5 = 20 мм$, $\lambda_5 = 0,17 Вт/(м \cdot ^\circ C)$.

4. Величину условного сопротивления теплопередаче $R_o^{усл}, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, конструкции покрытия определяем по формуле (5):

$$\begin{aligned} R_o^{усл} &= 1/8,7 + 0,22/2,04 + 0,02/0,145 + x/0,05 + 0,02/0,93 + 0,02/0,17 + 1/23 \\ &= x/0,05 + 0,543 (м^2 \cdot ^\circ C / Вт), \end{aligned}$$

здесь коэффициенты α_e и α_n приняты для конструкции покрытий по таблицам 4 и 6 СП 50.13330.

5. Из необходимости соблюдения требования, что величина приведенного сопротивления теплопередаче $R_o^{усл}, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, проектируемой ограждающей конструкции следует принимать не менее нормируемых значений $R_o^{норм}, м^2 \cdot ^\circ C / Вт$:

$$R_o^{np} \geq R_o^{норм},$$

составим неравенство:

$$x/0,05 + 0,543 \geq 3,838.$$

$$x \geq 0,165.$$

Откуда следует: минимально необходимая толщина утеплителя из пенополистирола с объемным весом $\rho_4 = 40 \text{ кг/м}^3$ должна составлять 170 мм для условий строительства в г. Ставрополе.

6. Проверим правильность принятого решения, для чего найдем величину сопротивления принятой конструкции покрытия:

$$R_o = 1/8,7 + 0,22/2,04 + 0,02/0,145 + 0,17/0,05 + 0,02/0,93 + 0,02/0,17 + 1/23 = 3,943 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)},$$

$$R_o^{\text{усл}} = 3,943 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} < R_o^{\text{норм}} = 3,838 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}.$$

Требование соблюдено, конструкция удовлетворяет нормам проектирования для условий строительства г.Ставрополь.

Задание.

Произвести теплофизический расчёт ограждающих конструкций покрытия гражданского здания согласно индивидуального задания.

Вопросы к практическому занятию.

1. В чем особенность расчета теплозащиты покрытий зданий.
2. Чему равно термическое сопротивление однородной конструкции, слоистой конструкции?
3. Как определяется общее сопротивление ограждающей конструкции теплопередаче?
4. Приведите примеры конструктивного решения покрытий гражданских зданий.
5. Конструктивное решение совмещенного покрытия здания.
6. Охарактеризуйте чердачные покрытия гражданских зданий.
7. Вентилируемые покрытия, их конструктивные решения.

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [1, 2, 3, 5, 9, 10, 11,12,13]

Практическое занятие 3

Теплоустойчивость ограждающих конструкций в теплый период года

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций зданий и рассмотрение свойство ограждения сохранять постоянство или ограничивать колебания температур на внутренних поверхностях.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен сформулировать основные принципы усвоения тепла поверхностью ограждающей конструкции, нахождением величины их теплоустойчивости.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

При периодических колебаниях температуры внутреннего воздуха здания (периодическое включение системы отопления) проектируя ограждающие конструкции зданий необходимо проводить расчет его теплоустойчивости, что обеспечит комфортный температурный режим в помещении.

Теоретическая часть

Колебания температуры внутренней поверхности стен возникают в основном в результате изменения температуры наружного воздуха. Свойство ограждения сохранять постоянство или ограничивать колебания температуры на внутренних поверхностях называют *теплоустойчивостью*. В современном строительстве в результате применения легких ограждений фактор теплоустойчивости приобрел особое значение. В возводимых зданиях ограждения обычно имеют небольшую толщину, поэтому колебания температуры не затухают в их толще и в значительной мере передаются с наружной поверхности конструкции на внутреннюю.

Мерой интенсивности затухания колебаний температуры является безразмерная величина D , называемая показателем *тепловой инерции* ограждения. Для теплофизически однородного слоя конструкции:

$$D_i = R_i \cdot s_i, \quad (1)$$

где: R_i – термическое сопротивление, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$;

s_i – коэффициент теплоусвоения, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, принимаемый в зависимости от условий эксплуатации конструкции.

Тепловую инерцию D многослойной ограждающей конструкции следует определять как сумму значений тепловой инерции D_i всех слоев по формуле:

$$D = R_1 \cdot s_1 + R_2 \cdot s_2 + \dots + R_n \cdot s_n, \quad (2)$$

где: $R_1, R_2, \dots, R_n$ – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$;

$s_1, s_2, \dots, s_n$ – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Коэффициент теплоусвоения s , $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, по своему физическому смыслу является коэффициентом теплообмена при передаче через ограждение периодических тепловых воздействий путем теплопроводности. Ограждения при одинаковом сопротивлении теплопередаче могут обладать различной тепловой инерцией, т.е. свойством в различной мере воспринимать тепло при периодическом колебании температуры наружного воздуха.

Ограждающие конструкции в зависимости от величины тепловой инерции считаются:

- легкими при $D \leq 4$;
- средней массивности при $4 < D \leq 7$;
- массивными при $D > 7$.

Теплоустойчивость ограждения зависит от порядка расположения слоев и от того, какой материал будет располагаться в слое резких колебаний температуры, от материала слоя который непосредственно прилегает к наружной поверхности. Расчеты многослойных ограждений показывают, что конструкция более теплоустойчива, когда материал с высоким коэффициентом теплоусвоения располагается с внутренней стороны ограждения. 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 как можно меньшую толщину, поэтому, целесообразно, применять тонкие металлические или асбестоцементные листы.

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 в двухслойной конструкции увеличивается, если более теплоустойчивый материал расположен изнутри;
- наличие в конструкции ограждения воздушной прослойки увеличивает теплоустойчивость конструкции.

Методика определения величины теплоустойчивости

Расчет величины теплоустойчивости ограждающих конструкций зданий проводится в соответствии с разделом 6 СП 50.13330 и показателей СП 131.13330.

Теплоустойчивость ограждающей конструкции здания должна соответствовать требованиям СП 50.13330. В районах со среднемесячной температурой июля 21°C и выше расчетная амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций жилых зданий (наружных стен и перекрытий/покрытий) $A_{\tau в}, ^{\circ}\text{C}$, не должна быть более нормируемой амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции A_{τ}^{mp} .

Величину нормируемой (требуемой) амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции $A_{\tau}^{mp}, ^{\circ}\text{C}$, рассчитывают по формуле:

$$A_{\tau}^{mp} = 2,5 - 0,1(t_n - 21), \quad (3)$$

где: t_n - средняя месячная температура наружного воздуха за июль, $^{\circ}\text{C}$, принимаемая по таблице 5.1 СП 131.13330.

Амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции $A_{\tau в}, ^{\circ}\text{C}$, находят по формуле

$$A_{\tau в} = A_{t н}^{расч} / v, \quad (4)$$

где: $A_{t н}^{расч}$ - расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

v - величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции.

Расчетную амплитуду колебаний температуры наружного воздуха, $A_{t н}^{расч}, ^{\circ}\text{C}$, находят по формуле:

$$A_{t н}^{расч} = 0,5A_{t н} + \rho(I_{max} - I_{cp})/\alpha_n, \quad (5)$$

где: $A_{t н}$ - максимальная амплитуда температуры наружного воздуха в июле, $^{\circ}\text{C}$, принимаемая по таблице 6.1 СП 131.13330;

ρ - коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по приложению И СП 50.13330;

I_{max}, I_{cp} - соответственно максимальное и среднее значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), Bm/m^2 , принимаемые по таблице 9.1 СП 131.13330 (для наружных стен - как для вертикальных поверхностей западной ориентации).

α_n - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$, определяемый по формуле

$$\alpha_n = 1,16(5 + 10\sqrt{v}) \quad (6)$$

где: v - минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16 % и более, принимаемая согласно таблице 4.1 СП 131.13330, но не менее 1 м/с.

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

$$v = 0,9 \cdot e^{D/\sqrt{2}} [(s_1 + \alpha_n)(s_2 + Y_1) \dots (s_n + Y_{n-1})(\alpha_n + Y_n)] / [(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \dots (s_n + Y_n)\alpha_n], \quad (7)$$

где: $e=2,718$ основание натуральных логарифмов;

D - тепловая инерция ограждающей конструкции, определяемая по формуле (1);

$s_1, s_2, \dots, s_n$ - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$, принимаемые по приложению Т СП 50.13330;

$Y_1, Y_2, \dots, Y_{i-1}, Y_i$ - коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$,

α_6 - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$ по таблице 4 СП 50.13330;

α_n - то же, что и в формуле (6).

Порядок нумерации слоев в формуле (7) принят в направлении от внутренней поверхности к наружной.

При выполнении расчета следует принять во внимание следующее:

- расчетное теплоусвоение воздушных прослоек принимается *равным нулю*;
- слои конструкции расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции *не учитываются*;
- при суммарной тепловой инерции ограждающей конструкции $D \geq 4$ расчет на теплоустойчивость *не требуется*.

Для определения теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции следует предварительно вычислить тепловую инерцию D каждого слоя по формуле (1). Теплоусвоение наружной поверхности слоя Y , $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$, с тепловой инерцией $D \geq 1$ следует принимать равным расчетному коэффициенту теплоусвоения s материала этого слоя конструкции.

Теплоусвоение 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:

$$Y_1 = (R_1 s_1^2 + \alpha_6) / (1 + R_1 \alpha_6); \quad (8)$$

б) для i -го слоя - по формуле:

$$Y_i = (R_i s_i^2 + Y_{i-1}) / (1 + R_i Y_{i-1}); \quad (9)$$

где: R_1, R_i - термические сопротивления соответственно первого и i -го слоев ограждающей конструкции, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$,

s_1, s_i - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала соответственно первого и i -го слоев, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$, принимаемые по приложению Т СП 50.13330;

α_e - то же, что и в формуле (7);

Y_1, Y_i, Y_{i-1} - коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности соответственно первого, i -го и $(i-1)$ -го слоев ограждающей конструкции, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям норм по теплоустойчивости если выполняется условие:

$$A_{\tau e} \leq A_{\tau}^{mp} . \quad (10)$$

Пример выполнения задания

Задача. Определить теплоустойчивость железобетонной панели с оконным проемом крупнопанельного 12-ти этажного жилого дома в г. Ростове-на-Дону.

Исходные данные. Район строительства - г. Ростов-на-Дону.

Зона влажности района строительства -3 (*сухая*) (приложение В СП 50.13330), условия эксплуатации конструкций «А» (таблица 2 СП 50.13330). Согласно СП 131.13330 район строительства характеризуется следующими климатическими показателями:

- средняя месячная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца (июля) $t_n = 23\ ^\circ C$ (таблица 5.1);
- максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха $A_{t, ext} = 19\ ^\circ C$ (таблица 6.1);
- максимальное и среднее значения суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации в июле при ясном небе для вертикальной поверхности западной ориентации $I_{max} = 764\ Bm/m^2$ и $I_{cp} = 184\ Bm/m^2$ (таблица 9.1);
- расчетная скорость ветра $v = 3,6\ м/с$ (таблица 4.1).

Коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции - железобетоном $\rho = 0,7$ (приложение И СП 50.13330);

К расчету предлагается стеновая трехслойная железобетонная панель жилого дома с оконным проемом. Толщина панели составляет 300 мм (наружный слой железобетона - 65 мм, эффективный утеплитель - пенополистирол - 135 мм и слой железобетона с внутренней стороны - 100 мм).

Решение. Теплотехнические характеристики материалов панели выбираются по условиям эксплуатации согласно приложению Т СП 50.13330:

для железобетонных слоев: $\rho_1 = \rho_3 = 2500 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_1 = \lambda_3 = 1,92 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, $s_1 = s_3 = 17,98 \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{C)}$;

для пенополистирола: $\rho_2 = 15 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_2 = 0,041 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, $s_2 = 0,41 \text{ Вт/(м}^2\text{}^\circ\text{C)}$.

Термические сопротивления отдельных слоев стеновой панели:

- внутреннего железобетонного слоя:

$$R_1 = 0,1/1,92 = 0,052 \text{ м}^2\text{}^\circ\text{C/Вт};$$

- слоя пенополистирола:

$$R_2 = 0,135/0,041 = 3,293 \text{ м}^2\text{}^\circ\text{C/Вт};$$

- наружного железобетонного слоя:

$$R_3 = 0,065/1,92 = 0,034 \text{ м}^2\text{}^\circ\text{C/Вт}.$$

Тепловая инерция каждого слоя и самой панели по формуле (1):

- наружного железобетонного слоя:

$$D_1 = 0,052 \cdot 17,98 = 0,935 < 1;$$

- пенополистирола:

$$D_2 = 3,293 \cdot 0,41 = 1,35 > 1;$$

- внутреннего железобетонного слоя:

$$D_3 = 0,034 \cdot 17,98 = 0,611 < 1;$$

- всей панели:

$$\sum D_i = 0,935 + 1,35 + 0,611 = 2,896.$$

Поскольку тепловая инерция стеновой панели $D < 4$, то *требуется расчет панели на теплоустойчивость.*

Нормируемая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности A_{τ}^{mp} ограждающей конструкции определяется по формуле (3):

$$A_{\tau}^{mp} = 2,5 - 0,1(23 - 21) = 2,3 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности α_n ограждающей конструкции по летним условиям определяется по формуле (6):

$$\alpha_n = 1,16(5 + 10\sqrt{3,6}) = 27,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

Расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха вычисляется по формуле (5):

$$A_{t_n}^{расч} = 0,5 \cdot 19 + [0,7(764 - 184)]/27,8 = 24,1 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя Y с тепловой инерцией $D < 1$ определяется расчетом по формулам (8) и (9):

а) для внутреннего железобетонного слоя

$$Y_1 = (R_1 s_1^2 + \alpha_n)/(1 + R_1 \alpha_n) = (0,052 \cdot 17,982 + 27,8)/(1 + 0,052 \cdot 27,8) = 17,6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)};$$

б) для среднего слоя из пенополистирола, имеющего $D > 1$, коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя принимается равным коэффициенту теплоусвоения материала $Y_2 = s_2 = 0,41 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$;

в) для наружного железобетонного слоя

$$Y_3 = (R_3 s_3^2 + Y_2)/(1 + R_3 s_2) = (0,034 \cdot 17,98^2 + 0,41)/(1 + 0,034 \cdot 0,41) = 11,24 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}.$$

Величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции вычисляется по формуле (5):

$$v = 0,9e^{D/\sqrt{2}} [(s_1 + \alpha_n)(s_2 + Y_1)(s_3 + Y_2) \times (\alpha_{ext} + Y_3)] / [(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2)(s_3 + Y_3) \alpha_n] =$$

$$= 0,9e^{2,896/\sqrt{2}}[(17,98 + 8,7)(0,41 + 17,6) \times (17,98 + 0,41)(27,8 + 11,24)] / [(17,98 + 17,6) \times (0,41 + 0,41)(17,98 + 11,24)27,8] = 101,56.$$

Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности стеновой панели определяется по формуле (4):

$$A_{\tau_{\text{в}}} = 24,1/101,56 = 0,24^{\circ}\text{C}.$$

Сравнивая величины

$$A_{\tau_{\text{в}}} = 0,24 < A_{\tau}^{\text{мп}} = 2,3^{\circ}\text{C},$$

можно сделать вывод, что теплоустойчивость проектируемой ограждающей конструкции здания соответствует требованиям норм.

Задание

Определить теплоустойчивость наружной стены гражданского здания, согласно индивидуального задания.

Вопросы к практическому занятию

1. Чем характеризуются теплофизические свойства ограждающей конструкции при периодических колебаниях температуры?
2. Что такое коэффициент теплоусвоения?
3. От чего зависит величина коэффициента теплоусвоения?
4. Как определяется толщина слоя резких колебаний?
5. Что определяет слой температурных колебаний?

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [3, 5, 8, 9, 10, 12, 13]

Практическое занятие 4

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций и помещений зданий

Цель занятия

Целью данного практического занятия является установление условий способствующих фильтрации воздуха через ограждающие конструкции, овладение навыками расчета сопротивления воздухопроницаемости наружных ограждений зданий.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен сформулировать основные условия возможной фильтрации воздуха через наружные ограждения зданий и определить пути ее уменьшения и научиться выполнять расчет по определению сопротивления воздухопроницаемости.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

Знание условий способствующих повышению инфильтрации в помещения зданий и пути ее уменьшения дает возможность закладывать в проектное решение здания требования, позволяющие созданию комфортного микроклимата в помещениях.

Теоретическая часть

Воздухопроницание или фильтрация воздуха через ограждающие конструкции происходит под влиянием разности общих давлений на противоположных поверхностях конструкции. Разность давлений Δp , $Па$, возникает под влиянием теплового напора (пропорционального разности температур в здании и наружном воздухе) или при действии ветра. Величина теплового напора зависит от разности температур, а также высоты помещения или здания, возрастая по мере ее увеличения.

Воздухопроницаемость ограждений в значительной степени зависит от качества изготовления ограждающих конструкций. Небольшая ее величина рассматривается как положительный фактор, обеспечивающий естественный воздухообмен в помещении. Однако по теплотехническим соображениям чрезмерная воздухопроницаемость ограждения крайне нежелательна, так как в зимнее время года вызывает дополнительные тепловые потери и охлаждает помещения. С целью защиты зданий от дополнительных тепловых потерь в холодный период года при проектировании ограждающих конструкций необходимо проводить их проверку на воздухопроницаемость.

Для оценки степени воздухопроницаемости ограждающей конструкции определяется величина ее *сопротивления воздухопроницанию* R_u , $м^2 \cdot ч \cdot Па / кг$.

Методика расчета величины воздухопроницаемости ограждающей конструкции

Расчет воздухопроницаемости ограждающей конструкции проводится в соответствии с разделом 7 СП 50.13330 и показателей СП 131.13330.

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций R_u , $м^2 \cdot ч \cdot Па / кг$, за исключением заполнений световых проемов (окон, балконных дверей и фонарей), зданий и сооружений должно быть не менее нормируемого сопротивления воздухопроницанию R_u^{np} , $м^2 \cdot ч \cdot Па / кг$. Величину нормируемого сопротивления воздухопроницанию R_u^{np} , $м^2 \cdot ч \cdot Па / кг$, ограждающих

конструкций за исключением заполнений световых проемов, находят по формуле

$$R_u^{mp} = \Delta p / G_n, \quad (1)$$

где: Δp - разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, $Па$;

G_n - нормируемая поперечная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, $кз/(м^2 \cdot ч)$, принимая по таблице 9 СП 50.13330.

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций Δp , $Па$, следует определять по формуле:

$$\Delta p = 0,55H(\gamma_n - \gamma_v) + 0,03\gamma_n v^2, \quad (2)$$

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

γ_n , γ_v - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, $Н/м^3$, определяемый по формулам:

$$\gamma_n = 3463 / (273 + t_n); \quad (3)$$

$$\gamma_v = 3463 / (273 + t_v), \quad (4)$$

t_n , $^{\circ}C$, - расчетная температура наружного воздуха, $^{\circ}C$, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 по таблице 3.1 СП 131.13330.

t_v - расчетная температура внутреннего воздуха, $^{\circ}C$, принимается согласно оптимальным параметрам по ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 30494 и СанПиН 2.1.2.2645;

v - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % принимаемая по таблице 3.1 СП 131.13330;

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции R_u , $м^2 \cdot ч \cdot Па/кз$, следует определять как сумму сопротивлений воздухопроницанию отдельных слоев по формуле:

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots + R_{un}, \quad (5)$$

где: $R_{u1}, R_{u2}, \dots, R_{un}$ - сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$.

Сопротивление воздухопроницанию слоев конструкций следует определять по приложению С СП 50.13330.

Нормируемое сопротивление воздухопроницанию R_u^{mp} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$, окон и балконных дверей жилых и общественных зданий, а также окон и фонарей производственных зданий определяют по формуле:

$$R_u^{mp} = (1/G_n)(\Delta p / \Delta p_0)^{2/3}, \quad (6)$$

где: G_n - то же, что и в формуле (1);

Δp - то же, что и в формуле (2);

$\Delta p_0 = 10 \text{ Па}$ - разность давления воздуха на и наружной и внутренней поверхностях светопрозрачной конструкции, при которой экспериментально определяется сопротивление воздухопроницанию выбранной конструкции.

Сопротивление воздухопроницанию выбранного типа светопрозрачной конструкции R_u , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$, определяют по формуле

$$R_u = (1/G_c)(\Delta p / \Delta p_0)^n, \quad (7)$$

где: G_c - воздухопроницаемость светопрозрачной конструкции, $\text{кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, при $\Delta p_0 = 10 \text{ Па}$, полученная в результате сертификационных испытаний;

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

В случае $R_u \geq R_u^{mp}$ выбранная конструкция удовлетворяет требованиям по сопротивлению воздухопроницанию.

В случае $R_u < R_u^{mp}$ необходимо заменить на конструкцию другого типа и проводить расчеты добиваясь удовлетворения требований.

Пример выполнения задания

Задача. Определить, удовлетворяют ли в отношении сопротивления воздухопроницанию, требованиям СП 50.13330 окна в пластмассовых переплетах с двухкамерными стеклопакетами в 12-этажном здании.

Исходные данные. Район строительства г. Уфа. Высота проектируемого здания $H = 34,8 \text{ м}$. Расчетная температура внутреннего воздуха помещений жилого здания $t_g = 21 \text{ }^\circ\text{C}$ по ГОСТ 30494. Согласно таблице 3.1 СП 131.13330 район строительства характеризуется следующими климатическими показателями:

- расчетная температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью $0,92$ $t_n = -35 \text{ }^\circ\text{C}$,

- максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь $v = 5,5 \text{ м/с}$.

Согласно сертификату воздухопроницаемость окна при $\Delta p = 10 \text{ Па}$ равна $G_c = 3,94 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, показатель режима фильтрации $n = 0,55$.

Нормируемая поперечная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, $G_n = 5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (таблица 9 СП 50.13330).

Решение. Вычисляем удельный вес наружного и внутреннего воздуха по формулам (4) и (5):

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

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

Определяем расчетную разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях окна на уровне пола первого этажа здания Δp по формуле (2):

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

Находим нормируемое сопротивление воздухопроницанию окон в рассматриваемом доме по формуле (6):

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

Сопротивление воздухопроницанию окна определим по формуле (7):

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

$$R_u \geq R_u^{mp}$$

Таким образом, выбранное окно удовлетворяет требованиям СП 50.13330 в отношении сопротивления воздухопроницанию.

Задание.

Произвести расчёт воздухопроницаемости светопрозрачных конструкций гражданского здания согласно индивидуального задания.

Вопросы к практическому занятию.

1. Вследствие чего происходит фильтрация воздуха через ограждающие конструкции зданий?
2. От чего зависит величина теплового напора?
3. Как определяется полное динамическое давление ветра?
4. Как воздухопроницаемость влияет на теплофизические качества конструкции?

Рекомендуемая литература

Основная: [1,2]

Дополнительная: [1, 3, 4, 6, 8, 9, 10,12]

Практическое занятие 5

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций зданий

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками методики расчета сопротивления паропрооницанию, обеспечению защиты от переувлажнения ограждающих конструкций зданий.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен сформулировать основные условия возникновения конденсации влаги на внутренних ограждающих конструкциях при относительной влажности воздуха помещения.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

Обеспечение на поверхности ограждающей конструкции такой температуры, при которой не могло бы происходить конденсации влаги при

относительной влажности воздуха помещения, улучшает теплозащиту ограждения, исключает возникновение сырости.

Теоретическая часть

Из-за возможной повышенной влажности материала ограждения получаются неудовлетворительными в теплотехническом отношении. Известно, что коэффициент теплопроводности материала резко возрастает с повышением влажности. Повышенная влажность ограждений крайне неблагоприятно отражается на санитарно-гигиеническом состоянии зданий и помещений. Кроме того, чем выше влажность материала ограждения, тем меньше его морозо-, влаго- и биостойкость, стойкость против коррозии.

Конденсация водяных паров является одной из основных причин появления влаги в ограждениях в процессе эксплуатации зданий. В воздухе всегда имеется некоторое количество влаги в виде водяного пара. Количество влаги, содержащееся в 1 м^3 воздуха, выраженное в граммах, называют его *абсолютной влажностью* P , г/м^3 . При расчетах влажностного режима ограждений абсолютную влажность удобнее выражать величиной *парциального давления водяного пара (упругостью водяного пара)*. *Парциальным давлением водяного пара называют часть общего давления паровоздушной смеси, вызываемой наличием пара в воздухе.* Значения упругости водяного пара в воздухе, а также его абсолютной влажности не дают полного представления о степени насыщения воздуха влагой, если не указана температура воздуха. Степень насыщения воздуха влагой определяют его *относительной влажностью* $\varphi\%$. *Относительная влажность представляет собой отношение действительной упругости водяного пара в воздухе к максимальной его упругости E :*

$$\varphi = e / E \cdot 100\%. \quad (1)$$

При повышении температуры воздуха его относительная влажность понижается и, наоборот, при охлаждении воздуха относительная влажность

будет увеличиваться вследствие уменьшения E . При некоторой температуре, когда действительная упругость водяного пара в воздухе примет свое максимальное значение относительная влажность станет $\varphi=100\%$. Для воздуха данной влажности такую температуру называют *точкой росы* τ_r . Если охлаждать воздух ниже точки росы, то некоторое количество влаги, находившейся в парообразном состоянии, будет конденсироваться, т.е. переходить в капельно-жидкое состояние. Во избежание конденсации водяного пара на внутренней поверхности ограждения ее температура должна быть выше точки росы.

При разности парциальных давлений водяных паров внутреннего и наружного воздуха в толще ограждения возникает поток водяного пара (диффузия), который направлен в сторону меньшего давления. *Свойства материалов пропускать водяные пары называется паропроницаемостью.* Защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропрооницанию внутренних слоев не менее требуемого значения, определяемого расчетом одномерного влагопереноса (осуществляемому по механизму паропроницаемости).

Методика расчета сопротивления паропрооницанию ограждающих конструкций (защита от влаги)

Проверка защиты от переувлажнения ограждающей конструкции проводится в соответствии с разделом 8 СП 50.13330, СП 345.1325800 и СП 131.13330.

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций обеспечивается соблюдением требований к сопротивлению паропрооницанию слоев конструкции, расположенных между внутренним воздухом и плоскостью максимального увлажнения. Для обеспечения требуемого сопротивления паропрооницанию $R_n^{mp}, м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$, ограждающей конструкции следует определять сопротивление паропрооницанию $R_n, м^2 \cdot ч \cdot Па / мг$, конструкции в

пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения.

Плоскость максимального увлажнения допускается находить упрощенным методом согласно СП 345.1325800. В соответствии с СП 50.13330 нахождение проводится для климатических параметров за период с отрицательными среднемесячными температурами по СП 131.13330.

Все слои ограждающих конструкций делятся на два типа - *проницаемые и плотные*. Для такого деления вводится особый критерий, численно равный отношению паропроницаемости материала слоя к его теплопроводности. Устанавливается следующая граница между проницаемыми и плотными слоями:

$\mu/\lambda \geq 1$ — слой проницаемый;

$\mu/\lambda < 1$ — слой плотный,

где: μ - паропроницаемость материала, $мг/(м \cdot ч \cdot Па)$, определяемая по приложению Т СП 50.13330 или ГОСТ 25898.

Ограждающие конструкции по количеству и взаимному расположению обобщенных слоев делятся на пять классов согласно таблице 8.2 СП 345.1325800.

Если несколько подряд расположенных слоев оказываются одинаковыми по данной классификации, то для определения, к какому классу принадлежит данная конструкция, их объединяют в один обобщенный проницаемый или плотный слой.

Если различие между всеми слоями конструкции не превышает 30% по критерию μ/λ , то ее следует считать однослойной.

Определение места расположения плоскости максимального увлажнения в зависимости от класса конструкции приведено в таблице 8.3 СП 345.1325800.

После нахождения координаты плоскости максимального увлажнения можно приступить ко второй части проверки на соответствие требованиям к защите от переувлажнения по СП 50.13330.

Соппротивление паропроницанию R_n , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, ограждающей конструкции должно быть не менее наибольшего из следующих нормируемых сопротивлений паропроницанию:

а) нормируемого сопротивления паропроницанию R_{n1}^{mp} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации), определяемого по формуле:

$$R_{n1}^{mp} = (e_e - E)R_{n.n.}/(E - e_n); \quad (2)$$

б) нормируемого сопротивления паропроницанию R_{n2}^{mp} , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха), определяемого по формуле:

$$R_{n2}^{mp} = 0,0024z_0(e_e - E_0)/\rho_w \delta_w \Delta w_{av} + \eta, \quad (3)$$

где: e_e - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па , при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле:

$$e_e = (\varphi_e/100)E_e, \quad (4)$$

где: E_e - парциальное давление насыщенного водяного пара Па , при температуре внутреннего воздуха в помещении определяется по формуле (7);

φ_e - относительная влажность внутреннего воздуха, %, принимаемая для различных зданий по таблице 1 СП 50.13330;

$R_{n.n.}$ - сопротивление паропроницанию, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения, определяемое по (8);

e_n - среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па , за годовой период таблица 7 СП 131.13330;

z_0 - продолжительность, сут, периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха таблица 5 СП 131.13330;

E_0 - парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, Па, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления z_0 ;

ρ_w - плотность материала увлажняемого слоя, кг/м³,

δ_w - толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной 2/3 толщины однородной (однослойной) стены или толщине слоя многослойной ограждающей конструкции, в котором располагается плоскость максимального увлажнения;

Δw_{av} - предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления z_0 , принимаемое по таблице 1 настоящих указаний.

В случае, когда плоскость максимального увлажнения находится на стыке двух слоев, выражение $\rho_w \delta_w \Delta w_{av}$ в формуле (3) принимается равным сумме ($\rho_{w1} \delta_{w1} \Delta w_1 + \rho_{w2} \delta_{w2} \Delta w_2$), где δ_{w1} и δ_{w2} соответствуют половине толщины стыкующихся слоев.

Т а б л и ц а 1: Предельно допустимые значения коэффициента Δw_{av}

Материал ограждающей конструкции	Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале Δw_{av} , %
1. Кладка из глиняного кирпича и керамических блоков	1,5
2. Кладка из силикатного кирпича	2,0
3. Легкие бетоны на пористых заполнителях (керамзитобетон, шугизитобетон, перлитобетон, шлакопемзобетон)	5
4. Ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон, газосиликат и др.)	6
5. Пеногазостекло	1,5
6. Фибролит и арболит цементные	7,5
7. Минераловатные плиты и маты	3
8. Пенополистирол и пенополиуретан	25
9. Фенольно-резольный пенопласт	50
10. Теплоизоляционные засыпки из керамзита, шунгизита, шлака	3
11. Тяжелый бетон, цементно-песчаный раствор	2

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

$$E = (E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3) / 12, \quad (5)$$

где: E_1, E_2, E_3 - парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, Pa , определяемые по формуле (7), по температуре в плоскости максимального увлажнения при средней температуре наружного воздуха соответствующего периода;

z_1, z_2, z_3 - продолжительность, *мес*, зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, определяемая по таблице 5 СП 131.13330 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 воздуха *выше плюс 5 °C*;

η - коэффициент, определяемый по формуле:

$$\eta = 0,0024 (E_0 - e_{н.отр}) \cdot z_0 / R_{н.н.}, \quad (6)$$

где: $e_{н.отр}$ - среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Pa , периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами таблица 7 СП 131.13330.

Парциальное давление насыщенного водяного пара E, Pa , при температуре $t, °C$ *от минус 40 до плюс 45 °C*, определяется по формуле:

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp(-5330/273 + t) \quad (7)$$

Соппротивление паропрооницанию $R_{н.в}, м^2 \cdot ч \cdot Pa / мг$, однослойной или отдельного слоя многослойной ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$R_{н.т} = \delta_t / \mu_t, \quad (8)$$

где: δ_t - толщина слоя ограждающей конструкции, *м*;

μ_i - расчетный коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждающей конструкции, $\text{мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$, принимаемый по приложению Т СП 50.13330.

Сопротивление паропроницанию $R_{n.o}$, $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$, многослойной ограждающей конструкции (или ее части) равно сумме сопротивлений паропроницанию составляющих ее слоев:

$$R_{n.o} = \sum R_{n.i}, \quad (9)$$

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

Температуру t_x , $^{\circ}\text{C}$, ограждающей конструкции в плоскости, отстоящей от внутренней поверхности на расстоянии x , м , следует определять по формуле:

$$t_x = t_e - (t_e - t_n) \cdot R_x / R_o^{ysl}, \quad (10)$$

где: t_e и t_n - температура внутреннего и наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

R_x - сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, части многослойной ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости, отстоящей от внутренней поверхности на расстоянии x , м , по формуле:

$$R_x = 1/\alpha_e + \sum \delta_i / \lambda_i, \quad (11)$$

где: $\sum \delta_i / \lambda_i$ - находится до сечения x ;

R_o^{ysl} -условное сопротивление теплопередаче однородной многослойной ограждающей конструкции определяется по приложению Е СП 50.13330, по формуле:

$$R_o^{ysl} = 1/\alpha_e + \sum \delta_i / \lambda_i + 1/\alpha_n \quad (12)$$

Пример выполнения задания

Задача. Рассчитать сопротивление паропроницанию наружной многослойной стены из железобетона, утеплителя и кирпичной облицовки жилого здания в г. Москве. Проверить соответствие сопротивления паропроницанию стены требованиям СП 50.13330, СП 345.1325800 и СП 131.13330.

Исходные данные. Для помещений жилых зданий величины расчетной температуры и влажности внутреннего воздуха следует принимать: $t_g = 20^\circ\text{C}$, $=55\%$. Влажностный режим жилых помещений – нормальный; зона влажности района строительства – нормальная, условия эксплуатации ограждающих конструкций определяют по параметру Б согласно СП 50.13330. Расчетные теплотехнические показатели материалов приняты по приложению Т СП 50.13330.

Решение. Наружная многослойная стена жилого дома состоит из следующих слоев, считая от внутренней поверхности (расчетные коэффициенты плотности, теплопроводности и паропроницаемости):

1 - гипсокартонные листы толщиной 12 мм: $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_B = 0,36 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$, $\mu = 0,075 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$;

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

3 - утеплитель пенополистирол толщиной 100 мм, $\rho_0 = 20 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_B = 0,046 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$, $\mu = 0,05 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$;

4 - кирпичная облицовка из керамического пустотного кирпича толщиной 120 мм: $\rho_0 = 1600 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_B = 0,64 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$, $\mu = 0,14 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$.

Определим тепловую инерцию слоев пола по формуле (4):

$$D_1 = R_1 s_1 = 0,0045 \cdot 7,52 = 0,034;$$

$$D_2 = R_2 s_2 = 0,043 \cdot 0,92 = 0,04;$$

$$D_3 = R_3 s_3 = 0,0059 \cdot 4,56 = 0,027;$$

$$D_4 = R_4 s_4 = 0,08 \cdot 16,77 = 1,34.$$

Установим плоскость максимального увлажнения в ограждающей конструкции упрощенным методом определив для всех слоев конструкции отношение μ/λ :

гипсокартонные листы $0,075/0,36=0,2 \text{ мг} \cdot ^\circ\text{C}/(\text{Вт} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$;

железобетон $0,03/2,04=0,015 \text{ мг} \cdot ^\circ\text{C}/(\text{Вт} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$;

пенополистирол $0,05/0,046=1,09 \text{ мг} \cdot ^\circ\text{C}/(\text{Вт} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$;

керамический пустотный кирпич $0,14/0,64=0,22 \text{ мг} \cdot ^\circ\text{C}/(\text{Вт} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$.

Согласно пункту 8.3.1 СП 345.1325800 конструкцию можно отнести к трехслойной конструкции с проницаемым слоем в середине. По таблице 8.3 СП 345.1325800 для таких конструкций плоскость максимального увлажнения располагается на стыке проницаемого и наружного плотного слоев, т.е. плоскость возможной конденсации в многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя.

Сопrotивление паропрооницанию многослойной ограждающей конструкции $R_{n.o}, (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ по формуле (9):

$$R_{n.o} = 0,012/0,075 + 0,1/0,03 + 0,1/0,05 + 0,12/0,14 \approx 6,35 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Условное сопротивление теплопередаче однородной многослойной ограждающей конструкции $R_0^{ysl}, (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, по формуле (12):

$$R_0^{ysl} = 1/8,7 + 0,012/0,36 + 0,1/2,04 + 0,1/0,046 + 0,12/0,64 + 1/23 = 2,6 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}.$$

E_g - парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре внутреннего воздуха помещения рассчитываем по формуле (7):

$$E_g = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,718 (-5330/273 + 20) = 2315 \text{ Па}.$$

Тогда парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемое по формуле (4):

$$e_g = (55/100) \cdot 2315 = 1273 \text{ Па}.$$

Сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения R_n , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, находится по формуле (8):

$$R_n = 0,012/0,075 + 0,1/0,03 + 0,1/0,05 = 5,49 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Сопротивление теплопередаче R_x , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{Вт}$, части многослойной ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации по формуле (11):

$$R_x = 1/8,7 + 0,012/0,36 + 0,1/2,04 + 0,1/0,046 = 2,37 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{Вт}.$$

Сопротивление паропрооницанию R_n , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее нормируемых сопротивлений паропрооницанию, определяемых по формулам (2) и (3):

$$R_{n1}^{mp} = (e_e - E)R_{n,n}/(E - e_n);$$

$$R_{n2}^{mp} = 0,0024z_0(e_e - E_0)/(\rho_w \delta_w \Delta_{av} + \eta).$$

Парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения (E) за годовой период эксплуатации определяется по формуле (5):

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

Установим для сезонных периодов г. Москвы их продолжительность z_i , сут, среднюю температуру t_i , $^\circ\text{C}$ согласно СП131.13330. Рассчитаем температуру $t_{\text{м.г.}}$, $^\circ\text{C}$, в плоскости максимального увлажнения по формуле (10) и величину парциального давления водяного пара E , Па , по формуле (4) за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции для соответствующих продолжительностей периодов z_1 , z_2 , z_3 .

Зимний периода (январь, февраль, декабрь):

$$z_i = 3 \text{ мес};$$

$$t_1 = [(-5,6) + (-7,8) + (-7,1)]/3 = -6,8 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{м.г.1}} = 20 - [20 - (-6,8)] \cdot 2,37/2,6 = -4,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$E_1 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,718 (-5330/273 - 4,4) = 443 \text{ Па.}$$

Для весенне-осеннего периода (март, ноябрь):

$$z_2 = 2 \text{ мес;}$$

$$t_2 = [(-1,1) + (-1,3)]/2 = -1,2^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{м.у.2}} = 20 - [20 - (-1,2)] \cdot 2,37/2,6 = 0,7^\circ\text{C};$$

$$E_2 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,718 (-5330/273 + 0,7) = 642 \text{ Па.}$$

Для летнего периода (апрель - октябрь):

$$z_3 = 7 \text{ мес;}$$

$$t_3 = (6,4 + 13 + 1,9 + 18,7 + 16,8 + 11,1 + 5,2)/7 = 12,6^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{м.у.3}} = 20 - (20 - 12,6) \cdot 2,37/2,6 = 13,3^\circ\text{C};$$

$$E_3 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,718 (-5330/273 + 13,3) = 1512 \text{ Па.}$$

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 :

$$E = (443 \cdot 3 + 642 \cdot 2 + 1512 \cdot 7)/12 = 1100 \text{ Па.}$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период таблица 7 СП 131.13330:

$$e_n = 770 \text{ Па.}$$

Сопротивление паропрооницанию $R_{\text{н.м}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью максимального увлажнения можно найти по формуле (9), а можно вычесть из общего сопротивления $R_{\text{о.н.м}} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, сопротивление от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения R_n , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$:

$$R_{\text{н.м}} = 6,35 - 5,49 = 0,86 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Таким образом:

$$R_{\text{н1}}^{\text{мп}} = (1237 - 1100) \cdot 0,86 / (1100 - 770) = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

Далее, продолжительность периода влагонакопления (z_0) принимается равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по СП 131.13330 в сутках. Для Москвы она равна:

$$z_0 = (30 + 31 + 31 + 28 + 31) = 151 \text{ сут.}$$

Средняя температура наружного воздуха $t_{н. отр}$, °C, для периода с отрицательными среднемесячными температурами, согласно данным СП 131.13330, равна:

$$t_{н. отр} = [(-5,6) + (-7,8) + (-7,1) + (-1,1) + (-1,3)]/5 = -4,6 \text{ °C.}$$

Температура в плоскости максимального увлажнения равна температуре на стыке двух слоев по формуле (10):

$$t_{м.у.от} = 20 - [20 - (-4,6)] \cdot 2,37/2,6 = -2,4 \text{ °C.}$$

Парциальное давление насыщенного водяного пара E_0 , Па, в плоскости максимального увлажнения, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления по формуле (7):

$$E_0 = 1,84 \cdot 10^{11} \cdot 2,718^{(-5330/273 - 2,4)} = 513 \text{ Па.}$$

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха e_n , Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, согласно данным таблицы 7 СП 131.13330:

$$e_n = (280 + 290 + 390 + 500 + 360)/5 = 364 \text{ Па.}$$

Так как плоскость максимального увлажнения находится на стыке двух слоев, выражение $\rho_w \delta_w \Delta w_{av}$ в формуле (3) принимается равным сумме $(\rho_{w1} \delta_{w1} \Delta w_1 + \rho_{w2} \delta_{w2} \Delta w_2)$,

где: δ_{w1} и δ_{w2} - половины толщин стыкующихся слоев, м,;

ρ_{w1} и ρ_{w2} - плотности материалов этих слоев, кг/м³;

Δw_1 и Δw_2 - предельно допустимое приращение влажности в материалах, принимаемые по таблице 1 настоящих указаний, %.

Тогда:

$$\rho_{w1}\delta_{w1}\Delta w_1 + \rho_{w2}\delta_{w2}\Delta w_2 = 20 \cdot 0,05 \cdot 25 + 1600 \cdot 0,06 \cdot 1,5 = 169.$$

По формуле (6) определяем коэффициент η :

$$\eta = 0,0024(513 - 364)151/0,86 = 62,8.$$

Величину R_{n2}^{mp} рассчитываем по формуле (3):

$$R_{n2}^{mp} = 0,0024 \cdot 151(1273 - 513)/(169 + 62,8) = 1,19 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}.$$

Сравнивая величины полученных требуемых значений сопротивлений паропрооницанию R_{n1}^{mp} и R_{n2}^{mp} с найденным ранее сопротивлением паропрооницанию ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения R_n устанавливаем справедливость утверждения:

$$R_n > R_{n2}^{mp} > R_{n1}^{mp}$$

Следовательно, данная ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям СП 50.13330 по защите от переувлажнения для условий строительства в г. Москве.

Задание.

Выполнить расчет сопротивления паропрооницанию заданной ограждающей конструкции жилого здания.

Вопросы к практическому занятию.

1. Что называют абсолютной влажностью?
2. Что характеризует относительная влажность?
3. Как меняется величина относительной влаги при изменении температуры?
4. Для чего необходимо проверять возможность возникновения конденсата?
5. Какие конструкции зданий имеют более низкую температуру поверхности?
6. Опишите явления сорбции и конденсации.

Список рекомендуемой литературы.

Основная: [1,2]

Дополнительная: [3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 20]

Практическое занятие 6

Расчет теплоусвоения поверхности полов гражданских зданий

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками теплотехнического расчета пола гражданского здания.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен овладеть правилами теплотехнического расчета пола проектируемого гражданского здания.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен приобрести навыки по следующей профессиональной компетенции:

способен участвовать в проектировании объектов строительства и жилищно-коммунального хозяйства, в подготовке расчетного и технико-экономического обоснований их проектов, участвовать в подготовке проектной документации, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и вычислительных программных комплексов (ОПК-6).

Актуальность темы

Определить удовлетворяет ли в отношении теплоусвоения требованиям СП 50.13330 конструкция пола в целях экономии энергии при обеспечении санитарно-гигиенических условий является необходимым при разработке проектного решения жилого здания. Настоящий расчет устанавливает требования по проектированию полов гражданских зданий в соответствии с оптимальным расходом тепла при эксплуатации объектов.

Теоретическая часть

Полы представляют собой конструкцию, состоящую из нескольких слоев различных материалов, расположенных на каком-либо основании. Теплотехнические требования, предъявляемые к конструкции полов, обусловлены ограничением теплопотерь, а также теплообменом различных объектов и людей, находящихся во временном и постоянном контакте с ним.

Интенсивность теплообмена различных объектов с полом при ограниченной продолжительности контакта характеризуется теплофизическими свойствами поверхности слоя пола определенной толщины. Теплофизические свойства материалов, лежащих ниже этого слоя, практического влияния на интенсивность теплообмена не оказывают.

В качестве параметра характеризующего теплопоглощение пола при контактном теплообмене принят показатель *теплоусвоения материала*. Однако использование коэффициента теплоусвоения материала в качестве характеристики теплопоглощения (теплоусвоения) материала приводит к некоторым ошибкам при расчете количества теплоты поглощенной многослойным телом при нестационарном контактном теплообмене.

Сущность метода теплотехнического расчета полов сводится к определению показателя теплоусвоения поверхности многослойного пола. Теплоусвоение поверхности полов определяется теплофизическими свойствами материалов из которых выполнена конструкция пола и особенно его поверхностный слой. Наибольшее теплоусвоение имеют плотные теплопроводные материалы поверхностного слоя цементных, бетонных и других подобных полов, меньшее - легкие малотеплопроводные материалы деревянных полов. По теплоусвоению полы можно охарактеризовать как холодные, не обеспечивающие комфортных условий в помещении, и теплые.

Методика расчета теплоусвоения поверхности полов

Теплоусвоение полов зданий должно соответствовать требованиям СП 50.13339. Поверхность пола жилых и общественных зданий, вспомогательных зданий и помещений промышленных предприятий и отапливаемых помещений производственных зданий (на участках с постоянными рабочими местами) должна иметь расчетный показатель теплоусвоения $Y_{пол}$, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$, не более нормируемой величины $Y_{пол}^{mp}$, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$, установленной в таблице 12 СП 50.13339.

Расчетный показатель теплоусвоения поверхности пола $Y_{пол}$, $Bm/(m^2 \cdot ^\circ C)$, следует определять следующим образом:

а) если покрытие пола (первый слой конструкции пола) имеет тепловую инерцию $D_1 = R_1 s_1 \geq 0,5$, то показатель теплоусвоения поверхности пола следует определять по формуле:

$$Y_{пол} = 2s_1; \quad (1)$$

б) если первые n слоев конструкции пола ($n \geq 1$) имеют суммарную тепловую инерцию $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 0,5$, но тепловая инерция $(n+1)$ слоев $D_1 + D_2 + \dots + D_{n+1} \geq 0,5$, то показатель теплоусвоения поверхности пола $Y_{пол}$ следует определять последовательно расчетом показателей теплоусвоения поверхностей слоев конструкции, начиная с n -го до 1-го:

для n -го слоя - по формуле:

$$Y_n = (2R_n s_n^2 + s_{n+1}) / (0,5 + R_n s_{n+1}); \quad (2)$$

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

$$Y_i = (4R_i s_i^2 + Y_{i+1}) / (1 + R_i Y_{i+1}). \quad (3)$$

Показатель теплоусвоения поверхности пола $Y_{пол}$ принимается равным показателю теплоусвоения поверхности 1-го слоя Y_1 .

В формулах (1) - (3) и неравенствах:

$D_1, D_2, \dots, D_{n+1}$ - тепловая инерция соответственно 1-го, 2-го, ..., $(n+1)$ -го слоев конструкции пола;

Тепловую инерцию D ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n, \quad (4)$$

где: R_i, R_n - термические сопротивления, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$, соответственно i -го и n -го слоев конструкции пола);

s_1, s_i, s_n, s_{n+1} - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала соответственно 1-го, i -го, n -го, $(n + 1)$ -го слоев конструкции пола, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$, принимаемые по результатам теплотехнических испытаний или по приложению Т СП50.13330;

Y_{i+1} - показатель теплоусвоения поверхности $(i + 1)$ -го слоя конструкции пола, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$.

Если расчетная величина $Y_{\text{пол}}$ показателя теплоусвоения поверхности пола окажется не более нормативной величины $Y_{\text{пол}}^{\text{нр}}$, установленной в таблице 12 СП 50.13330, то этот пол удовлетворяет требованиям в отношении теплоусвоения; если $Y_{\text{пол}} > Y_{\text{пол}}^{\text{нр}}$, то следует взять другую конструкцию пола или изменить толщины некоторых его слоев до удовлетворения требованиям $Y_{\text{пол}} \leq Y_{\text{пол}}^{\text{нр}}$.

Пример выполнения задания

Задача. Определить, удовлетворяет ли в отношении теплоусвоения требованиям СП 50.13330 конструкция пола жилого здания из поливинилхлоридного линолеума толщиной 15 мм на теплозвукоизолирующей подоснове из стеклянного волокна толщиной 2 мм, наклеенного холодной битумной мастикой 1 мм на железобетонную плиту перекрытия 140 мм для условий строительства г. Краснодара.

Исходные данные. Зона влажности района строительства приложение В СП 50.13330 - 3 (сухая), условия эксплуатации ограждающих конструкций таблица 2 СП 50.13330 - «А» Теплотехнические характеристики отдельных слоев конструкции пола устанавливаем по приложению Т СП 50.13330 (при их нумерации сверху вниз), приведены в таблице 1.

Решение. Определим тепловую инерцию слоев пола по формуле (4):

$$D_1 = R_1 s_1 = 0,0045 \cdot 7,52 = 0,034;$$

$$D_2 = R_2 s_2 = 0,043 \cdot 0,92 = 0,04;$$

$$D_3 = R_3 s_3 = 0,0059 \cdot 4,56 = 0,027;$$

$$D_4 = R_4 s_4 = 0,08 \cdot 16,77 = 1,34.$$

Таблица 1: Теплотехнические характеристики слоев конструкции пола

Номер слоя	Материал	Толщина слоя δ , м	Плотность материала в сухом состоянии ρ_0 , кг/м ³	Коэффициенты при условиях эксплуатации А		Термическое сопротивление R , м ² ·°C/Вт
				теплопроводности λ , Вт/(м·°C)	теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°C)	
1	Лицевой слой из линолеума	0,0015	1600	0,33	7,52	0,0045
2	Подоснова	0,002	150	0,047	0,92	0,043
3	Битумная мастика	0,001	1000	0,17	4,56	0,0059
4	Плита перекрытия	0,14	2400	1,74 2,04	16,77 18,95	0,08 0,068

Так как суммарная тепловая инерция первых трех слоев $D_1 + D_2 + D_3 = 0,034 + 0,04 + 0,027 = 0,101 < 0,5$, но суммарная тепловая инерция четырех слоев $0,101 + 1,34 = 1,441 > 0,5$, то показатель теплоусвоения поверхности пола определяем последовательно с учетом четырех слоев конструкции пола с помощью формул (2) и (3), начиная с третьего:

$$Y_3 = (2R_3 s_3^2 + s_4)/(0,5 + R_3 s_4) = (2 \cdot 0,0059 \cdot 4,56^2 + 16,77)/(0,5 + 0,0059 \cdot 16,77) = 28,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)};$$

$$Y_2 = (4R_3 s_3^2 + Y_4)/(1 + R_2 Y_3) = (4 \cdot 0,043 \cdot 0,92^2 + 28,4)/(1 + 0,043 \cdot 28,4) = 12,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)};$$

$$Y_1 = Y_n = (4R_1 s_1^2 + Y_2)/(1 + R_1 Y_2) = (4 \cdot 0,0045 \cdot 7,52^2 + 12,9)/(1 + 0,0045 \cdot 12,9) = 13,2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Значение показателя теплоусвоения поверхности пола для жилых зданий согласно таблице 12 СП 50.13330 не должно превышать нормируемых

значений. Для жилых зданий нормируемое значение показателя теплоусвоения пола $Y_{nol}^{mp} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, расчетное значение показателя теплоусвоения данной конструкции $Y_{nol} = 13,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Следовательно, рассматриваемая конструкция пола в отношении теплоусвоения не удовлетворяет требованиям СП. Определим показатель теплоусвоения поверхности данной конструкции пола в том случае, если по плите перекрытия будет устроена стяжка из шлакопемзобетона:

$\delta = 0,02 \text{ м}$, $\rho_0 = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda = 0,37 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, $s = 5,83 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $R = 0,054 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, $D = 0,315$). Конструкция пола в этом случае будет состоять из пяти слоев.

Так как суммарная тепловая инерция первых четырех слоев:

$$D_1 + D_2 + D_3 + D_4 = 0,034 + 0,04 + 0,027 + 0,315 = 0,416 < 0,5,$$

но суммарная тепловая инерция пяти слоев:

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

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

Определим показатель теплоусвоения поверхности четвертого, третьего, второго и первого слоев пола по формулам (2) и (3):

$$Y_4 = (2R_4s_4^2 + s_5)/(0,5 + R_4s_5) = (2 \cdot 0,054 \cdot 5,83^2 + 16,77)/(0,5 + 0,054 \cdot 16,77) = 14,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Y_3 = (4R_3s_3^2 + Y_4)/(1 + R_3Y_4) = (4 \cdot 0,0059 \cdot 4,56^2 + 14,5)/(1 + 0,0059 \cdot 14,5) = 13,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Y_2 = (4R_2s_2^2 + Y_3)/(1 + R_2Y_3) = (4 \cdot 0,043 \cdot 0,92^2 + 13,82)/(1 + 0,043 \cdot 13,82) = 8,78 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Y_1 = Y_n(4R_1s_1^2 + Y_2)/(1 + R_1Y_2) = (4 \cdot 0,0045 \cdot 7,52^2 + 8,78)/(1 + 0,0045 \cdot 8,78) = 9,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Таким образом, устройство по плите перекрытия стяжки из шлакопемзобетона ($\rho_0 = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$) толщиной 20 мм уменьшило значение

показателя теплоусвоения поверхности пола с 13,2 до 9,4 Вт/(м²·°C). Следовательно, эта конструкция пола в отношении теплоусвоения удовлетворяет нормативным требованиям, так как значение показателя теплоусвоения поверхности не превышает величины $Y_{пол}^{np} = 12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ - нормируемого показателя теплоусвоения пола для жилых зданий.

Задание

Выполнить расчет теплоусвоения пола гражданского здания согласно индивидуального задания

Вопросы к практическому занятию

1. Дать определение понятиям термическое сопротивление, тепловая инерция, коэффициент теплоусвоения.
2. Что характеризует величина теплоусвоения?
3. С какой целью проводится данный расчет?
4. Для каких зданий не нормируется показатель теплоусвоения?
5. Каков порядок расчета величины теплоусвоения пола?
6. Каким образом возможно изменение величины теплоусвоения пола?

Рекомендуемая литература

Основная: [1,2]

Дополнительная: [3, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 20]

Практическое занятие 7

Построение расчетной частотной характеристики изоляции воздушного шума ограждающей конструкции

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками построения расчетной частотной характеристики изоляции воздушного шума внутренних ограждающих конструкций гражданских зданий.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен овладеть методикой построения расчетной частотной изоляции воздушного шума внутренних ограждающих конструкций.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

Расчет величины индекса изоляции позволяет правильно выбрать конструкцию внутренних ограждений зданий, создать комфортный акустический режим.

Теоретическая часть

Индекс изоляции воздушного шума однослойными ограждающими конструкциями, а также двухслойными глухими остеклениями и перегородками, выполненными в виде двух облицовок по каркасу с воздушным промежутком, следует определять на основании рассчитанной частотной характеристики изоляции воздушного шума. Индекс изоляции воздушного шума перекрытиями с полом по упругому основанию и индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием определяются непосредственно (без построения расчетных частотных характеристик). Допускается при ориентировочных расчетах определять индекс изоляции воздушного шума однослойными массивными ограждающими конструкциями (с поверхностной плотностью от 100 до 800 кг/м^2) непосредственно без построения расчетной частотной характеристики изоляции воздушного шума.

Частотную характеристику изоляции воздушного шума однослойной плоской ограждающей конструкцией сплошного сечения с поверхностной плотностью от 100 до 800 кг/м^2 из бетона, железобетона, кирпича и тому подобных материалов следует определять, изображая ее в виде ломаной линии, аналогичной линии ABCD на рисунке 1.

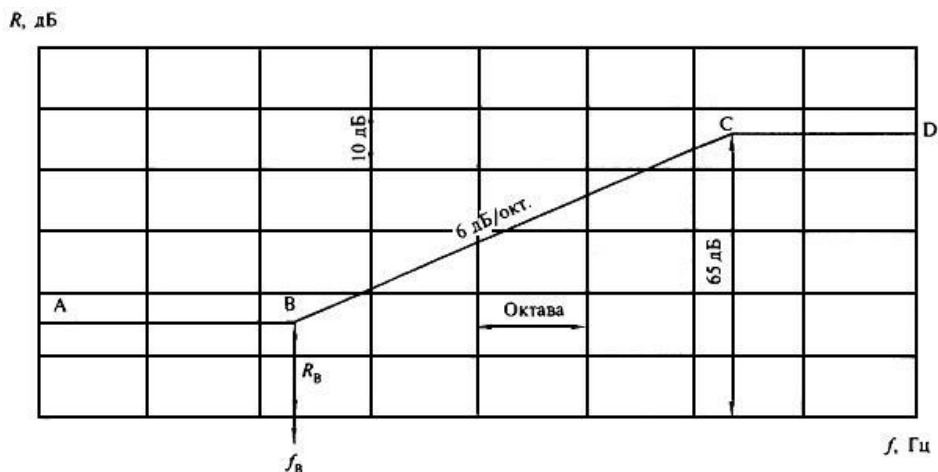


Рисунок 1: Частотная характеристика изоляции воздушного шума однослойным плоским ограждением.

Абсциссу точки B — f_0 следует определять по *таблице 1* настоящих указаний в зависимости от толщины и плотности материала конструкции. Значение f_0 следует округлять до среднегеометрической частоты в пределах

которой находится f_g . Границы третьооктавных полос приведены в таблице 2 настоящих указаний.

Т а б л и ц а 1: Значение абсциссы точки В.

Плотность бетона ρ , кг/м	f_g , Гц
1800	29000/h
1600	31000/ h
1400	33000/ h
1200	35000/ h
1000	37000/ h
800	39000/ h
600	40000/ h

П р и м е ч а н и е: 1. В таблице h – толщина ограждения. 2. Для промежуточных значений ρ , кг/м частота f_g , Гц определяется интерполяцией.

Т а б л и ц а 2: Границы третьооктавных полос.

Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы	Границы 1/3-октавной полосы
50	45-56
63	57-70
80	71-88
100	89-111
125	112-140
160	141-176
200	177-222
250	223-280
315	281-353
400	354-445
500	446-561
630	562-707
800	708-890
1000	891-1122
1250	1123-1414
1600	1415-1782
2000	1783-2244
2500	2245-2828
3150	2829-3563
4000	3564-4489
5000	4490-5657

Ординату точки В– R_g следует определять в зависимости от эквивалентной поверхностной плотности m_s по формуле:

$$R_g = 20 \lg m_s - 12, \text{ дБ}; \quad (1)$$

Значение R_g следует округлять до 0,5 дБ.

Т а б л и ц а 3: Коэффициент K для сплошных ограждающих конструкций из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов, кладки из кирпича и пустотелых керамических блоков.

Вид материала	Класс	Плотность, $кг/м^3$	K
Керамзитобетон	В7,5	1500-1550	1, 1
		1300-1450	1,2
		1200	1,3
		1100	1,4
	В12,5-В15	1700-1750	1,1
		1600-1650	1,2
		1350-1450	1,3
		1250	1,4
Перлитобетон	В7,5	1400-1450	1,2
		1300-1350	1,3
		1100-1200	1,4
		950-1000	1,5
Шлакопемзобетон	В7,5	1600-1700	1,2
	В12,5	1700-1800	1,2
Газобетон, пенобетон, газосиликат	В5,0	1000	1,5
		800	1,6
		600	1,7
Кладка из кирпича,пустотелых керамических блоков		1500-1600	1,1
		1200-1400	1,2
Гипсобетон, гипс (в том числе поризованный или с легкими заполнителями)	В7,5	1300	1,3
		1200	1,4
		1000	1,5
		800	1,6

Эквивалентная плотность m_g определяется по формуле

$$m_g = K \cdot m, кг/м^2; \quad (2)$$

где: m – поверхностная плотность, $кг/м^2$ (для ребристых конструкций принимается без учета ребер);

K – коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью.

Для сплошных ограждающих конструкций плотностью 1800 кг/м^3 и более $K=1$.

Для сплошных ограждающих конструкций из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов, кладки из кирпича и пустотелых керамических блоков коэффициент K определяется по таблице 3 настоящих указаний.

Построение частотной характеристики производится в следующей последовательности: из точки B влево проводится горизонтальный отрезок BA , а вправо от точки B проводится отрезок BC с наклоном 6 дБ на октаву до точки C с ординатой $R_c=65 \text{ дБ}$, из точки C вправо проводится горизонтальный отрезок CD . Если точка C лежит за пределами нормируемого диапазона частот ($f_c > 3150 \text{ Гц}$), отрезок CD отсутствует.

Пример выполнения задания

Задача. Построить частотную характеристику изоляции воздушного шума межкомнатной перегородкой 10-ти этажного жилого дома. перегородкой из тяжелого бетона плотностью 2300 кг/м^3 и толщиной 100 мм .

Исходные данные. Перегородка толщиной 100 мм выполнена из тяжелого бетона плотностью 2300 кг/м^3 .

Решение. Построение частотной характеристики производим в соответствии с рисунком 1. Находим частоту, соответствующую точке B , по таблице 1:

$$f_s = 29000/h = 29000/100 = 290, \text{ Гц}$$

Округляем до среднегеометрической частоты $1/3$ -октавной полосы, в пределах которой находится f_s ($f_s=315 \text{ Гц}$).

Определяем поверхностную плотность ограждения:

$$m = \rho \cdot h,$$

в данном случае $m = 2300 \cdot 0,1 = 230 \text{ кг/м}^2$.

Определяем ординату точки B по формуле (1), учитывая, что в нашем случае $K=1$:

$$R_6 = 20 \lg m_3 - 12 = 20 \lg 230 - 12 = 35,2 \text{ дБ}.$$

Округляем и принимаем $R_6 = 35 \text{ дБ}$.

Из точки B влево проводим горизонтальный отрезок BA , вправо от точки B – отрезок BC с наклоном 6 дБ на октаву до точки C с ординатой 65 дБ . Точка C соответствует частоте 10000 Гц т.е. находится за пределами нормируемого диапазона частот.

Рассчитанная частотная характеристика изоляции воздушного шума рассмотренной перегородкой приведена на рисунке 2.

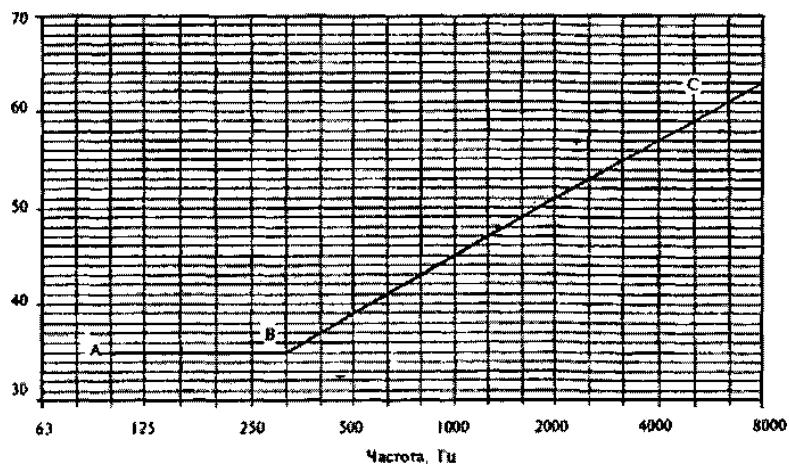


Рисунок 2 - Расчетная частотная характеристика к задаче 1.

В нормируемом диапазоне частот изоляция воздушного шума составляет - *таблица 4.*

Т а б л и ц а 4: Значение изоляции воздушного шума проектируемой конструкции.

f, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R, дБ	35	35	35	35	35	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55

На основании выполненного построения кривой изоляции от воздушного шума получена расчетная частотная характеристика проектируемой конструкции.

Задание

Построить частотные характеристики звукоизоляции от воздушного шума проектируемого здания и привести соответствующие расчетные частотные характеристики

Вопросы к практическому занятию

1. Привести примеры конструктивного решения перегородок и перекрытий гражданского здания
2. На основании чего определяется индекс изоляции воздушного шума перегородок гражданского здания
3. Как определяется индекс изоляции воздушного шума перекрытий гражданского здания
4. Последовательность построения частотной характеристики изоляции воздушного шума однослойным плоским ограждением

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [1, 3, 4, 6, 9, 10, 14, 20, 21]

Практическое занятие 8

Определение величины индекса изоляции воздушного шума R_w

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками определения индекса изоляции воздушного шума R_w ограждающих конструкций зданий.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен овладеть правилами определения индекса изоляции воздушного шума R_w и делать вывод о возможности применения рассчитываемой конструкции в проектируемом здании.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

При разработке объемно-планировочного решения гражданского здания проведение звукоизоляционных расчетов является важным и необходимым для создания комфортных условий для людей находящихся в здании.

Теоретическая часть

Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций должен проводиться при разработке новых конструктивных решений ограждений, применении

новых строительных материалов и изделий по СП 51.13330. Окончательная оценка звукоизоляции таких конструкций должна проводиться на основании натурных испытаний по ГОСТ 27296-87.

Нормируемым параметром звукоизоляции внутренних вертикальных ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий производственных предприятий является индекс изоляции воздушного шума ограждающей конструкции $R_w, дБ$. Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий следует определять по таблице 1 СП 51.13330. Нормируемым параметром звукоизоляции наружных ограждающих конструкций (в том числе окон, остеклений) является звукоизоляция $R_{Атран}, дБ_A$, представляющая собой изоляцию внешнего шума, производимого потоком городского транспорта.

Нормативные значения индексов изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями R_w , для жилых, общественных зданий, а также для вспомогательных зданий производственных предприятий приведены в таблице 1 СП 51.13330 для категорий зданий A , B и B :

категория A - высококомфортные условия;

категория B - комфортные условия;

категория B - предельно допустимые условия.

Категория здания определяется техническим заданием на проектирование.

Требуемую звукоизоляцию ограждающих конструкций, отделяющих защищаемые от шума помещения от помещений с источниками шума, не характерными для помещений, следует определять в виде изоляции воздушного шума $R_{тр}, дБ$, в октавных полосах частот нормируемого диапазона.

В случаях, когда ограждающая конструкция состоит из нескольких частей с различной звукоизоляцией (стена с окном и дверью), определенные величины относятся к общей величине звукоизоляции данной составной ограждающей конструкции. Если ограждающая конструкция состоит из двух частей с сильно

различающейся звукоизоляцией, то требуемую звукоизоляцию допускается определять только для слабой части ограждающей конструкции.

Методика определения индекса изоляции воздушного шума R_w

Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ, ограждающей конструкции с известной (рассчитанной или измеренной) частотной характеристикой изоляции воздушного шума определяют путем сопоставления этой частотной характеристики с оценочной кривой, приведенной в таблице 1 п.1 настоящих указаний.

Для определения индекса изоляции воздушного шума R_w , необходимо определить сумму неблагоприятных отклонений данной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считаются отклонения вниз от оценочной кривой.

Если сумма неблагоприятных отклонений максимально приближается к 32 дБ, но не превышает эту величину, величина индекса R_w , составляет 52 дБ.

Если сумма неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ, оценочная кривая смещается вниз (на целое число децибел) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной оценочной кривой максимально приближалась к 32 дБ, но не превышала указанную величину.

Если сумма неблагоприятных отклонений значительно меньше 32 дБ или неблагоприятные отклонения отсутствуют, оценочная кривая смещается вверх (на целое число децибел) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной оценочной кривой максимально приближалась к 32 дБ, но не превышала эту величину.

За величину индекса R_w , принимается ордината смещенной (вверх или вниз) оценочной кривой в третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500

Т а б л и ц а 1: Данные по оценочной кривой индекса изоляции воздушного шума $R_w, \text{дБ}$,

N	Параметры	Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, Гц														
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
1	Изоляция воздушного шума $R_w, \text{дБ}$	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56

Пример выполнения задания

Задача. Определить индекс изоляции воздушного шума межкомнатной перегородкой 9-ти этажного крупнопанельного жилого дома с известной расчетной частотной характеристикой.

Исходные данные. Известна расчетная частотная характеристика перегородки. Значения оценочной кривой индекса изоляции воздушного шума $R_w, \text{дБ}$ приведены в таблице 1 настоящих указаний.

Решение. Расчет проводится по форме таблицы (таблица 2).

Вносим в таблицу значения расчетной частотной характеристики изоляции от воздушного шума (*n.1*) и оценочной кривой индекса изоляции воздушного шума (*n.2*). Находим неблагоприятные отклонения расчетной частотной характеристики от оценочной кривой (*n.3*), разница между (*n.2*) и (*n.1*). Сумма неблагоприятных отклонений составила 105 дБ , что значительно больше 32 дБ . Смещаем оценочную кривую вниз на 7 дБ ($105/16 \approx 7$, где 16 – число октавных полос) и находим сумму неблагоприятных отклонений уже от смещенной оценочной кривой. На этот раз она составляет 28 дБ , что менее 32 дБ . За величину индекса изоляции воздушного шума принимаем значение смещенной оценочной кривой в $1/3$ -октавной полосе 500 Гц , т.е. $R_w = 45 \text{ дБ}$.

Сравнивая полученное значение с величинами требуемых нормативных значений индексов изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями $R_w, \text{дБ}$, таблица 2 СП 51-13330, можно

сделать вывод о возможности применения данной перегородки в домах любой категории.

Т а б л и ц а 2: Определение индекса изоляции воздушного шума R_w .

N п.п.	Параметры	Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц														
			125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
1	Расчетная частотная характеристика.. R_w ,	36	36	36	36	36	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
2	Оценочная кривая, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56
3	Неблагоприятные отклонения, дБ			3	6	9	12	13	12	11	10	9	8	6	4	2
4	Оценочная кривая, смещенная вниз на 7 дБ	26	29	32	35	38	41	44	45	46	47	48	49	49	49	49
5	Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ					2	5	6	5	4	3	2	1			
6	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ									45	«					

Задание

Определить индекс изоляции воздушного шума внутренней вертикальной ограждающей конструкции проектируемом здании согласно индивидуального задания.

Вопросы к практическому занятию

1. В каких случаях необходимо проведение звукоизоляционных расчетов?
2. Какие параметры являются нормируемыми звукоизоляционными параметрами?
3. Какие конструкции здания следует подвергать звукоизоляционному расчету?
4. Что определяет так называемая категория здания?
5. Как определяется величина требуемой звукоизоляции?
6. Как определяется величина звукоизоляции конструкции состоящей из нескольких частей?
7. Какова методика определения величины индекса звукоизоляции от воздушного шума?

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 14, 19, 20, 21]

Практическое занятие 9

Определение величины индекса приведенного уровня ударного шума L_{nw}

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками определения величины индекса приведенного уровня ударного шума L_{nw} .

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен овладеть правилами определения величины индекса приведенного уровня ударного шума L_{nw} , делать вывод о возможности применения данной конструкции перекрытия в проектируемом здании.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

При разработке объемно-планировочного решения проектируемого гражданского здания проведение звукоизоляционных расчетов является важным и необходимым для создания комфортных условий для людей находящихся в здании.

Теоретическая часть

Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций должен проводиться при разработке новых конструктивных решений ограждений, применении

новых строительных материалов и изделий по СП 51.13330. Окончательная оценка звукоизоляции таких конструкций должна проводиться на основании натурных испытаний по ГОСТ 27296-87.

Нормируемыми параметрами звукоизоляции горизонтальных внутренних ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий производственных предприятий являются индексы приведенного уровня ударного шума L_{nw} , дБ (для перекрытий). Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий следует определять по таблице 1 СП51.13330.

Нормативные значения индексов приведенного уровня ударного шума L_{nw} для жилых, общественных зданий, а также для вспомогательных зданий производственных предприятий приведены в таблице 1 для категорий зданий *A*, *B* и *B*:

категория *A* - высококомфортные условия;

категория *B* - комфортные условия;

категория *B* - предельно допустимые условия.

Категория здания определяется техническим заданием на проектирование.

Требуемую звукоизоляцию ограждающих конструкций, отделяющих защищаемые от шума помещения от помещений с источниками шума, не характерными для помещений, следует определять в виде изоляции воздушного шума R_{mp} , дБ, в октавных полосах частот нормируемого диапазона.

Если ограждающая конструкция состоит из двух частей с сильно различающейся звукоизоляцией, то требуемую звукоизоляцию допускается определять только для слабой части ограждающей конструкции.

Методика определения индекса приведенного уровня ударного шума L_{nw} , дБ.

Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} , дБ, для перекрытия с известной частотной характеристикой приведенного уровня ударного шума

определяется путем сопоставления этой частотной характеристики с оценочной кривой, приведенной в таблице 1 п.2.

Для вычисления *индекса приведенного уровня ударного шума L_{nw}* необходимо определить сумму *неблагоприятных отклонений* данной частотной характеристики от оценочной кривой. Неблагоприятными считаются отклонения *вверх* от оценочной кривой.

Если сумма неблагоприятных отклонений *максимально приближается к 32 дБ, но не превышает эту величину*, величина индекса L_{nw} составляет 60 дБ.

Если сумма неблагоприятных отклонений *превышает 32 дБ*, оценочная кривая смещается *вверх* (на целое число децибел) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной кривой *максимально приближалась к 32 дБ, но не превышала указанную величину*.

Если сумма неблагоприятных отклонений *значительно меньше 32 дБ* или *неблагоприятные отклонения отсутствуют*, оценочная кривая смещается *вниз* (на целое число децибел) так, чтобы сумма неблагоприятных отклонений от смещенной кривой *максимально приближалась к 32 дБ, но не превышала эту величину*.

За величину индекса L_{nw} принимается ордината смещенной (вверх или вниз) оценочной кривой в третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц.

Т а б л и ц а 1: Данные по оценочной кривой индекса приведенного уровня ударного шума R_w , дБ.

N п.п.	Параметры	Среднегеометрические частоты третьоктавных полос, Гц														
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
1	Приведенн ур ударного шума, L_{nw} , дБ	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45

Пример выполнения задания

Задача. Определить индекса приведенного уровня ударного шума под перекрытием проектируемого здания.

Исходные данные. Известна частотная характеристика приведенного уровня ударного шума L_{nw} для перекрытий. Оценочная кривая частотной характеристики приведенного уровня ударного шума под перекрытием L_{nw} дана в таблице 1 (п.2).

Решение. Расчет проводится по форме таблицы (таблица 2).

Т а б л и ц а 2: Определение приведенного уровня ударного шума L_{nw} .

N п.п.	Параметры	Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц														
			125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
1	Приведенный уровень ударного шума L_n , дБ	59	60	65	65	63	62	60	58	54	50	46	43	43	41	37
2	Оценочная кривая, дБ	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45
3	Неблагоприятные отклонения, дБ			3	3	1										
4	Оценочная кривая, смещенная вниз на 4 дБ	58	58	58	58	58	58	57	56	55	54	53	50	47	44	41
5	Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ	1	2	7	7	5	4	3	2							
6	Индекс приведенного уровня ударного шума L_{nw} , дБ									56						

Вносим в таблицу значения расчетной частотной характеристики ударного шума (п.1) и оценочной кривой приведенного уровня ударного шума под перекрытием L_n , дБ (п.2). Находим неблагоприятные отклонения частотной характеристики приведенного уровня ударного шума от оценочной кривой (п.3)

разница между (n.2) и (n.1). Сумма неблагоприятных отклонений составила 7 дБ, что значительно меньше 32 дБ. Смещаем оценочную кривую вниз на 4 дБ и находим неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой. Сумма неблагоприятных отклонений в этом случае составила 31 дБ, что меньше 32 дБ. За величину индекса приведенного уровня ударного шума принимаем значение смещенной кривой в 1/3-октавной полосе 500 Гц, т.е. $L_{nw} = 56$ дБ.

Сравнивая полученное значение с величинами требуемых нормативных значений индексов изоляции приведенного уровня ударного шума под перекрытием L_{nw} , дБ, таблица 2 СП 51-13330, можно сделать вывод о возможности применения данной конструкции.

Задание

Определить индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием в проектируемом здании согласно индивидуального задания.

Вопросы к практическому занятию

1. В каких случаях необходимо проведение звукоизоляционных расчетов?
2. Какие параметры являются нормируемыми звукоизоляционными параметрами?
3. Какие конструкции здания следует подвергать звукоизоляционному расчету?
4. Что определяет так называемая категория здания?
5. Как определяется величина требуемой звукоизоляции?
6. Как определяется величина звукоизоляции конструкции состоящей из нескольких частей?
7. Какова методика определения величины индекса звукоизоляции?

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 14, 20, 21]

Практическое занятие 10

Расчет звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций зданий

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками выполнения расчета изоляции внутренних ограждающих конструкций гражданских зданий.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен овладеть методикой расчета звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

Расчет величины индекса изоляции позволяет правильно выбрать конструкцию внутренних ограждений зданий, создать комфортный акустический режим.

Теоретическая часть

Для обеспечения хорошей изоляции помещений от постоянных звуков, называемых шумами, необходимо подбирать ограждающие

конструкции на основании акустического расчета и предусматривать специальные мероприятия для снижения уровня шума.

Изоляция воздушного шума (звукоизоляция) - способность ограждающей конструкции уменьшать проходящий через нее звук. В общем виде представляет собой десятикратный десятичный логарифм отношения падающей на ограждение звуковой энергии к энергии, проходящей через ограждение. Под *звукоизоляцией воздушного шума* подразумевается обеспечиваемое разделяющим два помещения ограждением снижение уровней звукового давления в дБ, приведенное к условиям равенства площади ограждающей конструкции и эквивалентной площади звукопоглощения в защищаемом помещении

Частотная характеристика изоляции воздушного шума - величина изоляции воздушного шума дБ, в третьоктавных полосах частот в диапазоне 100-3150 Гц (в графической или табличной форме).

Индекс изоляции воздушного шума - величина, служащая для оценки звукоизолирующей способности ограждения одним числом. Определяется путем сопоставления частотной характеристики изоляции воздушного шума с оценочной кривой в дБ.

Расчет звукоизоляции ограждающих конструкций должен проводиться при разработке конструктивных решений ограждений, применении новых строительных материалов и изделий. Окончательная оценка звукоизоляции таких конструкций должна проводиться на основании испытаний по ГОСТ 27296 -2012.

Индекс изоляции воздушного шума однослойными ограждающими конструкциями, а также двухслойными с глухими остеклениями и перегородками, выполненными в виде двух облицовок по каркасу с воздушным промежутком, следует определять на основании рассчитанной частотной характеристики изоляции воздушного шума. Индекс изоляции воздушного шума перекрытиями с полом по упругому основанию и индекс

приведенного уровня ударного шума под перекрытиями определяются непосредственно (без построения расчетных, частотных характеристик). Допускается при ориентировочных расчетах определять индекс изоляции воздушного шума однослойными массивными ограждающими конструкциями (с поверхностной плотностью от 100 до 1000 кг/м^2) непосредственно без построения расчетной частотной характеристики изоляции воздушного шума. Частотную характеристику изоляции воздушного шума акустически однородной (однослойной) плоской ограждающей конструкцией сплошного сечения с поверхностной плотностью от 100 до 1000 кг/м^2 из бетона, железобетона, кирпича и тому подобных материалов следует определять, изображая ее в виде ломаной линии, аналогичной линии ABCD.

Методика расчета звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций зданий

1. Определяем материал и толщину ограждающих конструкций рассчитываемого помещения.
2. В случае наличия в ограждающих конструкциях дверных и оконных проемов, щелей, отверстий – рассчитываем их площади, а также площади ограждающих конструкций.
3. Звукоизоляцию на среднегеометрических частотах третьоктавных полос каждой из ограждающих конструкций рассчитываем графическим методом. В случае наличия дверных и оконных проемов, их звукоизоляция на среднегеометрических частотах третьоктавных полос определяется согласно справочным данным.
4. В случае наличия в ограждающих конструкциях дверных и оконных проемов, щелей, отверстий – по формулам (3.10–3.11) рассчитываем суммарную звукоизоляцию комбинированных ограждающих конструкций на всех среднегеометрических частотах третьоктавных полос.
5. Строим частотные характеристики ограждающих конструкций, подтверждая точность построения методом интерполяции.

6. Недостающие значения звукоизоляции на среднегеометрических частотах третьоктавных полос определяем графоаналитическим методом по построенным частотным характеристикам.

7. Определяем индекс звукоизоляции каждой ограждающей конструкцией. Для этого рассчитываем сумму неблагоприятных отклонений частотной характеристики ограждающей конструкции от нормативной кривой.

8. Согласно существующей методике определяем величину индекса звукоизоляции. За величину индекса звукоизоляции принимают ординату смещенной вверх или вниз оценочной кривой в третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц.

9. Из полученных значений индексов звукоизоляции каждой ограждающей конструкции выбираем наименьший. Он и будет являться индексом звукоизоляции помещения.

10. Сравниваем полученное значение индекса звукоизоляции помещения с нормативным значением в третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц.

11. Если полученное значение не меньше нормативного, то присваиваем рассчитываемому помещению соответствующую категорию.

Пример выполнения задания

Задача. Определить индексы изоляции воздушного шума ограждающих конструкций в рабочей комнате размерами $3,3 \times 6 \times 8$ м, построить частотные характеристики, определить категорию помещения. Ограждение комнаты состоит из следующих конструкций: внутренняя железобетонная перегородка толщиной 120 мм; внутренняя железобетонная перегородка толщиной 120 мм с типовой дверью $2,2 \times 0,9$ м; внешняя оштукатуренная кирпичная стена толщиной окном $2 \times 0,8$ м с двойным остеклением (толщина стекла 4 мм) с воздушным промежутком в 57 мм.

Решение. Расчет звукоизоляции следует выполнять, рассчитав индекс изоляции отдельно для каждой конструкции. Определим величину звукоизоляции железобетонной перегородки толщиной 120 мм, перегородка выполнена из железобетона класса В7,5 плотностью 1400 кг/м³.

Построим частотную характеристику изоляции воздушного шума, согласно 9-му практическому занятию данных указаний.

Находим частоту, соответствующую точке В, по таблице 1, при $\rho=1400 \text{ кг/м}^3$ она составит:

$$f_6 = 33000/120 = 275 \approx 250 \text{ Гц}$$

Округляем до среднегеометрической частоты 1/3-октавной полосы, в пределах которой находится f_6 .

Определяем поверхностную плотность ограждения:

$$m = \rho \cdot h = 1400 \cdot 0,12 = 168 \text{ кг/м}^2;$$

Определяем ординату точки В. По таблице 3 находим коэффициент $K=1,2$ следовательно эквивалентная поверхностная плотность составляет:

$$m_3 = 168 \cdot 1,2 = 201,6 \text{ кг/м}^2,$$

а величина:

$$R_6 = 20 \lg 201,6 - 12 = 34 \text{ дБ}.$$

Из точки В влево проводим горизонтальный отрезок ВА, а вправо от точки В отрезок ВС с наклоном 6 дБ на октаву до точки С с ординатой 65 дБ. Точка С в нашем случае находится за пределами нормируемого диапазона частот (рисунок 1).

На основании выполненного построения кривой изоляции от воздушного шума получена расчетная частотная характеристика проектируемой конструкции.

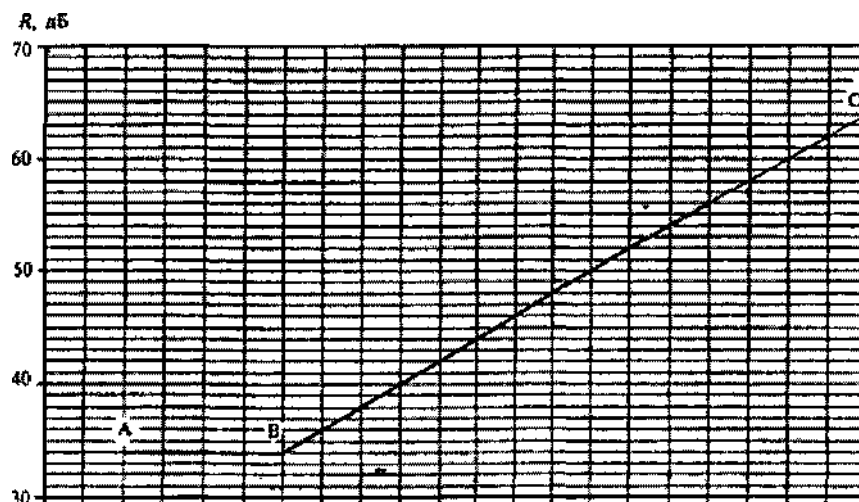


Рисунок 1: Расчетная частотная характеристика к задаче 2.

Расчет проводится по форме таблицы (таблица 1) согласно 8-му практическому занятию. Вносим в таблицу значения расчетной частотной характеристики изоляции от воздушного шума ($n.1$) и оценочной кривой индекса изоляции воздушного шума ($n.2$). Находим неблагоприятные отклонения расчетной частотной характеристики от оценочной кривой ($n.3$), разница между ($n.2$) и ($n.1$). Сумма неблагоприятных отклонений составила 107 дБ , что значительно больше 32 дБ . Смещаем оценочную кривую вниз на 7 дБ ($107/16 \approx 7$, где 16 – число октавных полос) и находим сумму неблагоприятных отклонений уже от смещенной оценочной кривой. На этот раз она составляет 28 дБ , что менее 32 дБ . За величину индекса изоляции воздушного шума принимаем значение смещенной оценочной кривой в $1/3$ -октавной полосе 500 Гц , т.е. величина звукоизоляции составит $R_w = 45 \text{ дБ}$.

По таблице 2 СП 51-13330 звукоизоляция от воздушного шума стены и перегородки между кабинетами и отделяющие кабинеты от рабочих комнат составляет $R_{w \text{ треб}} = 45 \text{ дБ}$, стены и перегородки между офисами различных фирм, между кабинетами различных фирм $R_{w \text{ треб}} = 48 \text{ дБ}$.

Сравнивая полученное значение с величинами требуемых нормативных значений индексов изоляции воздушного шума внутренними ограждающими конструкциями $R_w, \text{дБ}$, таблица 2 СП 51-13330, можно

сделать вывод о возможности применения данной перегородки только в случае ограждающей конструкции между кабинетом и рабочей комнатой.

Т а б л и ц а 1: Определение индекса изоляции воздушного шума R_w .

N п.п.	Параметры	Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы, Гц														
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
1	Расчетная частотная характеристика, R_w	34	34	34	34	34	36	38	40	42	44	46	48	50	54	56
2	Оценочная кривая, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56
3	Неблагоприятные отклонения, дБ			5	8	11	12	13	12	11	10	9	8	6	2	
4	Оценочная кривая, смещенная вниз на 7 дБ	26	29	32	35	38	41	44	45	46	47	48	49	49	49	49
5	Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ					2	5	6	5	4	3	2	1			
6	Индекс изоляции воздушного шума R_w , дБ	-							45	«						

Задание

Выполнить расчет звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций помещения проектируемого здания, сделать вывод о правильности принятых решений.

Вопросы к практическому занятию

1. Дать определение индекса изоляции
2. Что следует понимать под термином «звукоизоляция от воздушного шума»
3. Понятие частотная характеристика звукоизоляции
4. В каких случаях следует проводить расчет звукоизоляции
5. Для каких конструктивных решений внутренних ограждающих конструкций возможна ориентировочная оценка звукоизоляции

6. Порядок выполнения расчета звукоизоляции ограждающих конструкций

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [1, 3, 4, 6, 9, 10, 14, 19, 20, 21]

Практическое занятие 11

Определение времени реверберации в проектируемом помещении

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение методикой расчета времени реверберации в проектируемом помещении.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен усвоить принципы проектирования залов предназначенных для слушания.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующей профессиональной компетенции:

способен участвовать в проектировании объектов строительства и жилищно-коммунального хозяйства, в подготовке расчетного и технико-экономического обоснований их проектов, участвовать в подготовке проектной документации, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и вычислительных программных комплексов (ОПК-6).

Актуальность темы

Расчет времени реверберации позволяет дать приближенную оценку формы и размеров помещения с акустической точки зрения, провести анализ звукового поля в конечном итоге создать комфортный акустический режим.

Теоретическая часть

Одним из основных критериев акустического качества залов является время реверберации T , с. Под *реверберацией* понимается процесс затухания

звука после прекращения звучания источника, происходящий вследствие многократных отражений звуковых волн от ограждающих поверхностей. Время, в течение которого уровень звукового давления уменьшится на 60 дБ после прекращения звучания источника, называется *временем стандартной реверберации* (обычно заменяется термином «время реверберации»). *Оптимальное время реверберации* - стандартное время реверберации, при котором акустика помещения оказывается наилучшей.

Если время реверберации превышает оптимальное значение, то помещение становится гулким, это особенно портит речевые помещения, ухудшая разборчивость речи.

Если меньше оптимального, то звуки в помещении лишены протяженности, что плохо для музыкальных помещений.

Время оптимальной реверберации зависит от размеров, формы помещения и звукопоглощения в нем. Чем меньше звукопоглощение поверхностей проектируемого зала, тем больше количество отражений звука и тем медленнее затихает звук. При увеличении коэффициента звукопоглощения отражающих поверхностей звук ослабляется быстрее и, следовательно, время реверберации уменьшается.

Основные размеры и пропорции зала должны выбираться из следующих условий:

- $L \leq L_{\text{дон}}$ – длина зала L , м, по его центральной оси не должна превышать предельно допустимую длину зала $L_{\text{дон}}$, м;

- $B = S_n / L$ – средняя ширина зала B , м, принимается равной отношению площади пола зала S_n , м^2 , к длине зала по его центральной оси, м;

- $H = V / S_n$ – средняя высота зала H , м, принимается равной отношению общего воздушного объема зала V , м^3 , к площади пола зала S_n , м^2 ;

- L/B – отношение длины зала L , м, к его средней ширине зала B , м, следует принимать в пределах от 1 до 2;

- B/H – отношение средней ширины зала B , м, к его высоте H , м, следует принимать в пределах от 2 до 3.

Прямоугольная форма в плане с плоским горизонтальным потолком допустима только для небольших лекционных залов вместимостью до 200 человек. Во всех других случаях зрительных залов оптимальной формой плана является трапецевидная с углом раскрытия $10-12^\circ$.

Оптимальные величины времени реверберации в диапазоне 500-1000 Гц для залов различного назначения в зависимости от объема зала приведены на рис.1.

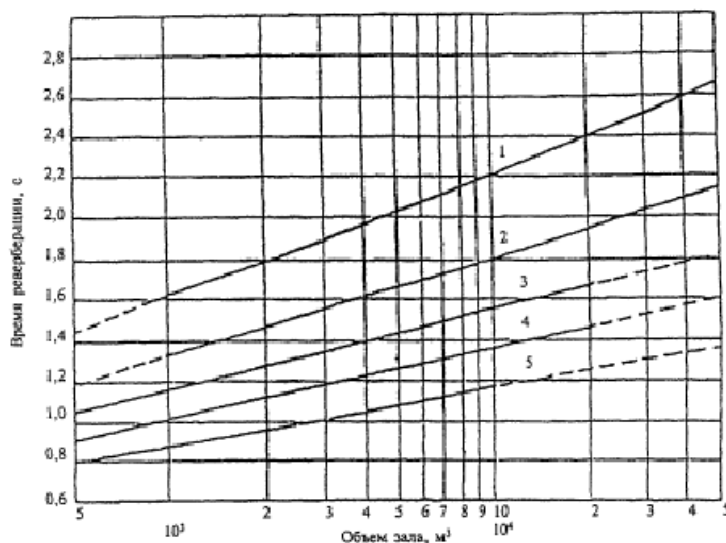


Рисунок 1: Оптимальные величины времени реверберации в диапазоне 500-1000 Гц для залов различного назначения: 1 – залы для ораторий и органной музыки; 2 – залы для симфонической музыки; 3 – залы для камерной музыки, залы оперных театров; 4 – залы многоцелевого назначения, 5 – лекционные залы, залы заседаний, залы драматических театров, кинозалы, пассажирские залы.

Расчет времени реверберации сводится к определению его фактического значения T , с и сравнению с рекомендуемым оптимальным T_{opt} , с. Для определения времени реверберации, достаточно произвести расчет на трех частотах: 125, 500 и 2000 Гц. Подсчет времени реверберации ведется по формуле Эйринга:

$$T = 0,163 \cdot V / (\varphi(\alpha_{cp}) \cdot S_{общ} + n \cdot V), \text{ с}; \quad (1)$$

где: V – объем зала, м³,

$S_{общ}$ – суммарная площадь всех ограждающих поверхностей зала, м²;

α_{cp} – средний коэффициент звукопоглощения в зале;

$\varphi(\alpha_{cp}) = -\ln(1-\alpha_{cp})$ – функция среднего коэффициента звукопоглощения α_{cp} , значения которой приведены в *таблице 1*.

n – коэффициент, учитывающий затухание звука в воздухе. В октавных полосах 125-1000 Гц $n = 0$, в октаве 2000 Гц $n = 0,009$, в октаве 4000 Гц $n = 0,022$.

Т а б л и ц а 1: Значения функции $-\ln(1-\bar{\alpha})$ в зависимости от величины среднего коэффициента звукопоглощения $\bar{\alpha}$ в зале.

$\bar{\alpha}$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,1	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,2	0,21
0,2	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,3	0,32	0,33	0,34
0,3	0,36	0,37	0,39	0,4	0,42	0,43	0,45	0,46	0,48	0,49
0,4	0,51	0,53	0,54	0,56	0,58	0,6	0,62	0,64	0,65	0,67
0,5	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,8	0,82	0,84	0,87	0,89
0,6	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17

Пример. Для $\alpha_{cp} = 0,24$ находим по таблице $-\ln(1-\alpha_{cp}) = 0,27$; для $\alpha_{cp} = 0,32$ по таблице определяем $-\ln(1-\alpha_{cp}) = 0,39$.

Формула (1) позволяет получить время реверберации, которое будет соответствовать реальному только в том случае, если звуковое поле в помещении можно считать достаточно диффузным. Диффузное звуковое поле – звуковое поле в замкнутом объеме, образованное отражениями от поверхностей и характеризуемое равномерным распределением уровня звука и уровня звукового давления по всему объему и равновероятностью направлений прихода звуковых волн в любую точку помещения

Расчет времени реверберации начинается с расчета общей эквивалентной площади звукопоглощения (ЭПЗ). Общая ЭПЗ на частоте, для которой ведется расчет, находится по формуле:

$$A_{общ(125,500,2000)} = \sum \alpha_i S_i + \sum A_{крес,слушат} + \alpha_{доб} S_{общ}; \quad (2)$$

где: $\sum \alpha_i S_i$ – сумма произведений площадей отдельных поверхностей S , m^2 на их коэффициент звукопоглощения разных материалов и конструкций α для данной частоты приведены в таблице 2;

$\Sigma A_{\text{крес,слушат}}$ - сумма ЭПЗ, м^2 слушателей и кресел, которая рассчитывается по формуле (4):

$$\Sigma A_{\text{крес,слушат}} = 0,7 \cdot N \cdot A_{\text{слушат}} + 0,3 \cdot N \cdot A_{\text{крес}}, \quad (3)$$

где: N – общее число кресел в зале;

0,7 - 70 % кресел зала заполнены слушателями, т.к. в расчете времени реверберации зала, как правило, принимается заполнение слушателями 70% общего количества мест;

0,3 - 30 % кресел в зале пусты.

$A_{\text{слушат}}$, $A_{\text{крес}}$ - коэффициенты звукопоглощения разных материалов и конструкций, а также ЭПЗ слушателей и кресел даны в *таблице 3*.

$\alpha_{\text{доб}}$ - коэффициент добавочного звукопоглощения, учитывающий добавочное звукопоглощение, вызываемое прониканием звуковых волн в различные щели и отверстия, колебаниями разнообразных гибких элементов и т. п. Коэффициент этот учитывает также поглощение звука осветительной арматурой и другим оборудованием зала. Коэффициент добавочного звукопоглощения залов в среднем может быть принят равным 0,09 на частоте 125 Гц и 0,05 на частотах 500 — 2000 Гц. Для залов, в которых сильно выражены условия, вызывающие добавочное звукопоглощение (многочисленные щели, отверстия, абажуры, светильников и т.п.), следует эти значения увеличить примерно на 30%, а в залах, где эти условия выражены слабо, примерно на 30% уменьшить.

После нахождения $A_{\text{общ}}$ подсчитывается средний коэффициент звукопоглощения внутренней поверхности зала на данной частоте:

$$\alpha_{\text{ср}} = A_{\text{общ}} / S_{\text{общ}} \quad (4)$$

$A_{\text{общ}}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения (ЭПЗ), м^2 ;

$\alpha_{\text{ср}}$ – средний коэффициент звукопоглощения (КЗП);

$S_{\text{общ}}$ - площадь всех внутренних поверхностей помещения (стены, потолок, пол, сцена и т.д.), м^2 ;

Т а б л и ц а 2: Коэффициент звукопоглощения материалов и конструкций, эквивалентная площадь поглощения зрителей.

Материалы и конструкции	Коэффициенты звукопоглощения для октавных полос, α (Гц)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Стена оштукатуренная окрашенная клеевой краской	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
То же окрашенная масляной краской	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Бетон окрашенный	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Мрамор, гранит	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Штукатурка по металлической сетке	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Панель деревянная толщиной 5-10 мм	0,3	0,15	0,06	0,05	0,04	0,04
Переплеты оконные застекленные	0,3	0,2	0,15	0,1	0,06	0,04
Пол паркетный	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Пол дощатый на лагах	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,09
Линолеум	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Портьеры плюшевые плотностью ткани 0,65 кг/м ²	0,15	0,35	0,55	0,7	0,7	0,65
Проем сцены, оборудованный декорациями	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Киноэкран	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Плиты «Акмигран» 300х300х20 с воздушным промежутком 50 100 мм	0,05 0,15 0,25	0,15 0,55 0,55	0,5 0,55 0,55	0,65 0,65 0,65	0,65 0,65 0,65	0,7 0,7 0,7
Штукатурка гипсовая толщиной 20 мм	0,3	0,25	0,1	0,08	0,05	0,04
Плиты гипсовые перфорированные	0,05	0,2	0,4	0,75	0,55	0,35
Плиты гладкие декоративные с пористым наполнителем без	0,05	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2

Материалы и конструкции	Коэффициенты звукопоглощения для октавных полос, α (Гц)					
	125	250	500	1000	2000	4000
воздушной прослойки						

Т а б л и ц а 3: Эквивалентная площадь звукопоглощения для слушателей и кресел (m^2).

Зрители и кресла	Эквивалентная площадь поглощения, $A_{крес. слуш.} (m^2)$				
	125	250	500	1000	2000
Зритель на кресле мягком и полумягком	0,25	0,3	0,4	0,45	0,45
На жестком кресле	0,2	0,25	0,3	0,35	0,35
Кресло мягкое	0,15	0,2	0,2	0,25	0,3
Кресло полумягкое	0,08	0,1	0,15	0,15	0,2
Кресло обитое искусственной кожей	0,08	0,1	0,12	0,1	0,1
Кресло жесткое с фанерной спинкой и сиденьем	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04

Методика расчета времени реверберации

Последовательность действий при определении времени реверберации зала (расчет ведем в табличной форме):

1. Определяем *объем зала* (V, m^3), площадь каждой из внутренних поверхностей помещения, за исключением площади, занятой зрительскими местами, общую площадь звукопоглощения ($S_{общ}, m^2$).
2. Определяем *оптимальное время реверберации* на трех частотах в зависимости от вычисленного объема и назначения помещения.
3. Определяем *количество зрителей и пустых кресел* из условия 70% - ного заполнения зала: количество зрителей, *чел.*, количество пустых кресел, *шт.*

Заносим в таблицу наименования всех поверхностей, их площади, а также общую площадь $S_{\text{общ}}$.

4. Находим значения эквивалентной площади звукопоглощения каждой из поверхностей перемножая площадь каждой из поверхностей помещения (S) на соответствующий коэффициент звукопоглощения α (для всех трех частот $\alpha \cdot S$). После суммирования этих значений для всех поверхностей получаем звукопоглощение поверхностями помещения (три значения для частот 125, 500 и 2000 Гц).

5. Аналогичные действия производим с эквивалентным звукопоглощением зрителями и пустыми креслами. Перемножаем соответствующие значения на количество зрителей, чел и пустых кресел, шт. В результате получаем Звукопоглощение зрителями и креслами (три значения для частот 125, 500 и 2000 Гц).

6. Для получения значений *добавочного звукопоглощения* перемножаем эти коэффициенты на общую площадь поверхностей помещения ($S_{\text{общ}} \text{ м}^2$).

7. Суммируем значения звукопоглощения поверхностями помещения, зрителями и креслами, а также добавочное звукопоглощение. В результате получили *эквивалентное звукопоглощение* $A_{\text{общ}}$ на трех частотах.

8. Определяем *средний коэффициент звукопоглощения* $\alpha_{\text{ср}} = A_{\text{общ}}/S_{\text{общ}}$, а также функцию среднего коэффициента звукопоглощения $\varphi(\alpha_{\text{ср}}) = -\ln(1-\alpha_{\text{ср}})$ для всех трех частот.

В случае, если $\alpha_{\text{ср}} \leq 0,2$, то расчет времени реверберации $T, \text{с}$, производится по формуле Сэбина:

$$T = 0,163 \cdot V / \alpha_{\text{ср}} \cdot S_{\text{общ}}, \quad (5)$$

В случае, если $\alpha_{\text{ср}} > 0,2$, расчет времени реверберации $T, \text{с}$, производится по формуле Эйринга:

$$T = 0,163 \cdot V / S_{\text{общ}} \cdot \ln(1-\alpha_{\text{ср}}), \text{ с}, \quad (6)$$

9. Определенное расчетное время реверберации $T, \text{с}$, сравнивается с *оптимальным временем реверберации* $T_{\text{опт}}, \text{с}$, учитывая его допусаемые отклонения ($\pm 10\%$).

Пример выполнения задания

Задача. Требуется рассчитать время реверберации проектируемого актового зала на 100 мест прямоугольной формы и размерами в плане 9,0 х 14,9 м с высотой 7,0 м.

Исходные данные. Стены зала кирпичные оштукатуренные и окрашенные водоземulsionной краской; потолок имеет клеевую побелку; полы деревянные с линолеумным покрытием; кресла жесткие. В зале имеется 4 оконных проема с заполнением из стеклопакетов общей площадью 35,2 м² и 2 дверных проёма общей площадью 6,2 м². Объём зала $9,0 \cdot 14,9 \cdot 7,0 = 938,7 \text{ м}^3$.

Коэффициенты звукопоглощения внутренних поверхностей зала для частот 125, 500 и 2000 Гц приведены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4: Коэффициенты звукопоглощения внутренних поверхностей зала.

№ п/п	Наименование внутренней поверхности	Коэффициенты звукопоглощения отделки поверхности для частоты, Гц	
		125	500
1	Стена	0,01	0,01
2	Потолок	0,02	0,02
3	Пол	0,02	0,03
4	Оконные заполнения	0,3	0,15
5	Место, занятое слушателем	0,2	0,3
6	Место, не занятое слушателем	0,02	0,03

Решение. Расчёт ведётся в соответствии с требованиями для трёх частот – 125, 500 и 2000 Гц.

Определяем площади внутренних поверхностей зала:

- стен $S_1 = (9,0 \cdot 2 + 14,9 \cdot 2) \cdot 7 - (35,2 + 6,2) = 299,4 \text{ м}^2$;

- потолка $S_2 = 9,0 \cdot 14,9 = 134,1 \text{ м}^2$;

- пола $S_3 = 9,0 \cdot 14,9 = 134,1 \text{ м}^2$.

Общая площадь внутренних поверхностей зала:

$$S_{\text{общ.}} = 299,4 + 134,1 + 134,1 + 35,2 + 6,2 = 602,8 \text{ м}^2.$$

Данные по определению величин звукопоглощения внутренних поверхностей зала приведены в таблице 5.

Т а б л и ц а 5: Величины звукопоглощения внутренних поверхностей зала.

Частота, Гц	Звукопоглощение поверхностей зала $\alpha \cdot S, \text{м}^2$			
	Стен	Окон	Потолка	Пола
125	2,99	10,56	2,68	2,68
500	2,99	5,28	2,68	4,02
2000	5,98	2,11	5,36	5,36

Определяем сумму эквивалентных площадей звукопоглощения зрителей и свободных мест, $\sum A$:

- на частоте 125 Гц:

$$\sum A^{125} = 70 \cdot 0,2 + 30 \cdot 0,02 = 14 + 0,6 = 14,6 \text{ м}^2;$$

-на частоте 550 Гц:

$$\sum A^{500} = 70 \cdot 0,3 + 30 \cdot 0,3 = 21 + 0,9 = 21,9 \text{ м}^2;$$

-на частоте 2000 Гц:

$$\sum A^{2000} = 70 \cdot 0,35 + 30 \cdot 0,04 = 24,5 + 1,2 = 25,7 \text{ м}^2.$$

Рассчитываем добавочное звукопоглощение в зале, учитывая, что коэффициент добавочного звукопоглощения может быть принят равным 0,09:

- на частоте 125 Гц:

$$\alpha_{\text{доб } 125} S_{\text{общ}} = 0,09 \cdot 602,8 = 54,25 \text{ м}^2;$$

- на частоте 500 Гц:

$$\alpha_{\text{доб } 500} S_{\text{общ}} = 0,04 \cdot 602,8 = 30,14 \text{ м}^2;$$

- на частоте 2000 Гц:

$$\alpha_{\text{доб } 2000} S_{\text{общ}} = 0,04 \cdot 602,8 = 30,14 \text{ м}^2.$$

Определяем полную эквивалентную площадь звукопоглощения в зале $A_{\text{общ}}$:

- на частоте 125 Гц:

$$A_{общ\ 125} = 18,91 + 14,6 + 54,25 = 87,75\ м^2$$

- на частоте 500 Гц:

$$A_{общ\ 500} = 14,97 + 21,9 + 30,14 = 67,01\ м^2;$$

- на частоте 2000 Гц:

$$A_{общ\ 2000} = 18,81 + 25,7 + 30,14 = 74,65\ м^2.$$

Вычисляем средний коэффициент звукопоглощения зала $\alpha_{ср}$ и по его величине, используя *таблицу 1*, находим значения функции φ ($\alpha_{ср}$). Численные значения $\alpha_{ср}$ и φ ($\alpha_{ср}$) заносим в *таблицу 6*.

Т а б л и ц а 6: Величина среднего коэффициента звукопоглощения зала.

Наименование показателей	Частота, Гц	
	125	500
Средний коэффициент звукопоглощения зала, $\alpha_{ср} = A_{общ}/S_{общ}$	87,75/602,8=0,145	67,01/602,8=0,111
Функция среднего коэффициента звукопоглощения, φ ($\alpha_{ср}$)	0,155	0,121

Определяем расчетное время реверберации

- на частоте 125 Гц

$$T_{p\ 125} = 0,163 \cdot 938,7 / (602,8 \cdot 0,155) = 1,63\ с$$

- на частоте 500 Гц

$$T_{p\ 500} = 0,163 \cdot 938,7 / (602,8 \cdot 0,121) = 2,09\ с$$

- на частоте 2000 Гц С учетом коэффициента $n=0,009$ затухания звука в воздухе помещения:

$$T_{p\ 2000} = 0,163 \cdot 938,7 / (602,8 \cdot 0,133 + 0,009 \cdot 938,7) = 1,73\ с$$

Оптимальное время реверберации согласно рис. 1 для объема зала 938,7 $м^3$ на средних частотах (500 – 1000) Гц составляет $T_{opt} = 0,85\ с$.

Для частоты 125 Гц оптимальное время реверберации для лекционных залов обычно возрастает на 20 % по сравнению T_{opt} на частоте 500 Гц. Таким образом, на частоте 125 Гц оптимальное время реверберации составляет

$$T_{opt\ 125} = 0,85 \cdot 1,2 = 1,02 \text{ с.}$$

Результаты позволяют отметить, что расчетное время реверберации значительно превышает численные значения оптимального времени реверберации на всех частотах нормируемого диапазона частот:

$$T_p = 1,63 > T_{opt}^{125} = 1,02 \text{ с}$$

$$T_p = 2,09 > T_{opt}^{500} = 0,85 \text{ с}$$

$$T_p = 1,91 > T_{opt}^{2000} = 0,85 \text{ с}$$

Таким образом, для снижения расчетных значений реверберации необходимо увеличить звукопоглощение в зале.

Задание

Выполнить расчет времени реверберации в проектируемом зале согласно индивидуального задания.

Вопросы к практическому занятию

1. Какое время называют временем реверберации
2. Какая величина называется эквивалентной площадью звукопоглощения
3. Что учитывает средний коэффициент добавочного звукопоглощения
4. Каким образом оцениваются размеры и форма зала с акустической точки зрения
5. Для чего проводят сравнение подсчитанного и рекомендуемого времени реверберации

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [1, 5, 7, 8, 9, 10, 19]

Практическое занятие 12

Расчет среднего коэффициента звукопоглощения ограждающих конструкций проектируемого зала

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение методикой проектирования звукопоглощающей отделки залов.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен усвоить принципы проектирования залов предназначенных для слушания.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

При проектировании зала должно быть обращено серьезное внимание на звукопоглощение его ограждающих поверхностей. Выбор материалов отделки внутренних поверхностей ограждающих конструкций с оптимальным звукопоглощением позволит создать комфортный акустический режим.

Теоретическая часть

Неудачный выбор материалов для отделки помещения, приводящий к избыточной гулкости или зал становится глухим. Дефекты формы помещения приводят к неправильному распределению отраженного звука. Неверная отделка приводит к нарушению разборчивости речи или к нарушению естественности музыкальных фонограмм. Позднее отражения возникает в том случае, если прямой и отраженный звуки попадают в ухо слушателя через интервал времени, превышающий 0,02 секунды. Если запаздывание достигает 0,05 секунды, то отраженный звук воспринимается отдельно как эхо. В больших помещениях, имеющих две жесткие параллельные поверхности на расстоянии более 15 м (боковые стены, либо пол и потолок), между которыми находится источник звука, возникает эффект «порхающего» эха. Реверберация возникает в закрытых помещениях, в которых многократные отражения звуковых волн от ограждающих поверхностей могут продлевать слышимость звука на несколько секунд после выключения источника. Для контроля данного эффекта при акустическом проектировании установлен стандарт измерения – время стандартной реверберации.

В случае, когда расчет времени реверберации показывает необходимость немного увеличить *ЭПЗ* зала, этого проще всего достигнуть применением тонких деревянных панелей, увеличивающих звукопоглощение преимущественно на низких частотах тканевых портьер и дорожек, поглощающих в основном средние и высокие частоты. Для исправления возможных акустических дефектов и достижения требуемого времени реверберации используются звукопоглощающие материалы,

размещаемые на поверхностях, от которых не попадают к зрителям мало запаздывающие первые отражения.

Сильно поглощающие материалы и конструкции не следует размещать на участках стен и потолка, дающих первые мало запаздывающие отражения звука к слушателям. На остальной поверхности потолка и стен могут размещаться указанные звукопоглотители. Целесообразно, если это согласуется с интерьером зала, размещать звукопоглотитель отдельными участками площадью 1-5 м, что несколько увеличивает его фактическую ЭПЗ и дает некоторое рассеивание отраженного звука. Поверхности пазух над и под балконами не следует отделывать звукопоглощающими материалами.

Методика расчета среднего коэффициента звукопоглощения

Если расчетное время реверберации меньше рекомендуемого следует увеличить объем зала, если больше - убавить, по возможности, объем зала и увеличить звукопоглощение. Регулировку объема зала следует производить на ранних стадиях проектирования здания, изменить звукопоглощение ограждающих поверхностей можно в уже существующем здании.

Выяснить, насколько требуется изменить общую ЭПЗ зала, можно следующим образом. Исходя из требуемого времени реверберации, вычисляем средний коэффициент звукопоглощения $\varphi(\alpha)$:

для частот 125 и 500 Гц в соответствии с формулой:

$$\varphi(\alpha) = 0.163V / TS_{\text{общ}} \quad (1)$$

для частоты 2000 Гц в соответствии с формулой:

$$\varphi(\alpha) = (0.163 - T \cdot n)V / TS_{\text{общ}} \quad (2)$$

где: n - коэффициент, м^{-1} , учитывающий поглощение звука в воздухе и зависящий от температуры и относительной влажности воздуха в зале.

Для последней частоты учитываем поглощение звука в воздухе коэффициент $n = 0,009 \text{ м}^{-1}$, соответствующий относительной влажности 60%.

Подсчитываем требуемую общую ЭПЗ зала по формуле:

$$A_{\text{общ}} = \alpha_{\text{общ}} S_{\text{общ}} \quad (3)$$

Сравнив подсчитанное значение общей эквивалентной площади звукопоглощения с имеющейся при намеченной отделке зала определяем насколько следует изменить ее величину для достижения нужного времени реверберации. Окончательный результат должен быть выражен в виде времени реверберации, рассчитанного по формуле (1) для 125, 500 и 2000 Гц, с точностью до 0,05 с.

Пример выполнения задания

Задача. Запроектировать звукопоглощение ограждающих поверхностей проектируемого зала.

Исходные данные. В проектируемом зале (11-е практическое занятие) расчетное время реверберации значительно превышает численные значения оптимального на всех частотах нормируемого диапазона:

$$T_p = 1,63 > T_{онм}^{125} = 1,02 \text{ с}$$

$$T_p = 2,09 > T_{онм}^{500} = 0,85 \text{ с}$$

$$T_p = 1,91 > T_{онм}^{2000} = 0,85 \text{ с}.$$

Решение. Для снижения расчетных значений реверберации необходимо увеличить добавочное звукопоглощение в зале.

Вычисляем новые функции средних коэффициентов звукопоглощения, а по их значениям устанавливаем соответствующие величины средних коэффициентов звукопоглощения:

а) функции средних коэффициентов звукопоглощения $\varphi (\alpha_{cp})$:

- на частоте 125 Гц:

$$\varphi^{125}(\alpha_{cp}) = \frac{0,163 \times 938,7}{1,02 \times 602,8} = 0,248;$$

- на частоте 500 Гц:

$$\varphi^{500}(\alpha_{cp}) = \frac{0,163 \times 938,7}{0,85 \times 602,8} = 0,298;$$

- на частоте 2000 Гц:

$$\varphi^{2000}(\alpha_{cp}) = \frac{0,163 \times 938,7}{0,85 \times 602,8 + 0,009 \times 938,7} = 0,293;$$

б) средние коэффициенты звукопоглощения, α_{cp}

- на частоте 125 Гц:

$$\alpha_{cp}^{125} = 0,218;$$

- на частоте 500 Гц:

$$\alpha_{cp}^{500} = 0,258;$$

- на частоте 2000 Гц:

$$\alpha_{cp}^{2000} = 0,253;$$

Находим новые значения требуемой общей эквивалентной площади звукопоглощения зала, $A_{общ.тр}$:

- на частоте 125 Гц:

$$A_{общ.тр}^{125} = 0,218 \times 602,8 = 131,41 \text{ м}^2;$$

- на частоте 500 Гц:

$$A_{общ.тр}^{500} = 0,258 \times 602,8 = 155,52 \text{ м}^2;$$

- на частоте 2000 Гц:

$$A_{общ.тр}^{2000} = 0,253 \times 602,8 = 152,08 \text{ м}^2;$$

Определяем, на сколько требуется изменить общую эквивалентную площадь звукопоглощения зала:

- на частоте 125 Гц:

$$A_{общ.тр}^{125} - A_{общ}^{125} = 131,41 - 87,76 = 43,65 \text{ м}^2;$$

- на частоте 500 Гц:

$$A_{общ.тр}^{500} - A_{общ}^{500} = 155,52 - 67,01 = 88,51 \text{ м}^2;$$

- на частоте 2000 Гц:

$$A_{общ.тр}^{2000} - A_{общ}^{2000} = 152,08 - 74,65 = 77,43 \text{ м}^2;$$

Для повышения звукопоглощения подбираем такой звукопоглощающий материал, у которого коэффициент звукопоглощения при частотах 500 и 125 Гц и 2000 и 125 Гц относились бы, как:

$$\frac{88,51}{43,65} = 2,02; \quad \frac{77,43}{43,65} = 1,77.$$

Наиболее подходят для этой цели акустические плитки «Акмигран» (таблица 2), устанавливаемые с воздушной прослойкой 200 мм позади плит, и имеющие коэффициенты звукопоглощения при частотах 2000, 500 и 125 Гц соответственно 0,70; 0,60 и 0,35. Следовательно:

$$\frac{0,70}{0,35}=2; \frac{0,60}{0,35}=1,71;$$

Для получения оптимальной реверберации необходимо установить количество плитки на частотах:

- на частоте 125 Гц:

$$\frac{43,65}{0,35}=124,7 \text{ м}^2;$$

- на частоте 500 Гц:

$$\frac{88,51}{0,6}=147,5 \text{ м}^2;$$

- на частоте 2000 Гц:

$$\frac{77,43}{0,7}=110,6 \text{ м}^2;$$

Из вышеизложенного ясно, что наибольшее количество плитки (147,5 м²) невозможно установить на потолке, поэтому принимается решение о размещении 134,1 м² (100 %) на потолке, а оставшуюся часть (147,5 – 134,1 = 13,4 м²) – на стенах.

Однако устройство плит «Акмигран» с воздушной прослойкой 200 мм является трудновыполнимой задачей, поэтому решаем устанавливать их на стенах без воздушной прослойки. В этом случае плитки «Акмигран» характеризуются следующими коэффициентами звукопоглощения (таблица 2) соответственно на частотах 125, 500 и 2000 Гц – 0,15; 0,55 и 0,65.

С учетом принятых решений отделки поверхностей зала вычисляем эквивалентную площадь звукопоглощения:

- на частоте 125 Гц:

$$A_{дог}^{125}=(0,35-0,02) \times 134,1+(0,15-0,01) \times 13,4=46,12 \text{ м}^2;$$

- на частоте 500 Гц:

$$A_{\text{доб}}^{500} = (0,6 - 0,02) \times 134,1 + (0,55 - 0,01) \times 13,4 = 85,01 \text{ м}^2;$$

- на частоте 2000 Гц:

$$A_{\text{доб}}^{2000} = (0,6 - 0,04) \times 134,1 + (0,65 - 0,02) \times 13,4 = 85,53 \text{ м}^2;$$

Рассчитываем полную общую эквивалентную площадь звукопоглощения зала:

- на частоте 125 Гц:

$$A_{\text{общ.п.}}^{125} = 87,76 + 46,12 = 133,88 \text{ м}^2;$$

- на частоте 500 Гц:

$$A_{\text{общ.п.}}^{500} = 67,01 + 85,01 = 152,02 \text{ м}^2;$$

- на частоте 2000 Гц:

$$A_{\text{общ.п.}}^{2000} = 74,65 + 85,53 = 158,18 \text{ м}^2;$$

Для новых полных общих эквивалентных площадей звукопоглощения вычисляем численные значения средних коэффициентов звукопоглощения $\alpha_{\text{ср}}$ и соответствующие им функции средних коэффициентов звукопоглощения $\varphi(\alpha_{\text{ср}})$:

- на частоте 125 Гц:

$$\alpha_{\text{ср}}^{125} = \frac{133,88}{602,8} = 0,222; \quad \varphi^{125}(\alpha_{\text{ср}}) = 0,252;$$

- на частоте 500 Гц:

$$\alpha_{\text{ср}}^{500} = \frac{152,02}{602,8} = 0,252; \quad \varphi^{500}(\alpha_{\text{ср}}) = 0,292;$$

- на частоте 2000 Гц:

$$\alpha_{\text{ср}}^{2000} = \frac{158,18}{602,8} = 0,262; \quad \varphi^{2000}(\alpha_{\text{ср}}) = 0,302;$$

С учетом новых значений функций средних коэффициентов звукопоглощения определяем расчетное время реверберации в нормируемом диапазоне частот:

- на частоте 125 Гц:

$$T_p^{125} = \frac{0,163 \times 938,7}{602,8 \times 0,252} = 1 \text{ с};$$

- на частоте 500 Гц:

$$T_p^{500} = \frac{0,163 \times 938,7}{602,8 \times 0,292} = 0,87 \text{ с};$$

- на частоте 2000 Гц:

$$T_p^{2000} = \frac{0,163 \times 938,7}{602,8 \times 0,302 + 0,009 \times 938,7} = 0,8 \text{ с};$$

Сравнивая новые расчетные значения времени реверберации, полученные с учётом предлагаемых вариантов звукопоглощения зала, с оптимальными величинами, можно отметить, что они вполне удовлетворительны, так как отличаются от рекомендуемых менее чем на 10%.

Задание

Выполнить расчет времени реверберации в проектируемом зале согласно индивидуального задания.

Вопросы к практическому занятию

1. Какое время называют стандартным временем реверберации
2. Какая величина называется эквивалентной площадью звукопоглощения
3. Что учитывает средний коэффициент добавочного звукопоглощения
4. Какие дефекты с акустической точки зрения могут возникнуть в проектируемом зале
5. Каким образом можно изменить акустические качества помещения
6. Последовательность среднего коэффициента звукопоглощения зала

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [3,4, 5, 7, 8, 9, 10, 14]

Практическое занятие 13

Расчет и проектирование путей движения людских потоков

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками проектирования движения людских потоков и расчета величины коммуникационных помещений.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен овладеть правилами определения величины людского потока и расчета размеров коммуникационных помещений необходимых для беспрепятственного движения людей в общественном здании .

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

Коммуникационные помещения занимают значительные площади любого общественного здания, поэтому правильное назначение их площадей может дать значительную экономию строительного объема проектируемого здания. Кроме того, коммуникационные помещения служат основными путями эвакуации и их правильный расчет обеспечивает безопасную эксплуатацию, что особенно важно для

универсальных общественных зданий больших размеров с пребыванием значительного количества людей.

Теоретическая часть

При проектировании зданий и сооружений одной из задач является создание наиболее благоприятных условий для движения человека при возможной вынужденной эвакуации и обеспечение его безопасности.

Количество эвакуационных путей, выходов из зданий и помещений и их размеры должны одновременно удовлетворять четырем условиям:

1) наибольшее фактическое расстояние от возможного места пребывания человека по линии свободных проходов или от двери наиболее удаленного помещения до ближайшего эвакуационного выхода должно быть меньше или равно требуемого по нормам;

2) суммарная ширина эвакуационных выходов и лестниц, предусмотренная проектом, должна быть больше или равна требуемой по нормам;

3) количество эвакуационных выходов и лестниц по соображениям безопасности должно быть, как правило, не меньше двух;

4) ширина эвакуационных выходов и лестниц не должна быть меньше или больше значений, предусмотренных нормами .

Эффективность принятых объемно-планировочных решений проектируемого здания в этом случае проверяется выполнением условия:

$$t_p + t_{н.э} \leq t_{н.б} ;$$

где: $t_{н.б}$ - необходимая продолжительность эвакуации, *мин*;

t_p - расчетное время эвакуации людей, *мин*;

$t_{н.э}$ - интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей, *мин*. Этот интервал времени задержки начала эвакуации следует принимать для административных, торговых и производственных зданий (без системы оповещения о пожаре) ≥ 4 *мин*.

Расчетное время эвакуации людей t_p из помещений и зданий устанавливается по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей.

При расчете весь путь движения людского потока подразделяется на участки (проход, коридор, дверной проем, лестничный марш, тамбур) длиной l_i и шириной δ_i . Начальными участками являются проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т.п.

При определении расчетного времени эвакуации людей длину и ширину каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимают по проекту, а для построенных - по фактическому положению. Длину пути по лестничным маршам, а также по пандусам измеряют по длине марша. Длину пути в дверном проеме принимают равной нулю. Проем, расположенный в стене толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельными участками горизонтального пути, имеющими конечную длину l_i .

Расчетное время эвакуации людей t_p следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути t_i по формуле:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i, \quad (1)$$

где: t_1 - время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин;

$t_1, t_2, t_3, \dots, t_i$ - время движения людского потока на каждом из следующих после первого участка пути, мин.

Время движения людского потока по первому участку пути t_1 , мин, рассчитывают по формуле:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1}, \quad (2)$$

где: l_1 - длина первого участка пути, м;

V_1 - скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, $м/мин$ (определяется по таблице 1 в зависимости от плотности D).

Плотность однородного людского потока на первом участке пути D_1 рассчитывают по формуле:

$$D_1 = \frac{N_1 \times f}{l_1 \times \sigma_1}, \quad (3)$$

где: N_1 - число людей на первом участке, чел.;

f - средняя площадь горизонтальной проекции человека, $м^2/чел$, принимаемая в соответствии с таблицей 2 настоящих указаний;

σ_1 - ширина первого участка пути, $м$.

Т а б л и ц а 1: Интенсивность и скорость движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности.

Плотность потока D , $м^2/м^2$	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность q , $м/мин$	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость V , $м/мин$	Интенсивность q , $м/мин$		Скорость V , $м/мин$	Интенсивность q , $м/мин$	Скорость V , $м/мин$	Интенсивность q , $м/мин$
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	100	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,10	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,20	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,30	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,40	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,50	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,60	28	16,3	19,05	24,5	14,1	18,5	10,75
0,70	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,80	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,90 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Примечание. Интенсивность движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более равная 8,5 $м/мин$, установлена для дверного проема шириной 1,6 $м$ и более, а при дверном проеме меньшей ширины интенсивность движения следует определять по формуле $q = 2,5 + 3,75 \cdot d$.

Т а б л и ц а 2: Площади горизонтальной проекции взрослых людей.

Тип одежды	Ширина a , $м$	Толщина c , $м$	Площадь горизонтальной проекции, $м^2/чел$.
Летняя	0,46	0,28	0,100
Весенне-осенняя	0,48	0,30	0,113
Зимняя	0,50	0,32	0,125

Скорость V_1 движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимают по таблице 1 в зависимости от интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которую вычисляют для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \times \delta_{i-1}}{\delta_i}, \quad (4)$$

где δ_i, δ_{i-1} - ширина рассматриваемого i -го и предшествующего ему участка пути, м;

q_i, q_{i-1} - интенсивности движения людского потока по рассматриваемому i -му и предшествующему участкам пути, м/мин (интенсивность движения людского потока на первом участке пути $q_i = q_{i-1}$ определяется по таблице 1 по значению D_1 , установленному по формуле (3).

Если значение q_i , определяемое по формуле (4), меньше или равно q_{max} , то время движения по участку пути t_i , мин, равно:

$$t_i = \frac{l_i}{V_i},$$

при этом значения q_{max} , м/мин следует принимать равными:

16,5 - для горизонтальных путей;

19,6 - для дверных проемов;

16,0 - для лестницы вниз;

11,0 - для лестницы вверх.

Если значение q_i , определенное по формуле (4), больше q_{max} то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие :

$$q_i \leq q_{max}. \quad (6)$$

При невозможности выполнения условия (6) интенсивность и скорость движения людского потока по участку i определяют по таблице 1 при значении $D = 0,9$ и более. При этом следует учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося их скопления

Время задержки t_3 движения на участке i из-за образовавшегося скопления людей на границе с последующим участком $(i+1)$ определяется по формуле:

$$t_3 = N \times f \left(\frac{l}{q_{\text{при } D=0,9} \times b_{i+1}} - \frac{l}{q_i \times b_i} \right) \quad (7)$$

где: N - количество людей, чел.;

f - площадь горизонтальной проекции, м^2 ;

$q_{\text{при } D=0,9}$ - интенсивность движения через участок $i+1$ при плотности 0,9 и более, м/мин ;

b_{i+1} - ширина участка, м , при вхождении на который образовалось скопление людей;

q_{i+1} - интенсивность движения на участке i , м/мин ;

b_i - ширина предшествующего участка i , м .

Время существования скопления $t_{\text{ск}}$ на участке i определяется по формуле:

$$t_{\text{ск}} = \frac{N \times f}{q_{\text{при } D=0,9} \times b_{i+1}}. \quad (8)$$

Расчетное время эвакуации по участку i , в конце которого на границе с участком $(i+1)$ образовалось скопление людей равно времени существования скопления $t_{\text{ск}}$. Расчетное время эвакуации по участку i допускается определять по формуле:

$$t_i = \frac{l_i}{V_i} + t_3. \quad (9)$$

При слиянии в начале i -го участка двух и более людских потоков рис. 1 интенсивность движения q_i , м/мин , рассчитывают по формуле:

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \times \sigma_{i-1}}{\sigma_i}, \quad (10)$$

где q_{i-1} - интенсивность движения людских потоков, сливающихся в начале i -го участка, м/мин ;

σ_{i-1} - ширина участков пути слияния, м ;

σ_i - ширина рассматриваемого участка пути, м .

Если значение q_i , определенное по формуле (7), больше q_{max} , то ширину i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, чтобы соблюдалось условие (6). В этом случае время движения по участку i определяют по формуле (5).

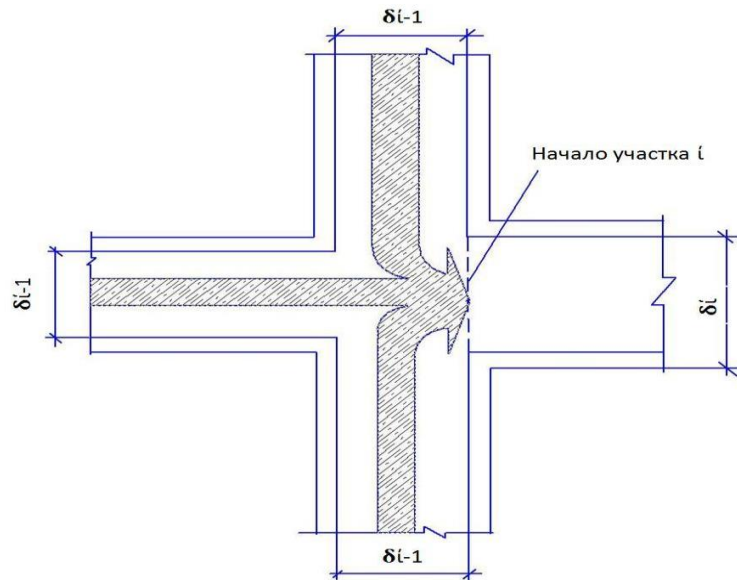


Рисунок 1: Слияние людских потоков.

Пример выполнения задания

Задача 1. Определить время эвакуации из кабинета административного здания панельного типа.

Исходные данные. Здание двухэтажное, имеет размеры в плане 12×32 м. Кабинет размером 6×7 м, объемом 126 м^3 расположен на втором этаже в непосредственной близости от лестничной клетки, ведущей на первый этаж. Ширина коридора 3 м, ширина лестничной клетки 1,5 м, длина 10 м. В кабинете работает 7 человек. Всего на этаже работают 98 человек. На первом этаже работает 76 человек. Здание не оборудовано автоматической системой сигнализации и оповещения о пожаре. Схема эвакуации из здания представлена на рисунке 2.

Решение. Время задержки начала эвакуации принимается 4 мин по таблице 3 с учетом того, что здание не имеет автоматической системы сигнализации и оповещения о пожаре. Для определения времени движения людей по первому участку, с учетом габаритных размеров кабинета 6х7 м, определяется плотность движения людского потока на первом участке:

$$D_1 = \frac{N_1 \times f}{L_1 \times b_1} = \frac{7 \times 0,1}{6 \times 7} = 0,01 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^2}.$$

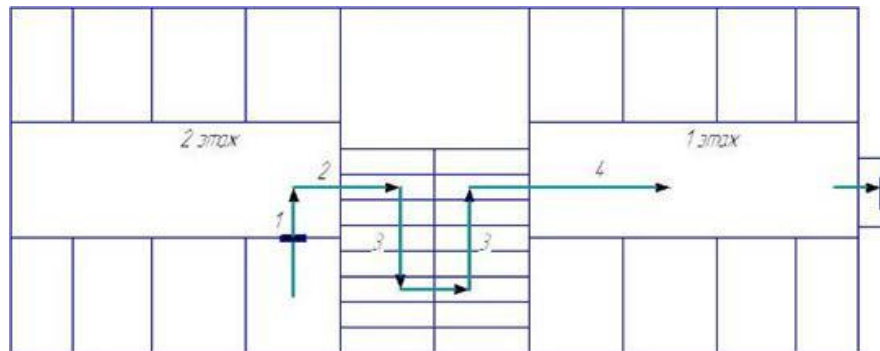


Рисунок 2: Схема эвакуации.

По таблице 1 скорость движения составляет 100 м/мин, интенсивность движения 1 м/мин, т.о. время движения по первому участку:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1} = \frac{7}{100} = 0,07 \text{ мин.}$$

Длина пути дверного проема принимается равной нулю. Наибольшая возможная интенсивность движения в проеме в нормальных условиях $q_{\text{max}} = 19,6 \text{ м/мин}$. Интенсивность движения в дверном проеме шириной менее 1,6 м определяется по формуле:

$$q_{\text{дв}} = 2,5 + 3,75 \cdot b$$

где: b – ширина проема.

Время движения через проем определяется как частное деления количества людей в потоке на пропускную способность проема:

$$q_{\text{дв}} = N \cdot f / q \cdot b$$

$$q_{\text{дв}} = 2,5 + 3,75 \cdot b = 2,5 + 3,75 \cdot 1,1 = 6,62 \text{ м/мин,}$$

$$q_{\text{дв}} \leq q_{\text{max}},$$

поэтому движение через проем проходит беспрепятственно.

Время движения в проеме:

$$t_{dL} = \frac{N \times f}{q \times b} = \frac{7 \times 0,1}{6,62 \times 1,1} = 0,09 \text{ мин.}$$

Так как на втором этаже работает 98 человек, плотность людского потока второго этажа составит:

$$D_2 = \frac{N_2 \times f}{L_2 \times b_2} = \frac{98 \times 0,1}{28 \times 3} = 0,011 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^2}.$$

Для данной плотности скорость движения составляет 80 м/мин, интенсивность движения 8 м/мин, т.о. время движения по второму участку (из коридора на лестницу):

$$t_2 = \frac{l_2}{V_2} = \frac{28}{80} = 0,35 \text{ мин.}$$

Для определения скорости движения по лестнице рассчитывается интенсивность движения на третьем участке:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i} = \frac{8 \cdot 3}{1,5} = 16 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Это показывает, что на лестнице скорость людского потока снижается до 40 м/мин. Время движения по лестнице вниз (3-й участок):

$$t_3 = \frac{l_3}{V_3} = \frac{10}{40} = 0,25 \text{ мин.}$$

При переходе на первый этаж происходит смешивание с потоком людей,двигающихся по первому этажу. Плотность людского потока для первого этажа:

$$D_4 = \frac{N_4 \times f}{L_4 \times b_4} = \frac{76 \times 0,1}{28 \times 3} = 0,09 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^2}.$$

При этом интенсивность движения составит около 8 м/мин.

При переходе на 4-й участок происходит слияние людских потоков, поэтому интенсивность движения:

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i} = \frac{(16 \times 1,5) + (8 \times 3)}{3} = 16 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Скорость движения равняется 40 м/мин , поэтому скорость движения по коридору первого этажа:

$$t_4 = \frac{l_4}{V_4} = \frac{28}{40} = 0,7 \text{ мин}$$

Т а б л и ц а 3: Данные для определения времени начала эвакуации.

№ п/п	Класс функциональной пожарной опасности зданий и характеристика контингента людей	Значение времени начала эвакуации людей $t_{нэ}$, мин		
		Здания, оборудованные системой оповещения и управления эвакуацией людей		Здания, не оборудованные системой оповещения и управления эвакуацией людей
		I-Типа	III-V типа	
1	Здания детских дошкольных образовательных учреждений, жилые дома; (Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4)	6,0	4,0	9,0
2	Гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев	3,0	2,0	6,0
3	Здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений (Ф2, Ф3).	3,0	1,0	6,0
4	Здания научных и образовательных учреждений (Ф4)	3,0	1,5	6,0

Т а б л и ц а 4: Нормированное время эвакуации из общественных зданий.

Степень огнестойкости	Время эвакуации (t), мин.
I и II	До 6
III и IV	До 4
V	До 3

Тамбур при выходе на улицу имеет длину 5 метров , на этом участке образуется максимальная плотность людского потока поэтому согласно таблице 1 скорость падает до 15 м/мин , а время движения по тамбуру составит:

$$t_5 = \frac{l_5}{V_5} = \frac{5}{15} = 0,3 \text{ мин.}$$

При максимальной плотности людского потока интенсивность движения через дверной проем на улицу шириной более 1,6 м – 8,5 м/мин, время движения через него:

$$t_{d2} = \frac{N \times f}{q \times b} = \frac{174 \times 0,1}{8,5 \times 2} = 1,02 \text{ мин.}$$

Расчетное время эвакуации рассчитывается по формуле (1):

$$t_p = t_{н.э.} + t_1 + t_{01} + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_{02} = 4 + 0,07 + 0,09 + 0,35 + 0,025 + 0,7 + 0,3 + 1,02 = 6,78 \text{ мин}$$

Таким образом, расчетное время эвакуации из кабинетов предприятия составляет 6,78 мин.

Задание

Выполнить расчет движения людского потока в проектируемом здании согласно индивидуального задания.

Вопросы к практическому занятию

1. Дать определение величины людского потока, его плотности, скорости, интенсивности?
2. Пути движения людских потоков.
3. Назвать закономерности движения людских потоков в здании.
4. Переформирование людских потоков, частные случаи переформирования людских потоков.
5. Назвать предельные состояния для расчета движения людских потоков?
6. Порядок расчета коммуникационных помещений.

Рекомендуемая литература

Основная: [1,2]

Дополнительная: [1,2,5,6,7,17,18]

Практическое занятие 14

Расчет и проектирование путей эвакуации в промышленных зданиях

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками расчета и проектирования путей эвакуации в промышленных зданиях.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен овладеть правилами расчета путей эвакуации необходимых для беспрепятственного движения людей в промышленном здании.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

Вынужденная эвакуация людей из зданий происходит в условиях высоких температур, задымления и загазованности. Если нет организованного порядка при движении людей при эвакуации, иногда возникает паника. Для быстрой и безопасной эвакуации людей необходимы достаточное количество, определенная протяженность и ширина путей эвакуации и эвакуационных выходов.

Теоретическая часть

При проектировании и строительстве промышленных зданий обязательно предусматривают пути вынужденной эвакуации людей из помещений на случаи пожара или аварии. Время эвакуации, определяющее ее эффективность, назначают по возможности минимальным, чтобы снизить угрозу пожара (аварии) для эвакуирующихся. Вынужденная эвакуация людей из зданий происходит в условиях высоких температур, задымления и загазованности. Если нет организованного порядка при движении людей при эвакуации, иногда возникает паника. Для быстрой и безопасной эвакуации людей необходимы достаточное количество, определенная протяженность и ширина путей эвакуации и эвакуационных выходов.

К путям эвакуации относят проходы, лестницы и туннели, ведущие к эвакуационным выходам и обеспечивающие безопасное движение людей. Пути эвакуации используют и для выноса из помещений технологического оборудования.

Эвакуационными считают выходы, по которым можно выйти:

а) из помещений первого этажа наружу непосредственно или через коридор, вестибюль, лестничную клетку;

б) из помещений любого этажа, кроме первого, в коридор или проход, ведущий к лестничной клетке, или на лестничную клетку, имеющую выход непосредственно наружу или через вестибюль, отделенный от коридоров перегородками с дверями;

в) из одного помещения в другие на том же этаже, обеспеченные выходами, указанными в пунктах «а» и «б».

Через помещения с производствами категорий А, Б и Е, а также через здания IV и V степеней огнестойкости эвакуационные выходы не предусматривают. Эвакуационные выходы через ворота для железнодорожного транспорта в расчет не принимают, так как при пожаре они могут быть загорожены. Лифты, эскалаторы и другие механические средства передвижения людей в расчет также не принимают — они выходят из строя при отключении электроэнергии. Количество эвакуационных выходов из

производственных зданий проектируют, как правило, *не менее двух*. Размещают эти выходы рассредоточено, по возможности в противоположных сторонах.

В промышленных зданиях нормируются размеры путей эвакуации и эвакуационных выходов. Протяженность путей эвакуации зависит от категории производства по пожарной опасности и степени огнестойкости зданий, чем выше степень огнестойкости зданий, тем протяженность путей эвакуации при прочих равных условиях будет больше.

В современных сблокированных зданиях с их большой площадью застройки длина путей эвакуации часто превышает нормативную величину. Поэтому в таких зданиях предусматривают туннели или крытые коридоры, ведущие за пределы здания; их оборудуют тамбурами-шлюзами. Расстояние от рабочих мест до тамбура-шлюза должно быть не более нормативного.

Методика проектирования и расчета путей эвакуации

Расчет и проектирование путей эвакуации следует выполнять согласно СП 1.13130 и СП 4.13130. При проектировании следует руководствоваться следующими требованиями:

- расстояние от наиболее удаленного рабочего места в помещении до ближайшего эвакуационного выхода из помещения непосредственно наружу или в лестничную клетку не должно превышать значений, приведенных в *таблице 29* СП 1.13130;

- расстояние по коридору от двери наиболее удаленного помещения площадью не более 1000 м^2 до ближайшего выхода наружу или в лестничную клетку не должно превышать значений, приведенных в *таблице 30* СП 1.13130;

- ширину эвакуационного выхода (двери) из помещений следует принимать в зависимости от общей численности людей, эвакуирующихся через этот выход;

- численности людей на 1 м ширину выхода (двери), установленного в *таблице 31* СП 1.13130;

- численность людей на 1 м ширины эвакуационного выхода (двери) из помещений высотой более 6 м увеличивается: при высоте помещений 12 м - на 20%, 18 м - на 30%, 24 м - на 40%; при промежуточных значениях высоты помещений увеличение численности людей на 1 м ширины выхода определяется интерполяцией.

Расчет следует выполнять аналогично расчету выполняемому в 13-м практическом занятии.

Пример выполнения задания

Задача. Определить расчетное время эвакуации людей из помещения цеха одноэтажного промышленного здания категории пожарной опасности В, объемом 5,4 тыс. м³. Технологическое оборудование расположено рядами. Из помещения цеха предусмотрен один выход (рис.1).

Исходные данные. План помещения цеха с указанием расположения оборудования, путей эвакуации и необходимыми размерами приведен на рисунке 3. Помещение не имеет системы оповещения о пожаре.

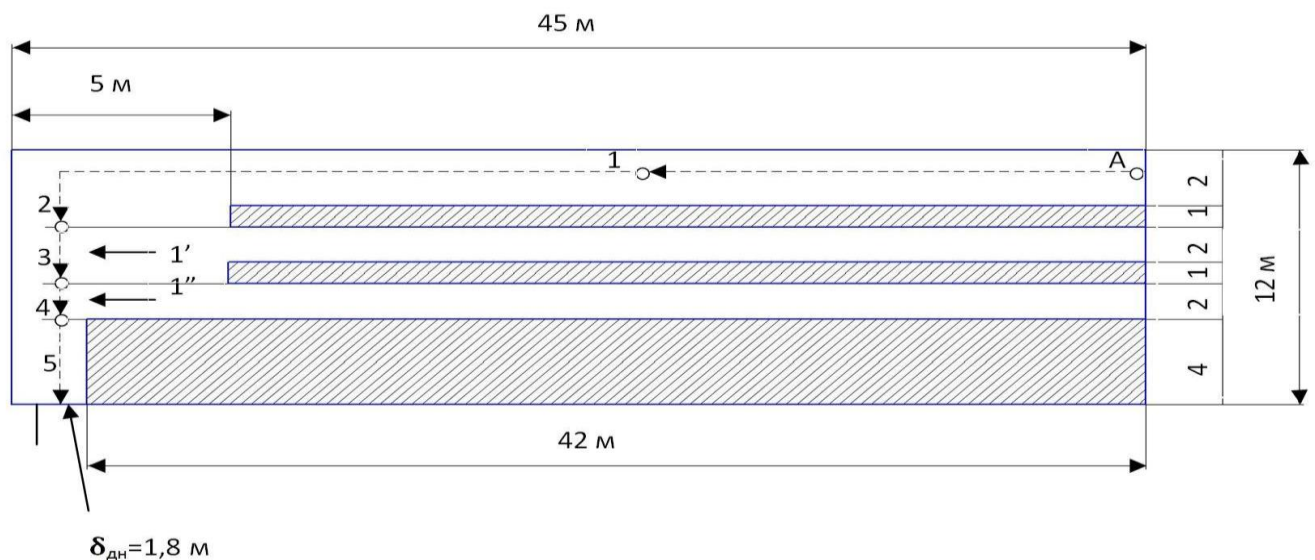


Рисунок 1: План помещения цеха.

Решение. Путь эвакуации от наиболее удаленной от выхода точки А подразделяется на пять участков, в пределах которых ширина пути и интенсивность движения могут быть приняты неизменными. Людские потоки

из проходов сливаются с потоком,двигающимся по сборному проходу, и направляются через входную дверь наружу.

Число людей, одновременно находящихся в помещении, принимают из расчета $1,35 \text{ м}^2$ площади на одного человека, включая площадь, занятую оборудованием:

$$N = F/1,35.$$

Определим число людей, одновременно находящихся в помещении.

$$N = F/1,35 = 45 \times 12/1,35 = 400 \text{ чел.}$$

Средняя плотность людского потока, размещенного на площади помещения, за вычетом площади оборудования определяем по формуле (3):

$$D_{cp} = N \cdot f / F_{сек} - F = 400 \cdot 0,125 / 540 - (4 \cdot 42 + 1 \cdot 40 + 1 \cdot 40) = 0,17 \text{ м}^2/\text{м}^2,$$

для $D_{cp} = 0,17$ имеем на первом участке пути эвакуации $q_1 = 10,8 \text{ м/мин}$ и $v_1 = 66 \text{ м/мин}$. Тогда:

$$t_1 = l_1/v_1 = 42,5/66 = 0,64 \text{ мин.}$$

Второй участок – расширение пути, где интенсивность движения определяется по формуле (1.6):

$$q_2 = q_1 \delta_1/\delta_2 = 10,8 \cdot 2/5 = 4,32 \text{ м/мин.}$$

Для найденного значения q_2 принимаем $v_2 = 100 \text{ м/мин}$. Тогда:

$$t_2 = l_2/v_2 = 3/100 = 0,03 \text{ мин.}$$

Третий участок – слияние потоков, где интенсивность движения составит:

$$q_3 = (q_1 \delta_1 + q_2 \delta_2) / \delta_3 = (10,8 \cdot 2 + 4,32 \cdot 5) / 5 = 8,67 \text{ м/мин},$$

чему соответствует $v = 76,8 \text{ м/мин}$. Тогда:

$$t_3 = l_3/v_3 = 3/76,8 = 0,04 \text{ мин.}$$

Четвертый участок – слияние потоков, где интенсивность движения составит:

$$q_4 = (q_1 \delta_1 + q_3 \delta_3) / \delta_4 = (10,8 \cdot 2 + 8,67 \cdot 5) / 5 = 13 \text{ м/мин},$$

чему соответствует $v_4 = 53 \text{ м/мин}$. Тогда:

$$t_4 = l_4/v_4 = 2/53 = 0,04 \text{ мин}$$

Пятый участок – сужение прохода, что повышает интенсивность движения до величины:

$$q_5 = q_4 \delta_4 / \delta_5 = 13 \cdot 5 / 3 = 21,6 \text{ м/мин},$$

что больше $q_{\max} = 16,5 \text{ м/мин}$ для горизонтальных путей. Следовательно, образуется задержка, и время движения по пятому участку составит:

$$t_5 = l_5 / v_{np} + \Delta t_5 = 4/5 + 400 \cdot 0,125 \cdot (1/13,5 \cdot 3 - 1/13 \cdot 5) = 0,73 \text{ мин.}$$

Дверной проем:

$$q_{\text{дв}} = q_5 \delta_5 / \delta_{\text{дв}} = 13,5 \cdot 3 / 1,8 = 22,5 \text{ м/мин},$$

что больше $q_{\max} = 19,6 \text{ м/мин}$ для дверных проемов. Следовательно, в дверном проеме образуется задержка движения людей на время:

$$\Delta t_{\text{дв}} = N \cdot f(1/q_{\text{дв}} \delta_{\text{дв}} - 1/q_5 \delta_5) = 50 \cdot (1/8,5 \cdot 1,8 - 1/13,5 \cdot 3) = 2,03 \text{ мин.}$$

Так как $\Delta t_{\text{дв}} > \Delta t_5$, то расчетное время эвакуации составит:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 / v_{np} + \Delta t_{\text{дв}} = 3,046 \text{ мин}$$

Значение $t_{н.б}$ в зависимости от категории производства B и объема помещения $5,4 \text{ тыс. м}^3$, $t_{н.б} = 1,25 \text{ мин}$. Поскольку помещение не имеет систему оповещения о пожаре, то $t_{н.э} = 0,5 \text{ мин}$. Проверяем условие эффективности принятых организационных и технических решений по эвакуации людей в случае пожара:

$$t_p + t_{н.э} \leq t_{н.б}; 3,546 \text{ мин} > 1,25 \text{ мин.}$$

Условие не выполняется, следовательно, безопасная эвакуация людей через один выход не обеспечивается. Необходимо предусмотреть второй эвакуационный выход.

Т а б л и ц а 1: Величина необходимого времени эвакуации людей из производственных зданий.

Категория производства	Необходимое время эвакуации (мин) при объеме помещения, тыс. м ³				
	До 15	30	40	50	60 и более
А, Б	0,50	0,75	1	1,50	1,75
В	1,25	2	2	2,50	3
Г, Д	Не ограничивается				

Задание

Выполнить расчет движения людского потока в проектируемом здании согласно индивидуального задания.

Вопросы к практическому занятию

1. Чем характеризуется вынужденная эвакуация
2. Какие пути являются эвакуационными
3. Как определяют количество эвакуационных выходов
4. От чего зависит протяженность путей эвакуации в промышленном здании
5. Какими требованиями следует руководствоваться при проектировании путей эвакуации?
6. Пути эвакуации в современных промышленных зданиях

Рекомендуемая литература

Основная: [1,2]

Дополнительная: [1,2,5,6,7,9,17,18]

Практическое занятие 15

Расчет естественного освещения и площади боковых светопроемов в помещениях жилых зданий

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками расчета естественного освещения помещений жилых зданий, и площади боковых светопроемов.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен усвоить основные принципы проведения расчета естественного освещения помещений жилых зданий.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

Одним из основных факторов, определяющих качество среды в помещении, является естественное освещение. Создание оптимального светового режима в помещениях способствует благоприятным условиям для жизнедеятельности человека.

Теоретическая часть

Критерием оценки переменного естественного освещения служит коэффициент естественной освещенности (*КЕО*). *Коэффициент естественной освещенности* – это отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода, равномерно затянутого облаками; выражается в процентах. Естественное освещение в жилых зданиях нормируется только в жилых комнатах и кухнях, не считая общедомовых путей эвакуации. В других помещениях естественное освещение является необязательным.

Боковое естественное освещение следует применять в многоэтажных общественных и жилых зданиях, одноэтажных жилых зданиях, а также в одноэтажных общественных зданиях, в которых отношение глубины помещений к высоте верхней грани светового проема над условной рабочей поверхностью не превышает 8.

При двустороннем боковом освещении помещений любого назначения нормируемое значение *КЕО* должно быть обеспечено в расчетной точке в центре помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза и рабочей поверхности.

При одностороннем боковом освещении в жилых зданиях нормируемое значение *КЕО* должно быть обеспечено в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов: в одной комнате для 1-, 2- и 3-комнатных квартир и в двух комнатах для 4- и более комнатных квартир.

В остальных комнатах многокомнатных квартир и в кухне нормируемое значение *КЕО* при боковом освещении должно обеспечиваться в расчетной точке, расположенной в центре помещения на плоскости пола.

В жилых помещениях общежитий, гостиных и номеров гостиниц - в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости

характерного разреза помещения и плоскости пола в центре помещения.

Характерный разрез – это поперечный разрез посередине помещения, плоскость которого перпендикулярна к плоскости остекления световых проемов. При одностороннем боковом освещении жилых комнат общежитий, гостиных и номеров гостиниц нормируемое значение *КЕО* должно быть обеспечено в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола в геометрическом центре помещения.

Допускается снижение расчетного значения *КЕО* от нормируемого не более чем на 10%. Для жилых комнат и кухонь нормируемая величина *КЕО* должна составлять 0,5%.

При наличии затенения противостоящим зданием, существенно снижается освещенность в помещениях по причине того, что свет попадает в помещение не от небосвода, а от противостоящего здания в виде отраженного света.

При выборе световых проемов и светопропускающих материалов следует учитывать:

- требования к естественному освещению помещений;
- назначение, объемно-пространственное и конструктивное решение здания;
- ориентацию здания по сторонам горизонта;
- климатические и светоклиматические особенности места строительства;
- необходимость защиты помещений от инсоляции;
- степень загрязнения воздуха.

Методика расчета естественного освещения помещений жилых зданий и определения площади светопроемов

Требования к естественному освещению жилых помещений зданий установлены в СП 52.13330. и СП23-102-2003. Расчет естественного

освещения жилых помещений следует производить по СП 23-102-2003 без учета мебели, оборудования, озеленения и других затеняющих предметов, а также при 100%-ном использовании светопрозрачных заполнений в светопроемах. Расчетные значения KEO следует округлять до сотых долей.

Территория России разделена на группы административных районов. Перечень районов, входящих в группы, приведен в приложении Д СП 52.13330.

Нормируемые значения KEO для зданий, располагаемых в различных районах следует определять по формуле:

$$e_N = e_n m_N, \quad (1)$$

где N - номер группы административных районов определяется по приложению Д СП 52.13330;

e_n - нормированное значение KEO определяется по таблице 2 СП 52.13330;

m_N - коэффициент светового климата, принимаемый по таблице 4 СП 52.13330.

Предварительный расчет площади световых проемов и KEO при боковом освещении жилых помещений без учета противостоящих зданий необходимо проводить с применением графика приведенного на рисунке 2.

Расчет следует производить в следующей последовательности:

а) по таблице 2 СП 52.13330 определяют нормированное значение KEO для рассматриваемого помещения;

б) определяют глубину помещения d_n , высоту от условной рабочей поверхности до верхней грани световых проемов h_{01} и отношение d_n/h_{01} ;

в) на оси абсцисс графика (рис.2) находят точку, соответствующую значению отношения d_n/h_{01} ;

г) через найденную точку проводят вертикальную линию до пересечения с кривой, соответствующей нормированному значению KEO , по ординате точки пересечения определяют значение отношения A_{co}/A_n ,

где: A_{co} – суммарная площадь световых проемов в свету;

A_n – площадь пола, проектируемой жилой комнаты;

г) разделив найденное значение A_{co}/A_n на 100 и умножив на площадь пола, находят площадь световых проемов в m^2 .

Для обеспечения естественного освещения жилых помещений, отвечающего требованиям строительных норм, отношение глубины помещения d_n , к высоте верхней грани светового проема над уровнем пола h_{02} (рис.1), как правило, не должно превышать 2,5.

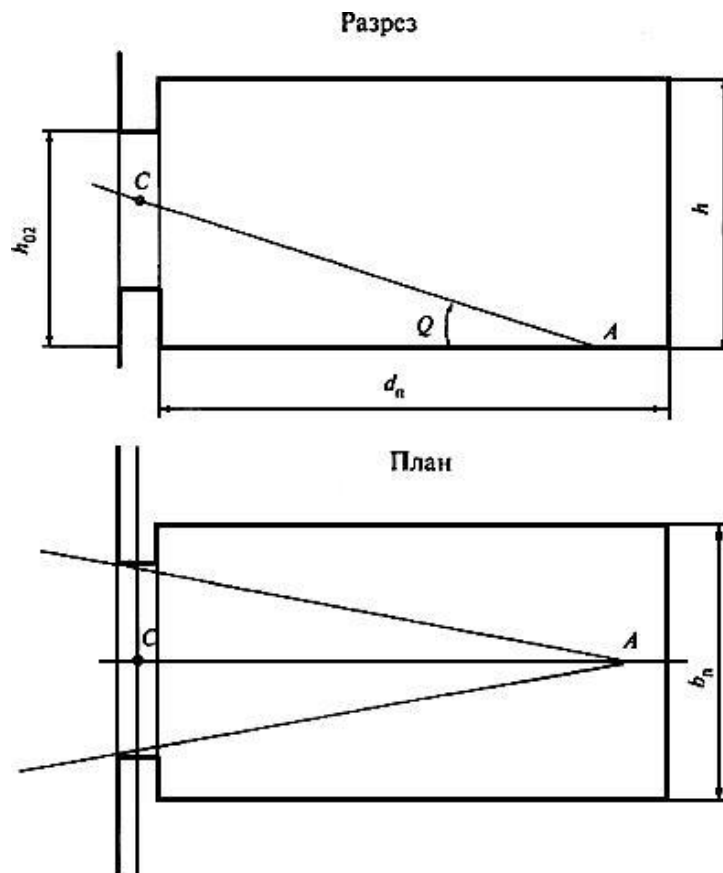


Рисунок 1: Разрез и план жилой комнаты

При разработке типовых проектов жилых зданий, предназначенных для расположения в административных районах второй, третьей, четвертой и пятой групп по ресурсам светового климата, ориентация которых по сторонам горизонта неизвестна, значение КЕО следует определять согласно приложению Д СП 52.13330, при этом коэффициент светового климата следует m_N принимать для северной ориентации световых проемов.

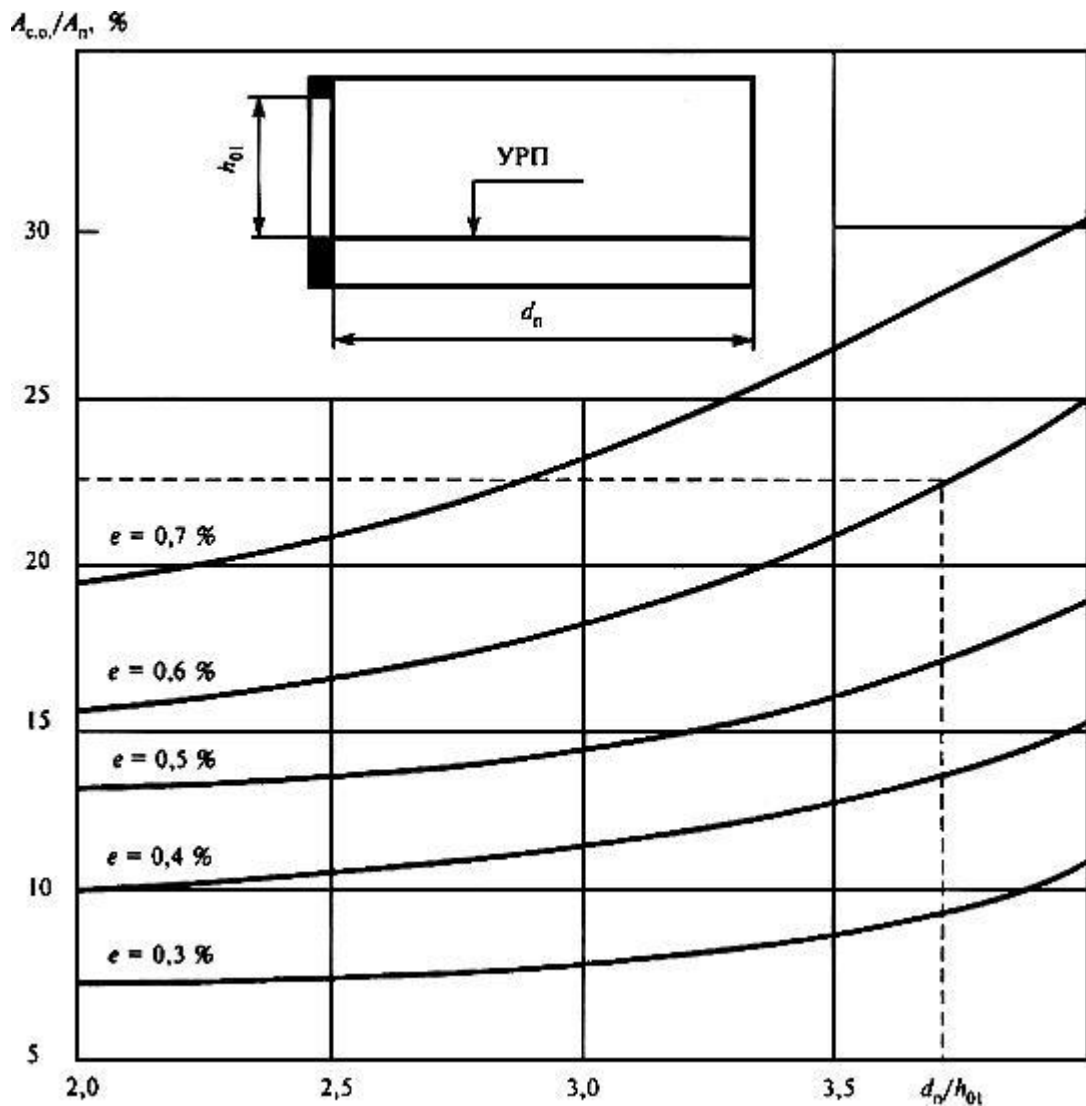


Рисунок 2 - График для определения относительной площади световых проемов $A_{с.о.}/A_n$ при боковом освещении жилых помещений.

В случае, когда размеры и расположение световых проемов в проекте зданий были выбраны по архитектурно-строительным соображениям, предварительный расчет значений KEO в помещениях следует производить в следующей последовательности:

а) по строительным чертежам находят суммарную площадь световых проемов (в свету) A_{co} и освещаемую площадь пола помещения A_n и определяют отношение A_{co}/A_n ;

б) определяют глубину помещения d_n , высоту верхней грани световых проемов над уровнем условной рабочей поверхности h_{01} и отношение d_n/h_{01} ;

в) с учетом типа помещений выбирают соответствующий график, (рис 2 – для жилых помещений);

г) по значениям A_{co}/A_n и d_n/h_{01} на графике находят точку с соответствующим значением KEO ;

График разработан применительно к наиболее часто встречающимся в практике проектирования габаритным схемам помещений и типовому решению светопрозрачных конструкций - деревянным спаренным открывающимся переплетам. Если в проекте здания приняты другие типы заполнения световых проемов, то найденные значения относительной площади световых проемов следует делить, а значение KEO умножать на коэффициент K_z , приведенный в таблице 3 СП 52.13330.

Пример выполнения задания

Задача. Выполнить предварительный расчет естественного освещения жилой комнаты в проектируемом здании, определив необходимую площадь светового проема, для условий строительства в г. Москве. Разрез и план комнаты представлены на рисунке 3.

Исходные данные. Проектируемая жилая комната имеет следующие размеры: глубина помещения $d_n = 6,0$ м, ширина $b_n = 3,4$ м, площадь пола $A_n = 20,4$ м², толщина наружной стены 0,4 м, высота подоконника $h_{nd} = 0,8$ м, высота светового проема окна $h_o = 1,5$ м. Переплеты оконного заполнения - спаренные деревянные с двумя слоями остекления.

Решение. По приложению Д СП 52.13330 устанавливаем, что г.Москва относится к 1-ой группе административных районов по ресурсам светового климата.

Следовательно, согласно таблице 2 величина нормированного значения KEO составит $e_n = 0,5\%$.

По глубине помещения $d_n = 6,0$ м и высоте верхней грани светового проема над условной рабочей поверхностью $h_o = 1,5$ м определяют, что $d_n/h_{o1} = 4,0$.

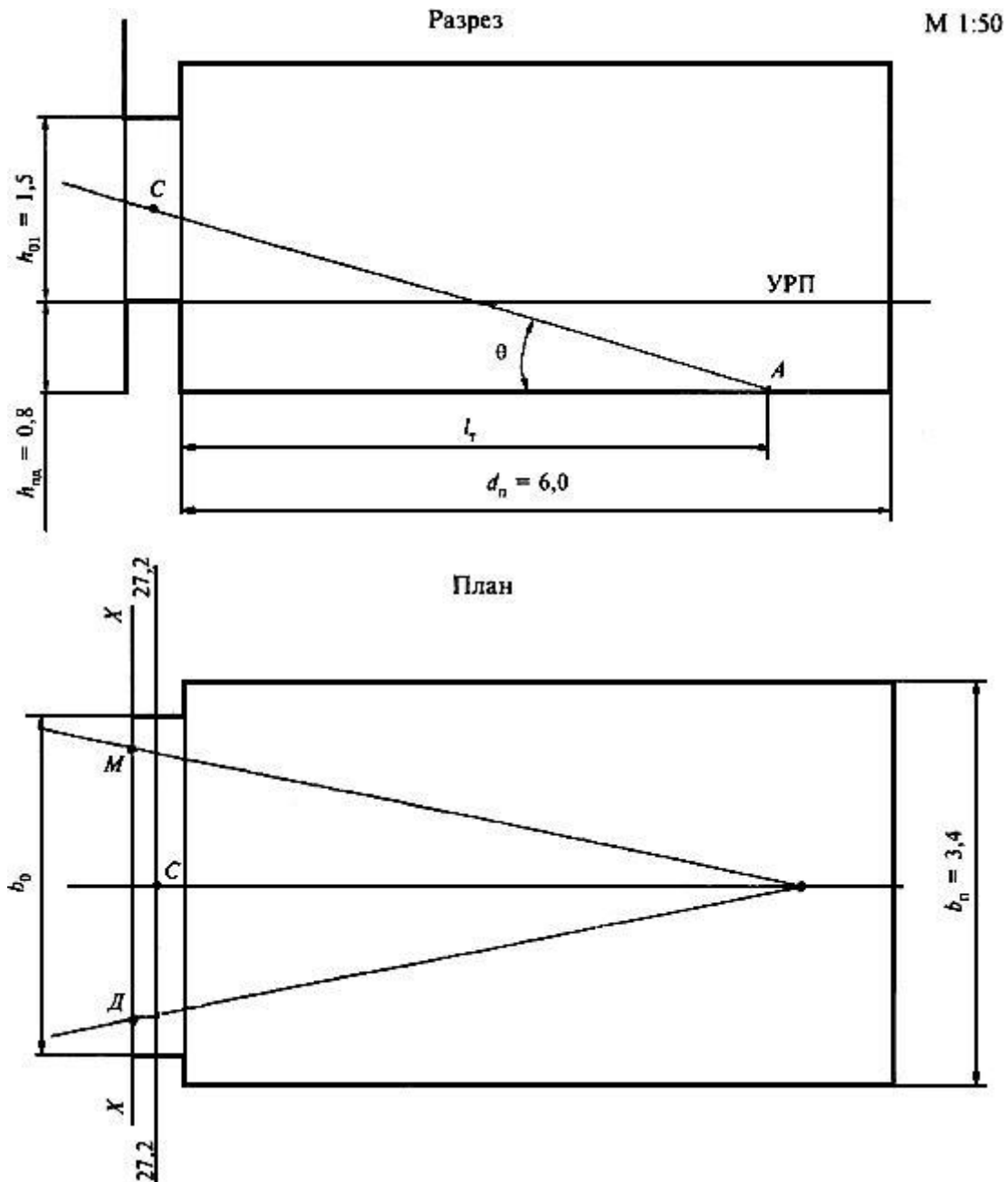


Рисунок 3: Разрез и план жилой комнаты

На рисунке 2 на соответствующей кривой $e_n = 0,5\%$ находят точку с абсциссой $4,0$; по ординате этой точки определяют, что необходимая относительная площадь светового проема A_{co}/A_n составляет 19% .

Площадь светового $A_{co}, м^2$ проема определяют по формуле:

$$A_{co} = 0,19 \cdot 20,4 = 3,88;$$

Следовательно, ширина светового проема при высоте 1,5 м должна составлять:

$$b_n = 3,88/1,5 = 2,58 \text{ м.}$$

Принимают оконный блок размером 1,5х2,7 м.

Задание

Произвести расчёт площади боковых светопроемов жилой комнаты в проектируемом здании и рассчитать величину *КЕО* в жилой комнате существующего здания. Расчеты выполнить согласно индивидуальному заданию.

Вопросы к практическому занятию

1. Дать определение коэффициента естественного освещения.
2. В каких случаях принимают боковое освещение помещений зданий
3. Каким образом нормируется КЕО в помещениях.
4. Требования, предъявляемые при проектировании светопроемов
5. Последовательность расчета площади боковых проемов в жилой комнате
6. Расчет величины КЕО в помещении существующего здания

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [1,2,3,5,9,15,16,21]

Практическое занятие 16

Расчет естественного освещения рабочих помещений зданий, определение площади боковых светопроемов.

Цель занятия

Целью данного практического занятия является овладение навыками расчет естественного освещения рабочих помещений, научиться определять площадь боковых светопроемов.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части

В ходе выполнения практического занятия обучающийся должен усвоить основные принципы проведения расчета естественного освещения рабочих помещений зданий.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен получить навыки по следующим профессиональным компетенциям:

способен разрабатывать проектную продукцию по результатам инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности (ПК-5);

владеет современными средствами автоматизации в сфере градостроительной деятельности, включая автоматизированные информационные системы (ПК-9).

Актуальность темы

Одним из основных факторов, определяющих качество среды в помещении, является естественное освещение. Создание оптимального светового режима в помещениях способствует благоприятным условиям для жизнедеятельности человека.

Теоретическая часть

Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь, как правило, естественное освещение. Без естественного освещения допускается проектировать помещения, которые определены соответствующими сводами правил на проектирование зданий и сооружений, нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности, утвержденными в установленном порядке, а также помещения, размещение которых разрешено в подвальных этажах зданий и сооружений.

Освещение рабочих кабинетов, офисов должно проектироваться на основе следующих требований:

- а) создание необходимых условий освещения на рабочих столах, расположенных в глубине помещения при выполнении разнообразных зрительных работ (чтение типографского и машинописного текстов, рукописных материалов, различение деталей графических материалов и т.п.);
- б) обеспечение зрительной связи с наружным пространством;
- в) защита помещений от слепящего и теплового действия инсоляции;
- г) благоприятное распределение яркости в поле зрения.

Боковое освещение рабочих кабинетов должно осуществляться, как правило, отдельными световыми проемами (одно окно на каждый кабинет).

С целью снижения необходимой площади световых проемов высоту подоконника над уровнем пола рекомендуется принимать не менее 1 м .

В производственных помещениях глубиной до $6,0\text{ м}$ при одностороннем боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии $1,0\text{ м}$ от стены или линии максимального заглубления зоны, наиболее удаленной от световых проемов.

Для обеспечения зрительного контакта с наружным пространством заполнение световых проемов должно, как правило, выполняться светопрозрачным оконным стеклом.

Для ограничения слепящего действия солнечной радиации в рабочих кабинетах и офисах необходимо предусматривать шторы и легкие регулируемые жалюзи. При проектировании зданий управления и зданий под офисы для III и IV климатических районов Российской Федерации следует предусматривать оборудование световых проемов, ориентированных на сектор горизонта в пределах 200° - 290° солнцезащитными устройствами.

*Методика расчета естественного освещения рабочих помещений зданий
и определения площади светопроемов*

Проектирование естественного освещения зданий должно базироваться на изучении трудовых процессов, выполняемых в помещениях, а также на светоклиматических особенностях места строительства зданий. При этом должны быть определены следующие параметры:

- характеристика и разряд зрительных работ;
- группа административного района, в котором предполагается строительство здания;
- нормированное значение KEO с учетом характера зрительных работ и светоклиматических особенностей места расположения зданий;
- требуемая равномерность естественного освещения;
- продолжительность использования естественного освещения в течение суток для различных месяцев года с учетом назначения помещения, режима работы и светового климата местности;
- необходимость защиты помещения от слепящего действия солнечного света.

Проектирование естественного освещения рабочего помещения следует выполнять в следующей последовательности:

- а) определение требований к естественному освещению помещений;

- б) выбор систем освещения;
- в) выбор типов световых проемов и светопропускающих материалов;
- г) выбор средств для ограничения слепящего действия прямого солнечного света;
- д) учет ориентации здания и световых проемов по сторонам горизонта;
- е) выполнение предварительного расчета естественного освещения помещений (определение необходимой площади световых проемов);
- ж) уточнение параметров световых проемов и помещений.

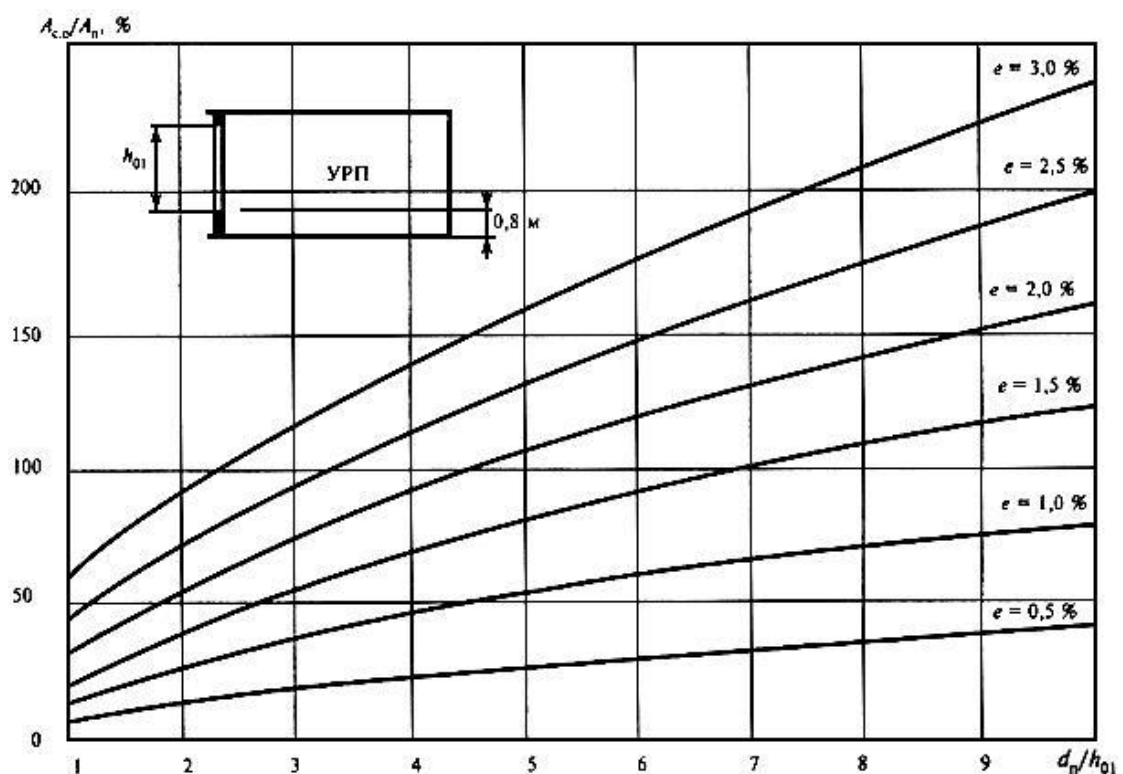


Рисунок 1 - График для определения относительной площади световых проемов $A_{с.о.}/A_{п}$ при боковом освещении помещений общественных зданий

Предварительный расчет площади световых проемов и KEO при боковом освещении рабочих помещений без учета противостоящих зданий необходимо проводить с применением графика приведенного на рисунке 1.

Расчет следует производить в следующей последовательности:

- а) в зависимости от разряда зрительной работы по таблице 1 или приложению К СП 52.13330 определяют нормированное значение KEO для

рассматриваемого помещения;

б) определяют глубину помещения d_n , высоту верхней грани световых проемов над уровнем условной рабочей поверхности h_{01} и отношение d_n/h_{01} ;

в) с учетом типа помещений выбирают соответствующий график, (рис 2 – для жилых помещений);

г) по значениям A_{co}/A_n и d_n/h_{01} на графике находят точку с соответствующим значением KEO ;

д) разделив найденное значение A_{co}/A_n на 100 и умножив на площадь пола, находят площадь световых проемов в m^2 .

Пример выполнения задания

Задача. Выполнить расчет естественного освещения рабочего кабинета. Определить необходимую площадь окон в рабочем кабинете здания управления, располагаемого в Москве. Размеры проектируемого рабочего кабинета представлены на (рис. 2).

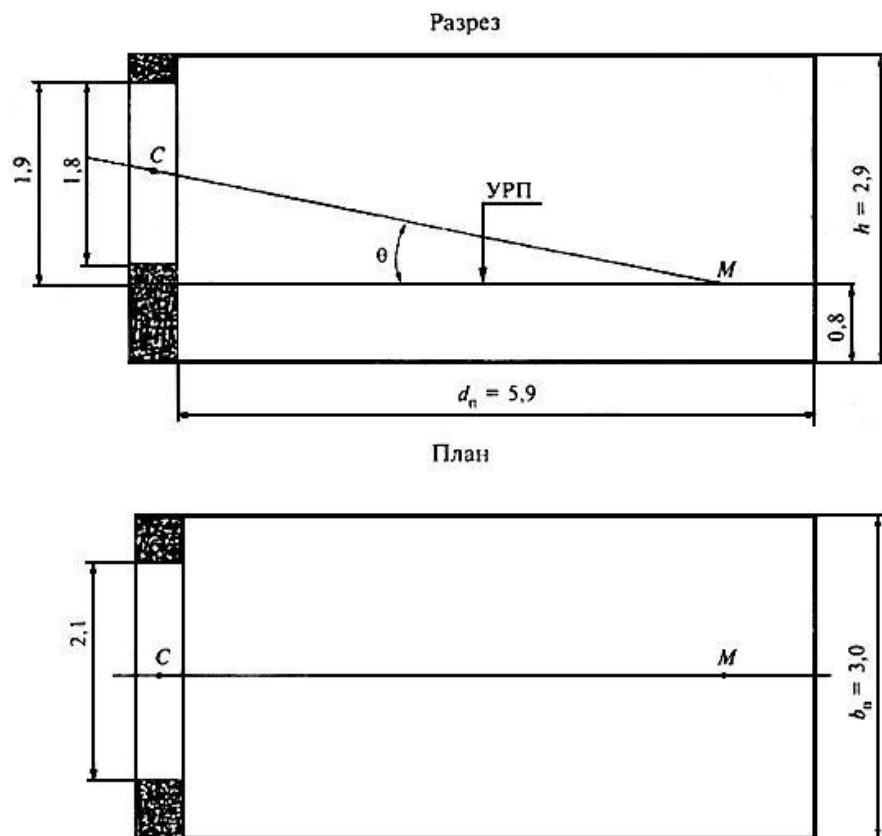


Рисунок 2: Разрез и план рабочего кабинета

Исходные данные. Глубина помещения $d_n = 5,9$ м, высота $h = 2,9$ м, ширина $b_n = 3,0$ м, площадь пола $A_n = 17,7$ м². Заполнение световых проемов двойным остеклением по спаренным алюминиевым переплетам; толщина наружных стен 0,35 м. Затенение противостоящими зданиями отсутствует.

Решение. Учитывая, что глубина помещения d_n свыше 5 м, по таблице 1 и приложению К СП 52.13330 находят, что нормированное значение КЕО равно 0,6%.

Производят предварительный расчет естественного освещения по исходной глубине помещения $d_n = 5,9$ м и высоте верхней грани светового проема над условной рабочей поверхностью $h_{01} = 1,9$ м; определяют величину отношения $d_n/h_{01} = 3,1$.

На рисунке 1 на соответствующей кривой $КЕО = 0,6\%$ находят точку с абсциссой $d_n/h_{01} = 3,1$. По ординате этой точки определяют, что необходимая относительная площадь светового проема $A_o/A_n = 21,5\%$.

Определяют площадь светового проема $A_o, м^2$ по формуле:

$$0,215 \cdot A_n = 0,215 \cdot 17,7 = 3,81$$

Следовательно, ширина светового $b_n, м$ проема составит:

$$b_n = 3,81/1,8 = 2,12 \text{ м.}$$

Принимают оконный блок размером 1,8х2,1 м.

Задание

Произвести расчёт величины КЕО в рабочем помещении и рассчитать площадь боковых светопроемов в проектируемом здании. Расчеты выполнить согласно индивидуальному заданию.

Вопросы к практическому занятию

1. Какие требования предъявляют к освещению рабочих помещений?
2. Каких параметры необходимы для расчета естественного освещения.

3. Какова последовательность выполнения расчета площади боковых проемов в рабочих помещениях
4. Что влияет на величину естественного освещения помещений
5. Каким образом окружающая застройка влияет на величину естественного освещения.
6. В чем заключаются санитарно-гигиенические требования к проектным решениям ограждающих конструкций зданий?

Рекомендуемая литература

Основная: [1, 2]

Дополнительная: [1,2,3,5,11,15,16,19,20]

Список рекомендуемой литературы

1. Волков А.А. Основы проектирования, строительства, эксплуатации зданий и сооружений [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.А. Волков, В.И. Теличенко, М.Е. Лейбман. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 492 с.
2. Руднев И.В. Проектирование и расчет пространственных каркасов зданий и сооружений в современных системах автоматизированного проектирования [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.В. Руднев, М.М. Соболев. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 102 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Северо-Кавказский федеральный университет

**МЕТОДИЧЕСКИЕ
УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ОРГАНИЗАЦИИ
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Основы проектирования и конструирования частей зданий**

Направление подготовки 08.03.01 Строительство

Направленность (профиль) Промышленное и гражданское строительство

Ставрополь

Содержание

Введение	
1. Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Основы проектирования зданий и сооружений».....	
2. Общие требования к написанию самостоятельной работы.....	
3. Общие требования к оформлению самостоятельной работы.....	
4. План-график выполнения самостоятельной работы	
5. Контрольные точки и виды отчетности по ним.....	
6. Задания к самостоятельной работе	
Рекомендуемая литература	

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы предназначены для студентов направления подготовки 08.03.01 Строительство.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, совершенствованию и самоорганизации;
- формирования общих и профессиональных компетенций;
- развитию исследовательских умений.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Перед выполнением студентами внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит инструктаж по выполнению задания, который включает цель задания, его содержание, сроки выполнения, ориентировочный объем работы, основные требования к результатам работы, критерии оценки. В процессе инструктажа преподаватель предупреждает студентов о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов используются семинарские занятия, зачеты, тестирование, самоотчеты, контрольные работы.

Критериями оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентом учебного материала;
- умение студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач; сформированность общеучебных умений;
- уровень умения активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями
- уровень умения четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- уровень умения определить, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;

- уровень умения сформулировать собственную позицию, оценку и аргументировать ее.

1. Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Основы проектирования зданий и сооружений»

Целью изучения дисциплины «Основы проектирования зданий и сооружений» является формирование набора общекультурных и профессиональных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки - Направление подготовки – 08.03.01 Строительство Профиль подготовки Промышленное и гражданское строительство.

Междисциплинарный подход позволяет сформировать знания о физико-технических и функциональных основах проектирования зданий и сооружений. Основными задачами изучения дисциплины являются:

- получение знаний о функциональных и физических основах архитектурно-строительного проектирования;
- подготовка специалистов к возможности оценивать качества принятых инженерно-технических решений, основные научно-технические проблемы и перспективы проектирования зданий и сооружений;
- научить определять характер, направленность и последствия своей профессиональной деятельности при разработке проектного решения здания или сооружения.

2. Общие требования к написанию самостоятельной работы

Самостоятельная работа выполняется в печатном виде на листах формата А4. Допускается выполнение работы в рукописном виде в тетради. Общий объем работы должен составлять 10-15 листов.

В задание варианта включается два теоретических вопроса. При написании теоретического вопроса следует пользоваться законодательными нормативными актами, учебной литературой, материалами периодической печати и статистическими данными. В конце самостоятельной работы нужно представить список использованных источников.

Структура самостоятельной работы:

Введение

Основная часть (Раздел 1, Раздел 2 и т.д.)

Заключение

Библиографический список

Приложения

3. Общие требования к оформлению самостоятельной работы

Самостоятельная работа должна быть напечатана на одной стороне листов белой бумаги формата А4 (210 297 мм).

Размеры полей: левое – 30 мм, правое – 10 мм, нижнее – 20 мм, верхнее – 15 мм.

Текст самостоятельной работы печатается через 1,5 интервала, шрифт

Times New Roman, кегль 14. Красная строка 1,25.

Страницы самостоятельной работы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Номер страницы проставляется в правом нижнем углу без точки в конце и без указания «стр.» или «с».

Параграфы, пункты и подпункты (кроме введения, заключения, библиографического списка и приложений) нумеруют арабскими цифрами, например: раздел 1., параграф 1.1., пункт 1.1.1., подпункт 1.1.1.1.

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Слово «раздел» не пишется. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание раздела. Заголовки и подзаголовки приводят в форме именительного падежа единственного или множественного числа. Разделы и подразделы следует располагать в середине строки. Переносы слов в заголовках не допускаются. Каждый раздел, начинается с новой страницы. Шрифт Times New Roman, жирный, кегль 14. Между подразделом и основным текстом ставится 1 пробел. Точка в конце названия раздела, подраздела не ставится.

Рисунки (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки, рисунки) следует располагать в работе непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые или на следующей странице, если в указанном месте они не помещаются. На все рисунки должны быть даны ссылки по тексту пояснительной записки.

Рисунки должны иметь названия, которые помещают под рисунком посередине. Они нумеруются арабскими цифрами порядковой нумерацией в пределах всей работы (Рис. 1. Генеральный план объекта). Шрифт Times New Roman, кегль 14. Нумерация рисунков сквозная. После названия рисунка ставится 1 пробел перед основным текстом.

Таблицы нумеровать арабскими цифрами порядковой нумерацией в пределах всей работы (нумерация сквозная). Пример оформления таблицы:

Таблица 1 – Объемно-планировочные показатели по зданию

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Величина показателя
1	2	3	4
1	Площадь застройки	м ²	102 500
2	Жилая площадь	м ²	180 118

При переносе таблицы на другую страницу название столбцов таблицы не повторяется. Повторяются только номера столбцов. Над ними пишется «Продолжение таблицы» и указывается ее номер. После таблицы ставится 1 пробел перед основным текстом.

4. План-график выполнения самостоятельной работы

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения
-------	----------------------------	------------------

1.	Выполнение рефератов по дисциплине «Архитектура и строительная физика»	12-14

5. Задания к самостоятельной работе

Студент выбирает тему реферата в соответствии со своими профессиональными интересами

1. Приемы архитектурно-композиционных решений зданий
2. Особенности расчета неоднородных ограждающих конструкций
3. Теплопередача в нестационарных условиях
4. Дифференциальное уравнение Фурье для неустановившегося потока тепла
5. Понятие температуропроводности
6. Коэффициент теплоусвоения
7. Распределение температуры в конструкциях. Понятие слоя резких колебаний температур
8. Сорбционные свойства материалов
9. Понятие равновесной влажности
10. Диффузия водяного пара
11. Расчет по предельно допустимому состоянию увлажнения
12. Конденсация влаги в помещении
13. Диффузия пара через однородные ограждающие конструкции
14. Диффузия пара через слоистые ограждающие конструкции
15. Реверберация
16. Проектирование залов предназначенных для слушания
17. Проектирование залов оборудованных акустическими системами
18. Графики движения людских потоков
19. Условия беспрепятственного движения людских потоков
20. Формирование и движение людских потоков в зрительных залах
21. Расчет коэффициента плотности людского потока
22. Условия беспрепятственной видимости
23. Построение кривой наименьшего подъема рядов мест зрительного зала
24. Приемы построения профиля подъема рядов
25. Схемы контрольной проверки условий видимости

Список рекомендуемой литературы

1. Волков А.А. Основы проектирования, строительства, эксплуатации зданий и сооружений [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.А. Волков, В.И. Теличенко, М.Е. Лейбман. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 492 с.
2. Руднев И.В. Проектирование и расчет пространственных каркасов зданий и сооружений в современных системах автоматизированного проектирования [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.В. Руднев, М.М. Соболев. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 102 с.