



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

Факультет «Школа архитектуры, дизайна и искусств»
Кафедра «Градостроительства и проектирования зданий»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
«Физика среды и ограждающих конструкций»
для направления 08.03.01 «Строительство»
профиля «Проектирование зданий»,
(для студентов заочной формы обучения, заочной ускоренной формы)

Ростов-на-Дону

2020

Раздел 1. АРХИТЕКТУРНАЯ СВЕТОТЕХНИКА

Тема 1.1. ИНСОЛЯЦИЯ И СОЛНЦЕЗАЩИТА

ИНСОЛЯЦИЯ

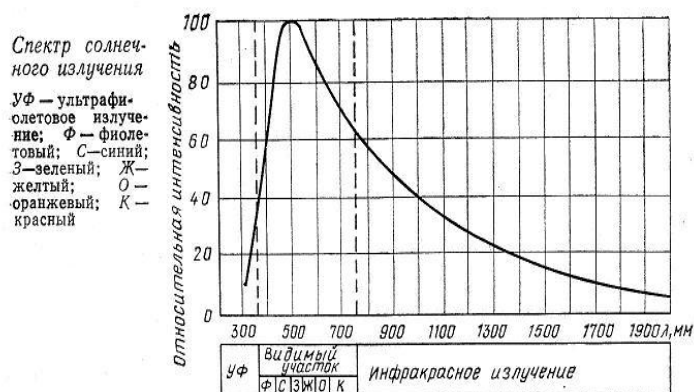
Воздействие прямого солнечного света на человека и окружающую среду

Материалами для застройки городов являются *солнце, пространство, растительность, сталь и бетон*. Их значение точно соответствует порядку перечисления.

Ле Корбюзье

Инсоляция – облучение поверхностей и пространств прямым солнечным светом, оказывающее световое, ультрафиолетовое и тепловое действие.

Спектр солнечного света



Воздействие инсоляции на человека и окружающую среду

Положительные эффекты	Отрицательные эффекты
1. Биологический: -бактерицидный эффект; -антирахитное действие; -общетерапевтическое действие; - эритемный эффект.	1.Тепловой дискомфорт – перегрев
2. Психоэмоциональный	2. Световой дискомфорт - слепимость
3. Экономический	3. Разрушающее действие на материалы
4. Эстетический	4. Вредное воздействие на организм и психику человека при избытке солнечной радиации

Воздействие инсоляции является двойственным. При проектировании зданий следует использовать положительное и устранить негативное действие инсоляции.

Нормирование инсоляции

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНСОЛЯЦИИ И СОЛНЦЕЗАЩИТЕ ПОМЕЩЕНИЙ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И ТЕРРИТОРИЙ, расчеты инсоляции являются обязательным разделом в составе предпроектной и проектной документации.

Нормируемой характеристикой является ***продолжительность инсоляции*** (ПИ) в часах.

Продолжительность инсоляции нормируется в:

- Жилых зданиях
- Детских дошкольных учреждениях (ДДУ)
- Учебных учреждениях (средних)
- Лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ)
- Учреждениях социального обеспечения

Продолжительность ***непрерывной*** инсоляции для помещений должна составлять:

- Для северной зоны ($> 58^{\circ}$ с.ш.) – не менее 2,5 часа в день с 22.04 по 22.08.
- Для центральной зоны (48° - 58° с.ш.) – не менее 2 часов в день с 22.04 по 22.08.
- Для южной зоны ($< 48^{\circ}$ с.ш.) – не менее 1,5 часа в день с 22.02 по 22.10.
(Ростов-на-Дону - 47° с.ш.- относится к южной зоне).

Требования к инсоляции жилых зданий

- ПИ должна быть обеспечена не менее, чем в одной комнате 1-3 комнатных квартир, и не менее, чем в двух комнатах 4-х и более комнатных квартир.
- В общежитии должно инсолироваться не менее 60% жилых комнат.

- Допускается прерывистая инсоляция. При этом один из периодов должен быть не менее часа, а суммарная ПИ должна превышать нормативную на полчаса для каждой зоны.
- Допускается снижение продолжительности инсоляции на 0,5 часа при реконструкции жилой застройки, расположенной в центральной, исторической зонах города.

Требования к инсоляции общественных зданий

Нормируемая ПИ должна быть обеспечена:

- в групповых, игровых, палатах ДДУ;
- в классах и учебных кабинетах школ;
- в палатах ЛПУ (не менее 60%);
- в палатах учреждений социального обеспечения.

Инсоляция *не рекомендуется* в следующих помещениях:

- операционных, реанимационных залах;
- паталогоанатомических отделениях;
- химических лабораториях;
- выставочных залах музеев;
- книгохранилищах и архивах.
- Рекомендуется отсутствие инсоляции в учебных кабинетах информатики, физики, химии, рисования и черчения.

Согласно СП-23-102-2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий», п.8.23: «В помещениях, предназначенных для экспозиции живописи, графики, тканей, ковров, гобеленов и т.п. **прямой солнечный свет должен быть исключен** вследствие его разрушающего действия на красители, ткани и бумагу».

Для обеспечения отсутствия инсоляции рекомендуется:

- Ориентация окон на СВ, С, СЗ.
- Применение солнцезащитных устройств (жалюзи).

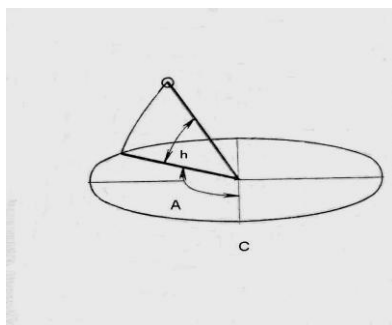
Требования к инсоляции территорий

На территориях детских и спортивных площадок жилых домов, групповых площадок ДДУ, зоны отдыха и спорта школ, зоны отдыха стационарных ЛПУ продолжительность инсоляции должна составлять не менее 2,5 часов на 50% участка независимо от географической широты.

Основы инсоляционных расчетов

Координаты Солнца

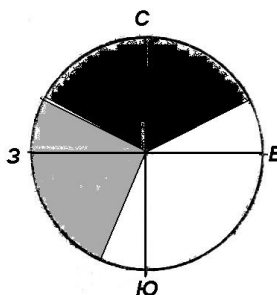
- Высота стояния Солнца h^0 – угол в вертикальной плоскости между солнечным лучом и его горизонтальной проекцией.
- Азимут Солнца A^0 – угол в горизонтальной плоскости, отсчитываемый от северного направления по часовой стрелке до горизонтальной проекции солнечного луча.



При определении продолжительности инсоляции применяются устройства, основанные на солнечной геометрии (движении Солнца по небосводу в характерные дни года): например, инсоляционный график, солнечная карта.

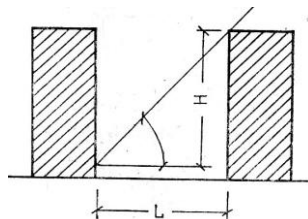
Архитектурно-планировочные меры по регулированию солнечной радиации в зданиях и на территории застройки

1. Ориентация зданий по сторонам горизонта



(Черный сектор – отсутствие инсоляции; серый сектор – перегрев для южной зоны)

2. Планировка застройки (взаиморасположение зданий, расстояние между ними)



3. Форма зданий

4. Внутренняя планировка зданий

5. Благоустройство территории: озеленение, обводнение, солнцезащита территорий

СОЛНЦЕЗАЩИТА

Конструктивные солнцезащитные и светорегулирующие средства:

1. Конструктивное решение светопроемов, выбор размеров, типа, формы
2. Солнцезащитные устройства (СЗУ)
3. Солнцезащитные стекла и материалы

Солнцезащитные устройства (СЗУ)

Функции

1. Защита от перегрева
2. Защита от светового дискомфорта
3. Перераспределение световых потоков
4. Архитектурно-художественная

Регламентация применения СЗУ

- СП «Тепловая защита зданий»: В районах со среднемесячной температурой июля $\geq +21^{\circ}\text{C}$ для окон жилых зданий, детских, лечебных и учебных учреждений следует предусматривать СЗУ.

- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01, раздел «Солнцезащита»: Требования по ограничению избыточного теплового действия инсоляции – для окон *юго-западной и западной ориентации*.
- Меры солнцезащиты не должны приводить к нарушению норм естественного освещения помещений.

Классификация СЗУ

По типу	По регулируемости	По размещению
1. Горизонтальные 2. Вертикальные 3. Комбинированные	1. Регулируемые 2. Стационарные	1. Наружные 2. Внутренние 3. Межстекольные

Критерии выбора СЗУ

1. Ориентация фасада

Горизонтальные СЗУ - Ю, ЮЮВ, ЮЮЗ

Вертикальные СЗУ – З, СЗ, В, СВ

Комбинированные СЗУ – ЮЗ, З, ЮВ

2. Климат района строительства

Наружная солнцезащита характерна для южных регионов, где ее применение оправдано в функциональном, экономическом и эстетическом отношениях (*защита от перегрева*).

3. Соответствие СЗУ назначению зданий

4. Соответствие размеров СЗУ требованиям затенения светопроемов

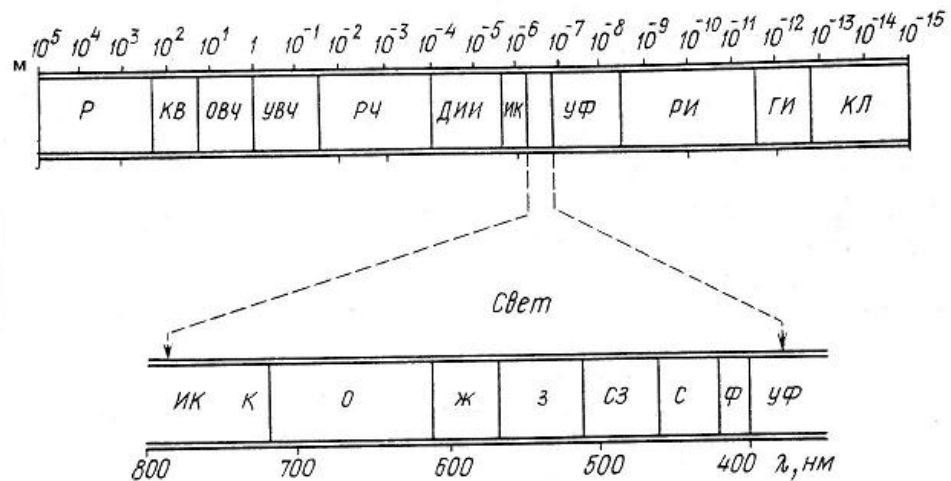
Тема 1.2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВЕТОТЕХНИКИ

СВЕТ И ЗРЕНИЕ

Свет – это

- *Электромагнитное излучение* в интервале длин волн от 400 до 760 нм (физический объективный процесс)
- *Зрительное ощущение*, вызываемое действием этого излучения (физиологический субъективный процесс)

Шкала электромагнитных волн



Физические характеристики света

- **Лучистый поток** – энергия, излучаемая в 1 секунду

$$\Phi = W / t, \text{ Вт}$$

- λ – **длина волны**, нм; ν – **частота**, Гц; c – **скорость света**, м/с

$$c = \lambda \cdot \nu$$

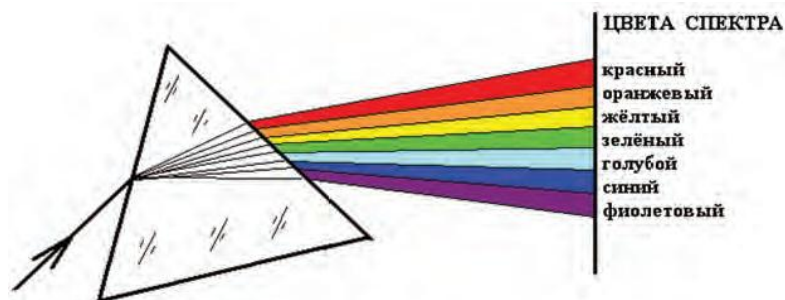
В вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Различают монохроматическое и сложное излучения.

Монохроматическое излучение характеризуется определенной длиной волны или очень узким интервалом длин волн. Действуя на глаз, вызывает ощущение того или иного **цвета**.

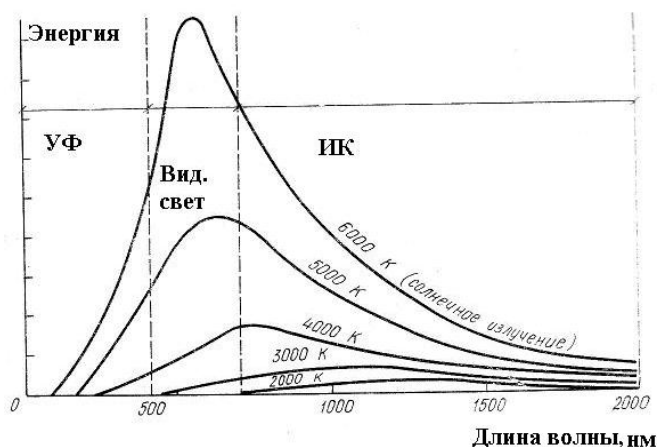
Сложное излучение – совокупность монохроматических излучений разных длин волн. Характеризуется **спектром**.

Опыт Ньютона

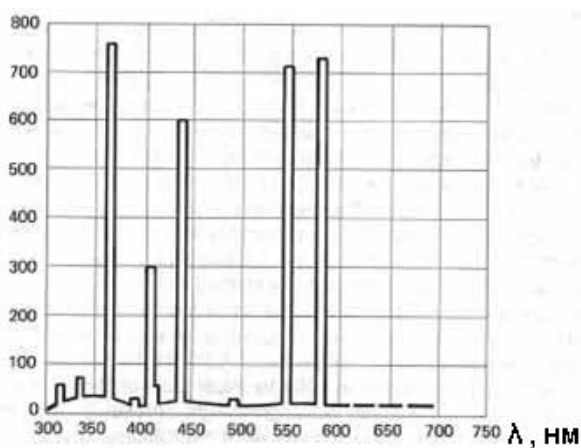


Типы спектров излучения

Сплошной спектр – спектр излучения, состоящего из монохроматических излучений всех длин волн в некотором интервале. Сплошным спектром характеризуется **тепловое излучение** – излучение, связанное с нагревом тел.



Линейчатый (дискретный) спектр – спектр излучения из отдельных монохроматических составляющих с определенными длинами волн. Пример: электролюминесценция ртутных ламп.



Зрительное восприятие

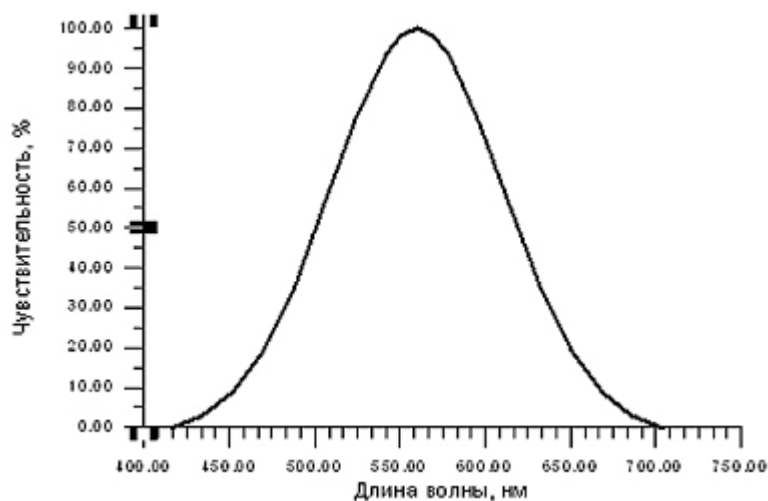
Видимость предметов основана на получении оптического изображения на светочувствительном слое сетчатки глаза. Он состоит из колбочек и палочек (светочувствительных клеток – фоторецепторов).

Колбочки – аппарат дневного зрения, реагируют на высокие яркости и обеспечивают цветное зрение.

Палочки – ответственны за ночное (сумеречное) зрение, чувствительны к слабым световым сигналам, не различают цвета.

Глаз обладает **спектральной чувствительностью**. Наиболее сильно он реагирует на желто-зеленое излучение с длиной волны **555 нм**. Например, ощущение, вызываемое светом мощностью 1 Вт с $\lambda=505$ нм (зеленый) или с $\lambda=605$ нм (оранжевый) вдвое слабее, чем ощущение от источника света той же мощности с $\lambda=555$ нм.

Кривая спектральной чувствительности глаза



Излучения одинаковой мощности, но разного цвета, вызывают разные по силе световые ощущения у человека. Между восприятием света и мощностью видимых электромагнитных волн нет прямой связи.

Необходимо ввести величины, которые учитывают и мощность световых волн, и интенсивность зрительных ощущений – **фотометрические величины**.

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

1. Световой поток

Световой поток F – поток лучистой энергии, оцениваемый по зрительному восприятию. Характеризует мощность световой энергии.

Единицы измерения – **люмен** (лм). Установлено, что 1 Вт излучения с $\lambda=555$ нм соответствует световому потоку в 683 лм.

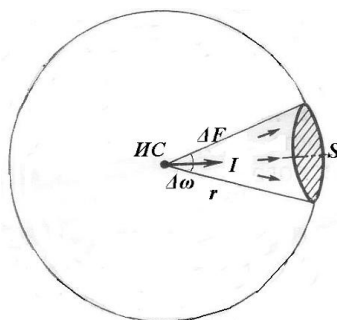
Световой поток – характеристика источников света.

Примеры:

- Велосипедная фара - 10 лм
- Лампа накаливания (60Вт) - 600 лм
- Компактная люминесцентная лампа (9 Вт) - 600 лм
- Лампа дневного света (65Вт) – 3160 лм
- Ксеноновая лампа сверхвысокого давления (20 кВт) - 700000 лм

2. Сила света

Характеризует распределение светового потока в пространстве. Связана с понятием из стереометрии – телесным углом. *Телесный угол*: $\Delta\omega = S/r^2$. Единица измерения –стерадиан (ср).



Полный телесный угол $\omega = S/r^2 = 4\pi r^2/r^2 = 4\pi$ ср .

Сила света I – отношение светового потока, излучаемого в данном направлении в пределах данного телесного угла, к величине этого угла

$$I = \Delta F / \Delta\omega$$

Сила света характеризуется не только величиной, но и направлением в пространстве. Ее направление – это ориентация оси элементарного телесного угла $\Delta\omega$.

Единица измерения силы света – **кандела** (кд)

Частный случай. Изотропный источник света – источник, который излучает одинаково по всем направлениям

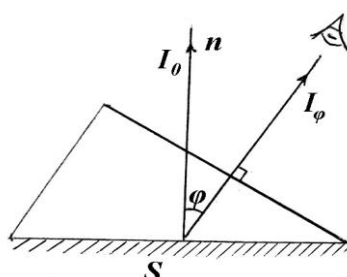
$$I = F / \omega = F / 4\pi$$

Кривая распределения силы света – это характеристика осветительных приборов.



3. Яркость

Яркость L – характеристика протяженных источников света.



$$L_{\varphi} = I_{\varphi} / S_{\varphi} = I_{\varphi} / (S \cos \varphi)$$

Яркость – это отношение силы света, излучаемой в данном направлении, к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению.

Яркость в направлении нормали к поверхности $L = I_0/S$.

Поверхности, обладающие одинаковой яркостью по всем направлениям, называются *равнояркими излучателями* (светильник - шар из молочного стекла).

Единица измерения яркости – кд/м² или *нит* (нт).

Яркость поверхностей в поле зрения наблюдателя имеет решающее значение для зрительного восприятия. При средней яркости поля зрения

0,001 нт – начинают реагировать палочки. При 3 нт начинают функционировать колбочки.

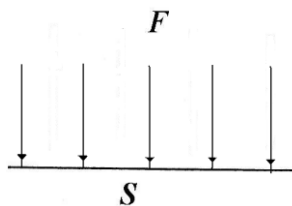
Яркости некоторых светящихся поверхностей. Примеры.

- Солнце - $1,5 \cdot 10^9$ нт
- Нить накала лампы - $(5 - 15) \cdot 10^6$ нт
- Лампа дневного света – 5000-10000 нт
- Облачное небо в полдень - 8000 нт
- Ясное небо в полдень- 2500-4000 нт
- Полная луна - 2500 нт

4. Освещенность

- характеристика освещаемых поверхностей.

Освещенность E – отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности.



$$E = F/S$$

Измеряется в лк (люксах).

Освещенность поверхности земли для некоторых типичных условий.

Примеры.

- Ясный солнечный день 100 000 лк
- Пасмурный день 5 000-10 000 лк
- Белые ночи 2 – 3 лк
- Ясная ночь, полнолуние 0,1 – 0,2 лк

Освещенность – нормируемая характеристика искусственного освещения.

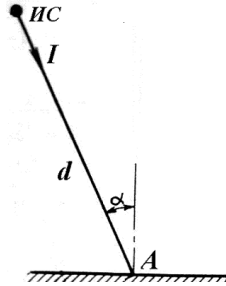
Нормы E : аудитория – 400 лк; класс - 500 лк; ресторан - 200 лк.

Законы освещенности

1. Закон обратных квадратов

Освещенность уменьшается пропорционально квадрату расстоянию от источника света.

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{d^2}$$

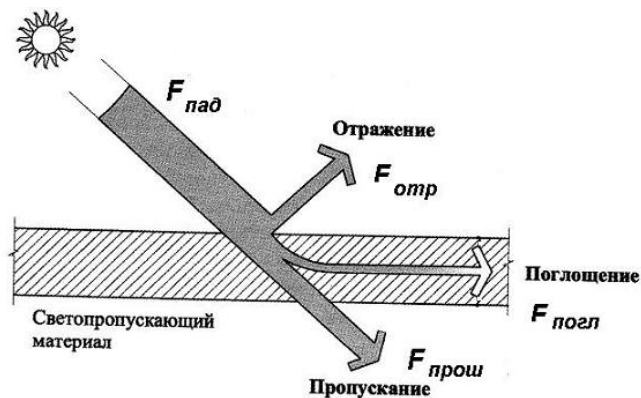


2. Закон аддитивности

При освещении поверхности несколькими источниками света ее освещенность равна сумме освещенностей, создаваемых каждым из этих источников.

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕЛ



Рассмотрим тело, на которое падает световой поток F .

$$F_{\text{пад}} = F_{\text{отр}} + F_{\text{погл}} + F_{\text{прош}}$$

Разделим это выражение на $F_{\text{пад}}$.

- $\rho = F_{\text{отр}} / F_{\text{пад}}$ - коэффициент отражения света
- $\alpha = F_{\text{погл}} / F_{\text{пад}}$ - коэффициент поглощения света
- $\tau = F_{\text{прош}} / F_{\text{пад}}$ - коэффициент пропускания света

Следовательно, $\rho + \alpha + \tau = 1$.

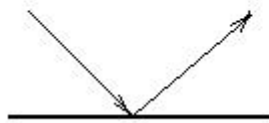
Примеры.

- Коэффициент отражения зеркала $\rho = 0,98$
- Коэффициент поглощения сажи $\alpha = 0,99$
- Коэффициент пропускания стекла $\tau = 0,9$

Основные типы отражения и пропускания света

Отражение

Направленное



Диффузное
(Рассеянное)



Направленно-
диффузное



Примеры поверхностей, отражающих свет

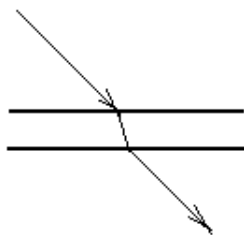
направленно – зеркало, полированные поверхности;

диффузно – оштукатуренные поверхности;

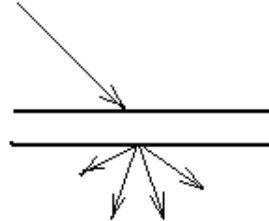
направленно-диффузно – поверхности, окрашенные масляной краской.

Пропускание

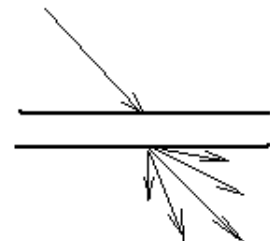
Направленное



Диффузное
(Рассеянное)



Направленно-
диффузное



Примеры тел, пропускающих свет

направленно – оконные стекла;

диффузно – молочные стекла;

направленно-диффузно – матированные стекла.

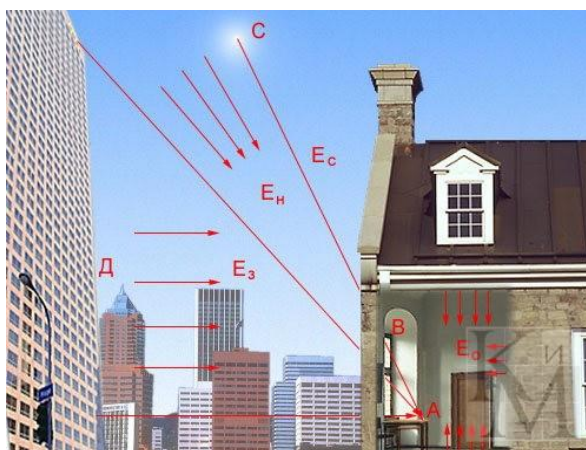
Тема 1.3. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

ФУНКЦИИ И СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ. ПОНЯТИЕ КЕО.

Функции естественного освещения. Понятие КЕО

- Создание условий хорошей видимости
- Благоприятное влияние на организм и психику человека, среду помещения
- Экономия энергии
- Архитектурно-художественная.

Естественное освещение расчетной точки в помещении



Естественная освещенность в расчетной точке

$$E = E_C + E_H + E_{OTR} ,$$

E_C – освещенность прямым солнечным светом;

E_H – освещенность диффузным (рассеянным) светом неба;

E_{OTR} – освещенность, создаваемая отраженным светом.

Естественное освещение создается рассеянным светом облачного небосвода и светом, отраженным от внутренних поверхностей помещения и противостоящих зданий.

Прямой солнечный свет (E_C) в расчетах естественного освещения *не* учитывается.

Нормируемая характеристика естественного освещения - **коэффициент естественной освещенности (КЕО).**

КЕО – это выраженное в процентах отношение освещенности в данной точке внутри помещения к **одновременной** наружной горизонтальной освещенности, создаваемой рассеянным светом всего небосвода.

$$e_N = \frac{E_N}{E} \cdot 100\%$$

Системы естественного освещения

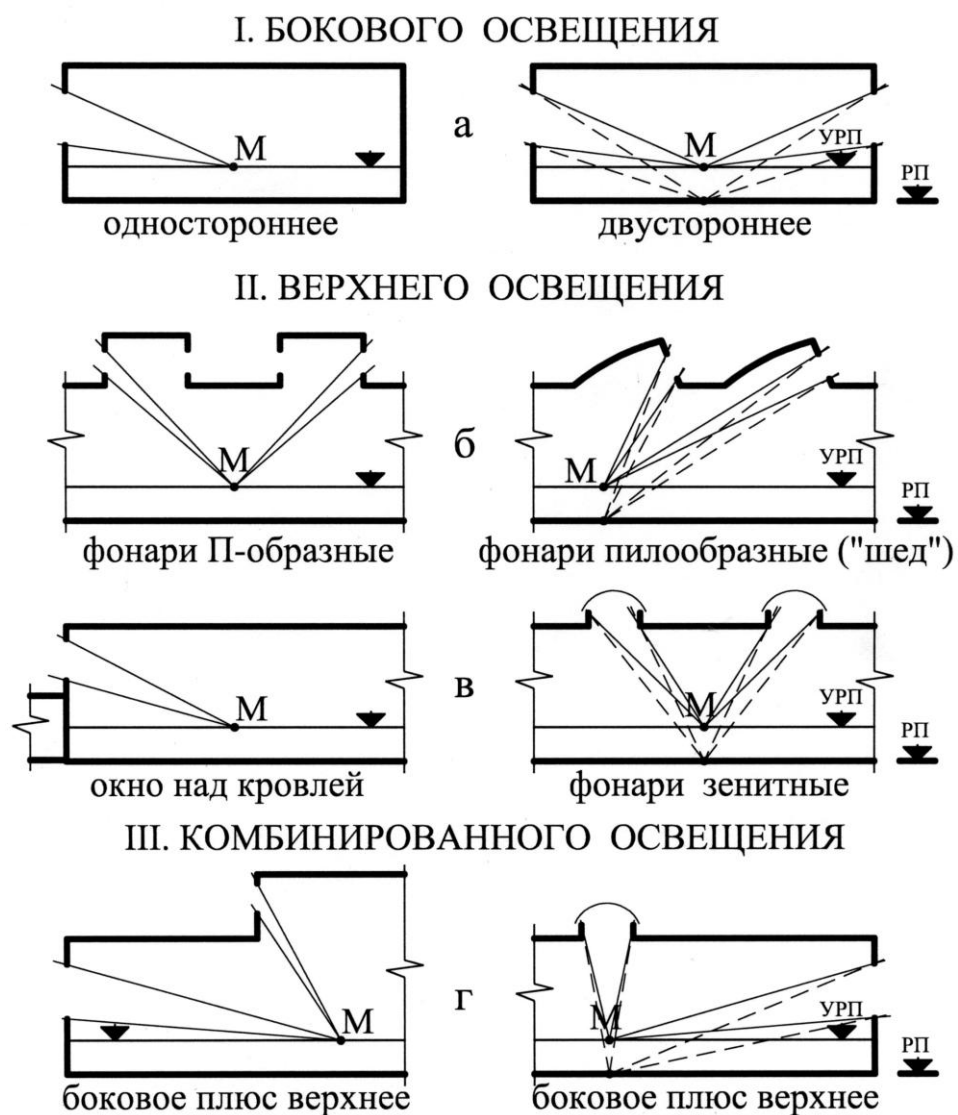
I. Боковое освещение (окна, витражи, ленточное остекление)

II. Верхнее освещение:

- зенитные фонари (ленточные, штучные), световые купола;
- фонари с двусторонним остеклением (прямоугольные, трапецевидные);
- фонари с односторонним остеклением – шеды;
- полые протяженные световоды – новый прием верхнего освещения.

III. Комбинированное освещение.

Расчет и нормирование естественного освещения связаны с выбором системы освещения

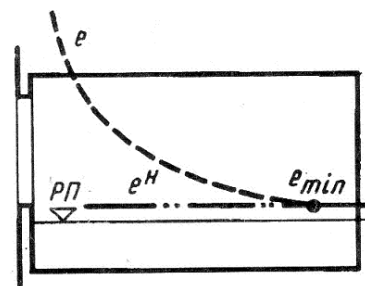


НОРМИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

e_n – нормированное значение КЕО. Ниже представлен выбор e_n в зависимости от вида ЕО.

1) Боковое одностороннее освещение:

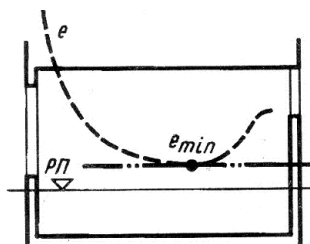
e_n должно быть обеспечено в глубине или в центре помещения (в зависимости от назначения)



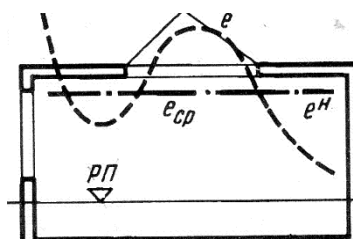
В зоне с недостаточным естественным освещением применяют *совмещенное освещение*, при котором *естественное* освещение дополняют *искусственным*.

Совмещенное освещение не допускается проектировать в жилых комнатах, детских и лечебных учреждениях.

2) При боковом двухстороннем освещении e_n должно быть обеспечено в центре помещения



3) При верхнем и комбинированном освещении нормируется *среднее значение* КЕО – e_{cp} .



Нормированное значение КЕО определяется также характером и точностью зрительной работы, то есть назначением помещения.

Зрительная работа характеризуется объектом различения, его размером (а также – контрастом между объектом и фоном). *Объект различения* – отдельная часть рассматриваемого предмета (нить ткани, линия, царапина и пр.)

e_n для *производственных помещений* принимается в зависимости от разряда зрительной работы, для *общественных* - зависимости от назначения помещения.

Допускается снижение расчетного значения КЕО от нормируемого e_n не более, чем на 10%.

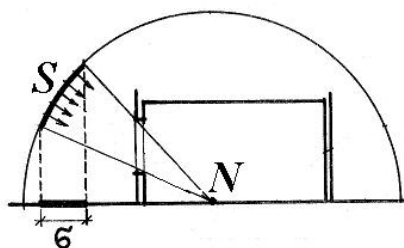
РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Основной закон светотехники - **закон проекции телесного угла**

Этот закон определяет естественную освещенность внутри помещения E_N .

При выводе закона сделаны следующие *допущения*:

- Яркость неба одинакова во всех точках: $L = \text{const}$.
- Не учитывается влияние отраженного света.
- Не учитывается ширина и заполнение светового проема.

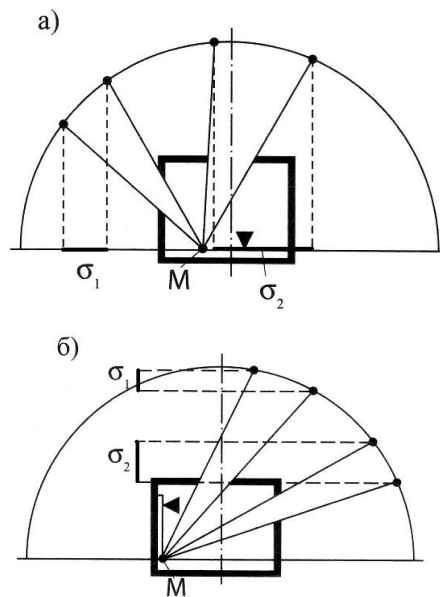


$$E_N = L \cdot \sigma$$

Освещенность в точке внутри помещения прямо пропорциональна площади проекции на освещаемую поверхность участка небосвода, видимого из точки через светопроем.

Задача. Сравнить световую активность бокового и верхнего светопроемов при освещении:

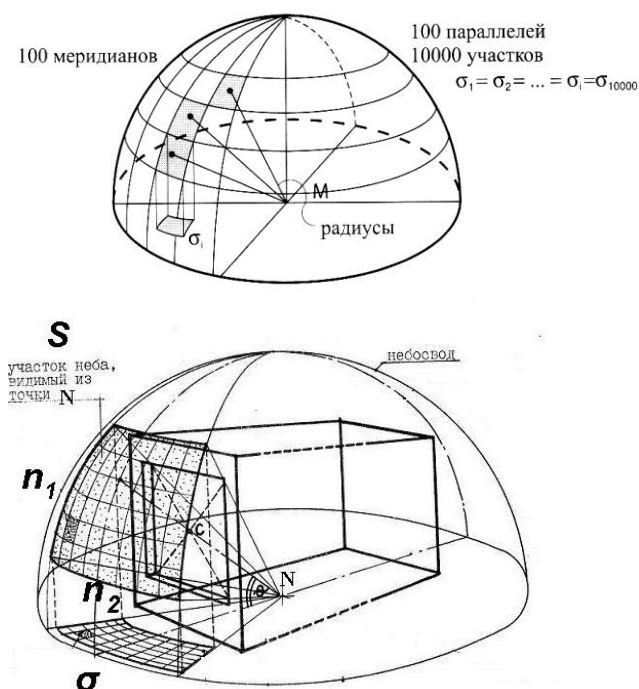
- а) горизонтальной поверхности;
 б) вертикальной поверхности.



Ответ: при освещении горизонтальной поверхности большую световую активность имеет верхний светопроем, при освещении вертикальной – окно.

Определение геометрического КЕО. Методика А.М. Данилюка

Полусфера небосвода разделена с помощью 100 параллелей и 100 меридианов на 10 000 участков, *проекции* которых на горизонтальную плоскость *равны между собой*.



Вывод формулы для геометрического КЕО

$$S = n_1 \cdot n_2 \quad \text{и} \quad \sigma = n_1 \cdot n_2$$

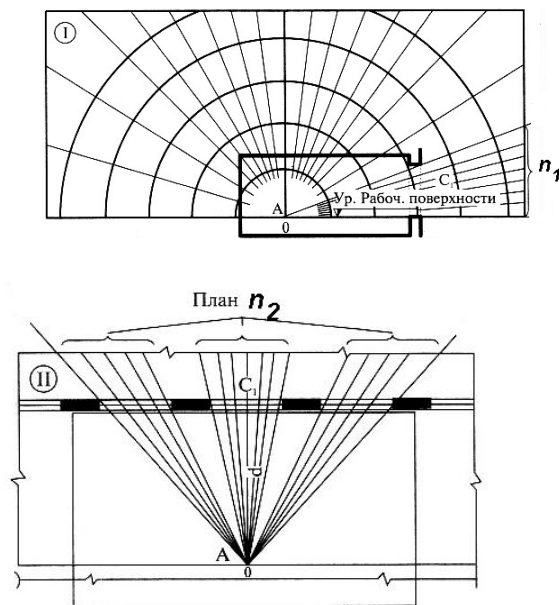
Используем закон проекции телесного угла $E_N = L \cdot \sigma$ и определение КЕО:

$$e_N = \frac{E_N}{E} \cdot 100\% = \frac{L \cdot n_1 \cdot n_2}{L \cdot 10000} \cdot 100\% = 0,01 n_1 \cdot n_2$$

Определение количества лучей n_1 и n_2

Данилюк спроектировал систему радиусов на вертикальную и горизонтальную плоскости и получил график I и график II.

График I используется на поперечном разрезе помещения, график II – на плане.



При выводе формулы для КЕО $e_N = 0,01 n_1 \cdot n_2$ не учитывались:

- влияние отраженного света;
- заполнение светового проема;
- неравномерная яркость облачного неба.

Этот коэффициент называется **геометрическим КЕО**:

$$e_N = 0,01 n_1 \cdot n_2$$

Расчетное значение КЕО зависит от

- геометрических факторов (положения расчетной точки относительно светопроема, размеров и расположения светопроемов, габаритов и пропорций помещения);
- заполнения светопроема (остекления, переплетов, наличия СЗУ);
- отделки внутренних поверхностей помещения;
- наличия противостоящих зданий.

Раздел 2. СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

Тема 2.1. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВОЙ МИКРОКЛИМАТ ПОМЕЩЕНИЙ

Тепловой микроклимат помещения – совокупность условий, оказывающих воздействие на тепловое состояние человека.

Нормируемые показатели микроклимата:

- 1) температура внутреннего воздуха t_v , °С;
- 2) относительная влажность внутреннего воздуха ϕ_v , %;
- 3) скорость движения (подвижность) воздуха v_v , м/с;
- 4) температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций τ_v , °С.

Значения этих параметров должны соответствовать назначению помещения и санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к нему.

Рекомендуемые характеристики внутренней воздушной среды, прежде всего, соответствуют состоянию теплового комфорта человека.

Оптимальные параметры микроклимата – это условия, при которых человек испытывает состояние теплового комфорта, то есть механизм терморегуляции организма испытывает наименьшее напряжение. При *допустимых параметрах* механизм терморегуляции работает с некоторым напряжением, но человек не испытывает дискомфорт и не происходит ухудшение его здоровья.

На диапазон нормируемых показателей микроклимата влияют:

- степень тяжести выполняемой работы;

- период года.

Нормируемые параметры микроклимата устанавливаются для *холодного и теплого* периодов года.

Холодный период характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха, равной 8°C и ниже (при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых в качестве граничной принята температура 10°C); в этот период *работают системы отопления здания.*

Теплый период – период года со среднесуточной температурой наружного воздуха выше 8°C (10°C – для зданий, отмеченных ранее).

Воздействие тепловой среды на состояние человека является комплексным. Условия теплового комфорта включают не только определенный интервал температур, но и соответствующие значения относительной влажности, подвижности воздуха.

При комфортных температурах на тепловое состояние человека заметно влияют низкие и высокие значения относительной влажности. Так, при влажности менее 20 % пересыхает слизистая оболочка дыхательного тракта и возрастает восприимчивость к инфекции. При большой относительной влажности затруднен процесс испарения влаги из легких и дыхательных путей и с потоотделением. Снижается теплоотдача во внешнюю среду, что приводит к ощущению духоты.

Подвижность воздуха участвует в создании теплового комфорта в помещении. неподвижный воздух в помещении даже зимой отрицательно влияет на общее состояние человека, вызывает чувство утомления, создает впечатление затхлости. Минимальная рекомендуемая подвижность воздуха составляет 0,05 – 0,15 м/с. В летний период года движение воздуха оказывает благоприятное действие, усиливая теплоотдачу с поверхности кожи и ускоряя испарение. Слишком большая подвижность воздуха раздражает, вызывает ощущение сквозняка, способствует чрезмерному охлаждению.

Оптимальные и допустимые нормы для жилых помещений

Период	$t_{в}, ^\circ\text{C}$		$\phi_{в}, \%$		$v_{в}, \text{м/с}$	
	опт	доп	опт	доп	опт	доп
Холодный	20-22	19-24	30-45	≤ 60	$\leq 0,15$	$\leq 0,2$
Теплый	22-25	20-28	30-60	≤ 65	$\leq 0,2$	$\leq 0,3$

Температуры поверхностей в помещении (стены, пол и др.) играют существенную роль в формировании микроклимата. Зимой температура внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций $t_{в}$ на несколько градусов ниже температуры внутреннего воздуха $t_{в}$. Находясь вблизи холодной поверхности, человек теряет тепло путем излучения и может испытывать тепловой дискомфорт. Кроме того, на холодной внутренней поверхности стены может образовываться конденсат, что нарушает санитарно-гигиенические требования и не допускается.

Средства по обеспечению требуемых показателей внутренней среды помещений

Для создания и поддержания в помещениях здания определенного теплового режима существуют *пассивные* и *активные* средства.

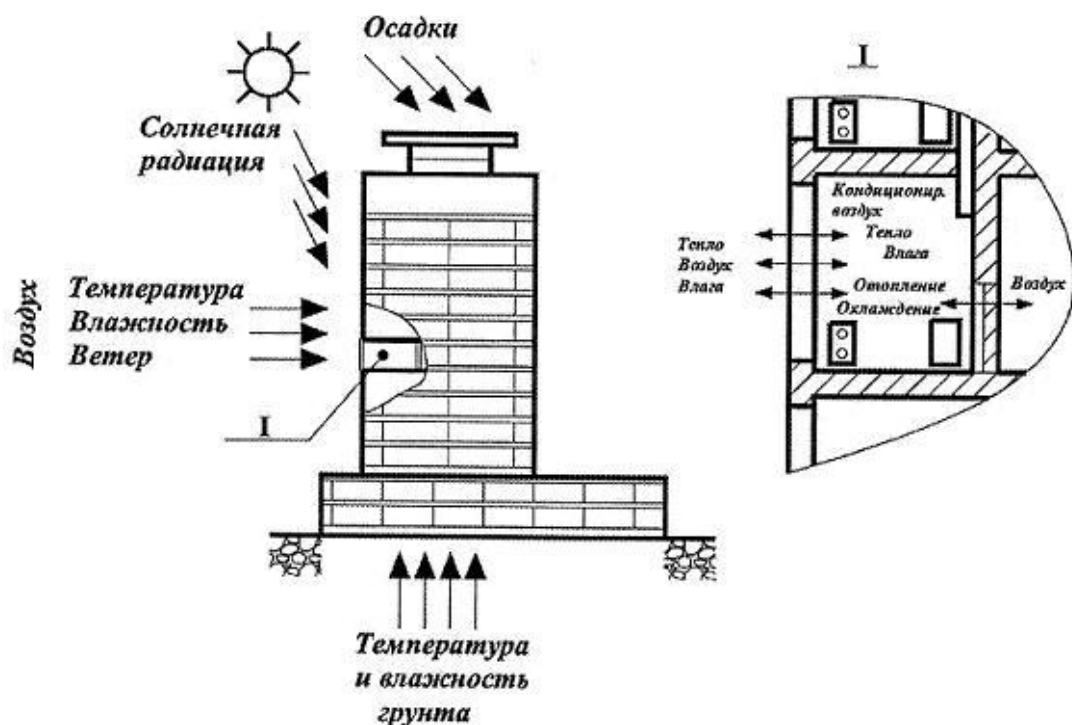
К *пассивным* (иначе – естественным) факторам формирования теплового микроклимата относятся архитектурно-планировочные и конструктивные. *Активные* (или искусственные) средства регулирования теплового режима – это системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, требующие подвода энергии. В современных условиях проблема сокращения энергопотребления этими системами является крайне актуальной. Энергосберегающие меры направлены на выбор конструкций и архитектурно-планировочных решений зданий, то есть на максимальное использование пассивных средств.

Роль ограждающих конструкций в формировании теплового микроклимата

Наружные ограждающие конструкции защищают помещения от непосредственных атмосферных воздействий. Разность температур

наружного и внутреннего воздуха, солнечная радиация приводят к теплотерям через ограждения в холодное время и теплоступлениям летом. Гравитационные силы и действие ветра создают перепады давлений, приводящие зимой к фильтрации холодного воздуха через поры материалов и неплотности ограждающих конструкций. Атмосферные осадки, выделения влаги в помещениях, разность влажности внутреннего и наружного воздуха вызывают влагоперенос через ограждения. При этом возможно увлажнение материалов, ухудшение их теплозащитных свойств и снижение долговечности наружных стен и покрытий.

Для обеспечения комфортных условий в помещениях зданий, нормального протекания производственных процессов, оптимизации потерь тепла зимой и теплоступлений летом, выполнения норм по ограничению энергозатрат запроектированные ограждающие конструкции должны удовлетворять нормативным требованиям к сопротивлению теплопередаче, теплоустойчивости, влажностному режиму, воздухопроницаемости.



ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Теплообмен – перенос тепла, обусловленный разностью температур.

Различают три вида (или способа) переноса тепла: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение.

Теплопроводность – это теплоперенос при непосредственном соприкосновении тел или частей одного тела с разной температурой.

Конвекцией называется перенос теплоты при движении жидкости или газа из области с одной температурой в область с другой.

Тепловое излучение (лучистый теплообмен) - это теплообмен между телами с разной температурой через лучепрозрачную среду (например, воздух, вакуум) с помощью электромагнитных волн.

Теплопроводность в чистом виде большей частью имеет место лишь в твердых телах. Конвекция всегда сопровождается теплопроводностью. Частным случаем конвективного теплообмена является **теплоотдача** – теплообмен между движущейся средой и поверхностью твердого тела. Теплоотдача может сопровождаться тепловым излучением.

Процессы переноса тепла в зданиях и их ограждающих конструкциях связаны со всеми видами теплообмена. Однако в воздушной среде у поверхностей конструкции, а также в воздушных прослойках и пустотах преобладает теплообмен конвекцией и излучением, в твердых же материалах конструкций перенос тепла осуществляется путем теплопроводности.

Включающий все виды теплообмена перенос тепла от нагретой среды к холодной через разделяющую эти среды стенку называется **теплопередачей**.

Интенсивность процесса теплопереноса характеризуется **плотностью теплового потока q** . Это - количество тепла, проходящее в единицу времени через единицу площади.

$$q = \frac{Q}{\tau \cdot S}, \text{ Вт/м}^2$$

q – это вектор, направленный в сторону уменьшения температуры.

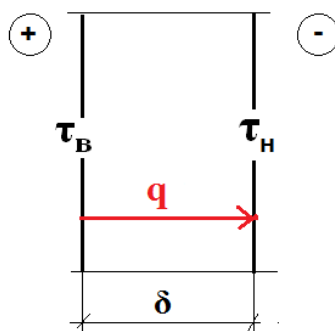
В теплотехнических расчетах ограждающих конструкций для холодного периода принимаются следующие допущения. Температуры внутреннего и наружного воздуха $t_{в}$ и $t_{н}$ принимаются постоянными. В этом случае постоянной будет и плотность теплового потока через ограждающую конструкцию.

$$t_{в} = \text{const}, t_{н} = \text{const}, q = \text{const}$$

Теплопередача в таких условиях является **стационарной**. Зимой будем рассматривать *стационарную теплопередачу*.

Теплопроводность плоской стенки

Рассмотрим перенос тепла через однослойную плоскую стенку толщиной δ зимой ($q = \text{const}$). Температура внутренней поверхности стенки $\tau_{в}$, температура наружной поверхности – $\tau_{н}$. Тепло передается путем теплопроводности.



Плотность теплового потока через однородную плоскую стенку выражается формулой

$$q = \frac{\lambda(\tau_{в} - \tau_{н})}{\delta}$$

Количество теплоты, проходящее через единицу поверхности стенки в единицу времени, прямо пропорционально коэффициенту теплопроводности λ , разности температур на поверхностях стенки ($\tau_{в} - \tau_{н}$) и обратно пропорционально толщине стенки δ .

λ – **коэффициент теплопроводности** материала, основная теплофизическая характеристика вещества. Характеризует способность материала проводить тепло.

Наихудшими проводниками теплоты являются газы. Коэффициент теплопроводности воздуха составляет 0,026 Вт/(м·°C). Коэффициент теплопроводности воды примерно равен 0,6 Вт/(м·°C).

Металлы отличаются наибольшей теплопроводностью. Самый теплопроводный металл – серебро (458 Вт/(м·°C)), высокие коэффициенты λ у меди (384 Вт/(м·°C)), алюминия (204 Вт/(м·°C)).

Коэффициент теплопроводности *строительных материалов* зависит, главным образом, от химического состава, плотности (объемного веса) и влажностного состояния вещества. Чем меньше плотность строительного материала, тем больше его пористость и, как правило, тем меньше его коэффициент теплопроводности. Например, для керамзитобетона плотностью 1800 кг/м³ в сухом состоянии $\lambda=0,66$ Вт/(м·°C), а с плотностью 1000 кг/м³ $\lambda=0,27$ Вт/(м·°C).

Эффективные теплоизоляционные материалы имеют низкую плотность и теплопроводность. Например, теплопроводность пенополистирола составляет 0,041 – 0,05 Вт/(м·°C).

Большое влияние на теплопроводность материалов оказывает их влажностное состояние: λ увеличивается с повышением влажности.

Для характеристики теплозащитных свойств однослойной стенки вводится *термическое сопротивление* R.

$$R = \frac{\delta}{\lambda}$$

Тогда плотность теплового потока равна $q = \frac{\tau_v - \tau_n}{R}$

Единицы измерения R - м²·°C/Вт.

Для многослойной конструкции, состоящей из n слоев, термическое сопротивление равно сумме сопротивлений отдельных слоев

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}$$

Теплоотдача у поверхностей ограждения

Теплоотдача у поверхности ограждения достаточно точно описывается *законом Ньютона*, согласно которому плотность теплового потока на поверхности теплообмена прямо пропорциональна разности температур и окружающей среды

$$q = \alpha (\tau - t)$$

Здесь t и τ – температуры окружающей среды и поверхности стенки, соответственно; $t < \tau$; α – коэффициент теплоотдачи.

Коэффициент теплоотдачи характеризует интенсивность процесса. Он измеряется в Вт/(м²·°C).

Коэффициент α является сложной функцией различных величин, характеризующих процесс теплоотдачи. Он зависит от температуры и формы поверхности, от скорости движения среды, ее температуры, физических свойств: коэффициента теплопроводности, теплоемкости, вязкости и др.

Величина $1/\alpha$, обратная коэффициенту теплоотдачи, называется *термическим сопротивлением* теплоотдаче. Она имеет такую же размерность, как термическое сопротивление R , то есть м²·°C/Вт.

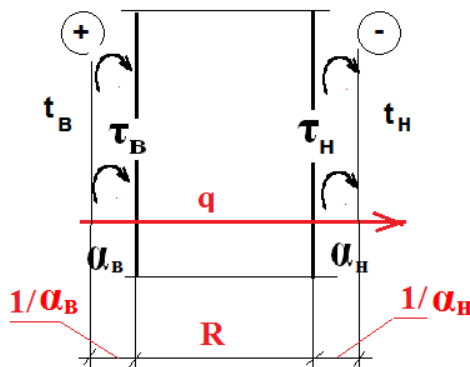
Поскольку коэффициент теплоотдачи α зависит от многих факторов, то для большинства характерных случаев он определен экспериментально. В теплотехническом расчете ограждающих конструкций используются следующие значения:

- коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для холодного периода $\alpha_{\text{в}} = 23$ Вт/(м²·°C);
- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции $\alpha_{\text{н}} = 8,7$ Вт/(м²·°C).

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Рассмотрим однородную плоскую стенку с коэффициентом теплопроводности λ и толщиной δ . Она разделяет две воздушные среды: внутреннюю с температурой $t_{\text{в}}$ и наружную с температурой $t_{\text{н}}$. Температуры $t_{\text{в}}$

и t_n не меняются с течением времени, следовательно, процесс теплопередачи через стенку является стационарным.



На своем пути тепловой поток q «преодолевают» термические сопротивления: внутреннего слоя воздуха - $1/\alpha_B$, самой стенки - R , равное δ/λ , наружного слоя воздуха - $1/\alpha_n$. Сумма этих термических сопротивлений представляет собой *сопротивление теплопередаче* однослойной стенки.

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R + \frac{1}{\alpha_n}$$

Выражение для плотности теплового потока можно записать как

$$q = \frac{t_B - t_n}{R_0}$$

Сопротивление теплопередаче определяет теплозащитные свойства ограждающей конструкции в стационарных условиях. Такие условия характерны для холодного периода года: зимой температура наружного воздуха часто бывает устойчивой, а отопление поддерживает постоянную внутреннюю температуру.

Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», наружные ограждающие конструкции должны быть запроектированы таким образом, чтобы их сопротивление теплопередаче R_0 было не меньше нормируемого значения $R_{тр}$. Следовательно, должно выполняться условие:

$$R_0 \geq R_{тр}$$

Требуемое сопротивление теплопередаче

Установление требований к теплозащитным свойствам ограждений неразрывно связано с задачей энергосбережения в зданиях, а именно: с уменьшением затрат на отопление. Количественной характеристикой, определяющие эксплуатационные расходы, то есть издержки на отопление, являются **градусо-сутки отопительного периода** – ГСОП, °С·сут. Величина ГСОП зависит от расчетной температуры внутреннего воздуха t_v , а также от средней температуры наружного воздуха отопительного периода $t_{от}$, °С, и от продолжительности отопительного периода $z_{от}$, сут.

$$\text{ГСОП} = (t_v - t_{от}) \cdot z_{от}$$

Значения $t_{от}$ и $z_{от}$ следует принимать согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» для соответствующего города или населенного пункта.

Требуемое сопротивление теплопередаче $R_{тр}$ зависит от ГСОП, назначения помещения и вида ограждающей конструкции.

$$R_{тр} = a \cdot \text{ГСОП} + b,$$

где ГСОП - градусо-сутки отопительного периода для конкретного пункта; а и b – коэффициенты, значения которых зависят от назначения здания и вида ограждающей конструкции.

Рекомендуемые наружные стены с заданными теплозащитными свойствами

Современные нормы по тепловой защите зданий значительно ужесточают требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций. Традиционные конструктивные решения оказываются невозможными.

Например, расчеты показывают, что по новым нормам для обеспечения требуемого сопротивления теплопередаче $R_{тр}$ толщина кирпичной стены жилого дома в условиях Москвы должна составлять не менее 2,41 м, а для Ростова-на-Дону – 1,73 м!

Рассмотрим рекомендации по выбору конструктивных решений, обеспечивающих необходимую теплозащиту зданий.

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

Однослойные стены выполняют из конструкционно-теплоизоляционных материалов, совмещающих несущие и теплозащитные функции (пенобетоны, ячеистые бетоны и др.)

Трехслойными стенами, например, могут являться: наружные стены каркасных деревянных домов, трехслойные железобетонные панели и стены колодцевой кладки из штучных каменных материалов. Толщина теплоизоляционного слоя диктуется теплофизическими требованиями и определяется по расчету.

В *двухслойных* стенах утеплитель может располагаться как внутри, так и снаружи.

При *внутреннем утеплении* не меняется облик здания, поэтому данный способ часто применяют в зданиях со сложными в архитектурном плане фасадами, представляющими художественную или историческую ценность.

Недостатки внутреннего утепления:

- уменьшение полезной площади внутренних помещений;
- конденсация влаги на границе утеплителя и плотного наружного слоя зимой.

При *наружном утеплении* используются два варианта: системы с наружным покровным слоем без зазора и системы с воздушным зазором между наружным облицовочным слоем и утеплителем.

Навесной вентилируемый фасад – это конструкция, состоящая из материалов облицовки и подоблицовочной конструкции, которая крепится к стене таким образом, чтобы между защитно-декоративной облицовкой и стеной оставался воздушный промежуток. Для дополнительного утепления наружных конструкций между стеной и облицовкой устанавливается

теплоизоляционный слой, так что вентиляционный зазор оставляется между облицовкой и теплоизоляцией.

Тема 2.2. ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Характеристики влажностного состояния воздуха

В атмосферном воздухе, а, следовательно, и в воздухе помещения всегда содержится определенное количество водяного пара. Влажностное состояние воздуха определяется абсолютной и относительной влажностью воздуха.

Абсолютная влажность воздуха соответствует количеству водяного пара в кг, содержащегося в 1 м³ воздуха. Однако в теплотехнических расчетах ограждающих конструкций и, в частности, при расчетах диффузии водяного пара через ограждение абсолютное содержание влаги в воздухе выражают величиной *парциального давления водяного пара e* .

Парциальное давление возрастает по мере увеличения количества водяных паров в воздухе. Однако, как и абсолютная влажность, оно не может возрастать беспредельно в воздухе с определенной температурой и барометрическим давлением.

Предельное значение парциального давления E соответствует полному насыщению воздуха водяными парами. Оно носит название *парциального давления насыщенного водяного пара*. Значение парциального давления насыщенного водяного пара E возрастает с ростом температуры.

Степень насыщения воздуха водяными парами выражается относительной влажностью воздуха.

Относительная влажность воздуха ϕ - это выраженное в процентах отношение парциального давления водяного пара e , содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению насыщенного водяного пара E при той же температуре.

$$\phi = e / E \cdot 100\%$$

При повышении температуры воздуха его относительная влажность понижается и, наоборот, при охлаждении воздуха относительная влажность будет увеличиваться, поскольку величина парциального давления e остается постоянной, а предельное его значение E увеличивается с повышением температуры. При некоторой температуре максимальное значение давления водяного пара может стать равным величине e . В этом случае относительная влажность воздуха будет равна 100%. Наступает, так называемое, состояние полного насыщения воздуха водяным паром.

Температура, при которой наступает полное насыщение воздуха водяным паром, называется **температурой точки росы** или **точкой росы** t_p .

Если охлаждать воздух ниже температуры точки росы, то избыточное количество водяного пара будет конденсироваться, т.е. переходить в жидкое состояние.

Причины увлажнения ограждающих конструкций

Возможными причинами увлажнения ограждения могут быть следующие:

1. Строительная влага, которая попадает в ограждения во время возведения здания. Ее количество зависит от начальной влажности применяемых материалов, сборных деталей, а также от увлажнения в связи с применением мокрых технологических процессов (кладка кирпича на растворах, штукатурка мокрым способом и т. д.).

2. Грунтовая влага, проникающая в ограждение из грунта, под действием капиллярных сил при отсутствии или плохом выполнении гидроизоляции между подземными и наземными конструкциями.

3. Метеорологическая влага, проникающая в ограждение в связи с выпадением косых дождей, мокрого снега или инея. Воздействие этой влаги в сухих или умеренных районах обычно бывает непродолжительным. Однако, в некоторых климатических районах с ветрами постоянного направления и сопровождающими их дождями (например, в приморских

районах Дальнего Востока) этот вид влаги является основным источником увлажнения ограждений.

4. Гигроскопическая влага, проникающая в ограждения вследствие гигроскопичности его материала, т. е. его способности поглощать (сорбировать) влагу из воздуха.

5. Конденсационная влага, появляющаяся в ограждениях, вследствие конденсации проникающих из воздуха водяных паров. Конденсация водяных паров может происходить как на внутренней поверхности, так и в его толще.

Из перечисленных источников увлажнения конденсация водяных паров является основной причиной повышенного увлажнения ограждения в процессе его эксплуатации.

Образование конденсата на внутренней поверхности ограждений может привести к отсыреванию штукатурки и появлению плесени, что вредно влияет на микроклимат помещений и здоровье людей и недопустимо, согласно санитарно-гигиеническим требованиям.

Появление влаги в стене приводит к увеличению теплопроводности строительных материалов, особенно – теплоизоляционного слоя, что снижает сопротивление теплопередаче и теплозащитные качества ограждающих конструкций. Конденсат в стене может замерзнуть в холодный период, а так как вода при замерзании расширяется, это приводит к деформации и снижению долговечности материалов и конструкций.

КОНДЕНСАЦИЯ ВЛАГИ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОГРАЖДЕНИЯ

Санитарно-гигиенический показатель тепловой защиты зданий

Согласно методике проектирования тепловой защиты зданий, ограждающие конструкции следует проверить на обеспечение комфортных условий в помещениях и на невыпадение конденсата на внутренней поверхности.

Чтобы исключить выпадение конденсата на всех участках внутренней поверхности наружных ограждений, их температура t_v должна быть не меньше температуры точки росы t_p ; то есть должно соблюдаться условие:

$$\tau_{\text{в}} \geq t_{\text{р}}$$

Предотвратить образование конденсата на внутренней поверхности ограждения возможно с помощью следующих мероприятий:

- а) снижения влажности внутреннего воздуха посредством естественной или искусственной вентиляции;
- б) повышения температуры внутренней поверхности за счет увеличения сопротивления теплопередаче R_0 ограждения или за счет повышения температуры внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$.

КОНДЕНСАЦИЯ ВЛАГИ ВНУТРИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Паропроницание и его характеристики

Процесс диффузии водяного пара через ограждающую конструкцию, обусловленный разностью парциальных давлений водяного пара по обе стороны конструкции, называется *паропроницанием*.

Законы и характеристики процесса паропроницания аналогичны законам и характеристикам теплопередачи и аналитически выражаются подобными математическими формулами и величинами.

Так, при стационарном процессе диффузии водяных паров количество водяного пара, проходящего через 1 м² однородного ограждения толщиной δ в единицу времени равно:

$$P = \mu / \delta \cdot (e_{\text{в}} - e_{\text{н}}) ,$$

где P – *поток водяных паров*, мг/(м² · ч);

$(e_{\text{в}} - e_{\text{н}})$ - разность парциальных давлений водяного пара внутреннего и наружного воздуха, Па;

δ – толщина стены, м;

μ – коэффициент паропроницаемости материала, мг/(м·ч·Па).

Коэффициент паропроницаемости материала характеризует способность строительных материалов пропускать водяной пар. Для материалов рыхлых и с открытыми крупными порами μ имеют большие значения (например, для пенобетона плотностью $\rho_0 = 300$ кг/м³ $\mu = 0,26$

мг/(м·ч·Па)), а для плотных материалов – малые (например, для железобетона плотностью $\rho_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$ - $\mu = 0,03 \text{ мг/(м·ч·Па)}$).

При диффузии водяного пара через слой материала ограждения последний оказывает потоку пара сопротивление, которое называют сопротивлением паропрооницанию.

При стационарном потоке водяных паров, диффундирующих через ограждение, *сопротивление паропрооницанию* R_{π} одного конструктивного слоя определяется по формуле:

$$R_{\pi} = \delta / \mu,$$

где δ — толщина слоя ограждающей конструкции, м.

Единицы измерения сопротивления паропрооницанию – $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$.

Сопротивление паропрооницанию многослойного ограждения равно сумме сопротивлений паропрооницанию отдельных слоев:

$$R_{\pi} = R_{\pi 1} + R_{\pi 2} + \dots + R_{\pi n},$$

где $R_{\pi 1}, R_{\pi 2}, R_{\pi n}$ - сопротивления паропрооницанию отдельных слоев.

Поток водяных паров может быть представлен в виде:

$$P = (e_v - e_n) / R_{\pi}$$

В холодный период года в стене происходит уменьшение как температуры, так и парциального давления водяного пара, – от внутренней поверхности к наружной. В каком-то сечении внутри стены температура может оказаться ниже точки росы. В этом случае возможна конденсация перемещающегося водяного пара внутри стены.

Тема 2.3. ОСНОВЫ АРХИТЕКТУРНОЙ КЛИМАТОЛОГИИ

КЛИМАТ И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

Архитектурная климатология изучает взаимосвязь климата, архитектурно-планировочной структуры городов и архитектуры зданий.

Климат – многолетний режим погоды, характерный для данной местности.

Погода – совокупность атмосферных условий, преобладающих в данной местности в данное время.

К элементам климата относятся:

1. Солнечная радиация
2. Температура воздуха
3. Влажность воздуха
4. Ветровой режим
5. Осадки

Солнечная радиация

В архитектурной климатологии рассматривается тепловое действие солнечного излучения (инсоляции). Этот фактор особенно важно учитывать в теплое время года.

Интенсивность суммарной солнечной радиации – I , Вт/ м² - количество солнечного радиационного тепла, падающего на 1 м² поверхности за 1 с.

Суммарная солнечная радиация складывается из **прямой** и **рассеянной**.

Интенсивность зависит от угла падения солнечных лучей на поверхность; максимум интенсивности возникает, когда солнечные лучи падают перпендикулярно поверхности.

Интенсивность суммарной солнечной радиации зависит от следующих факторов:

- географической широты местности;
- времени дня и времени года;
- расположения и ориентации поверхности;
- состояния атмосферы;
- высоты над уровнем моря.

Наибольшую тепловую нагрузку от солнечного облучения претерпевают горизонтальные поверхности (кровли) и вертикальные поверхности (стены) западной и юго-западной ориентации. Для стен такой

ориентации совпадают максимумы значений нестационарной температуры наружного воздуха t_n и интенсивности солнечной радиации.

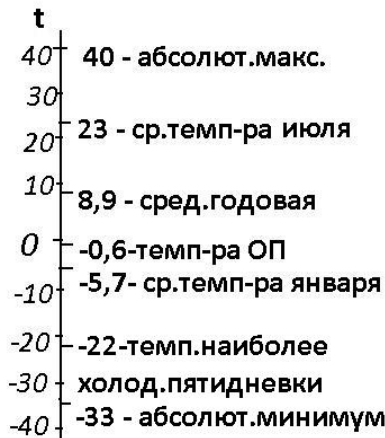
Тепловая солнечная радиации в летнее время может существенно изменить температурную картину как внутри зданий, так и на прилегающей территории.

Данные о солнечной радиации учитываются при:

- выборе расположения и ориентации зданий;
- выборе размеров, типа и расположения светопроемов;
- решении вопросов солнцезащиты;
- расчете ограждающих конструкций на теплоустойчивость;
- использовании солнечных батарей и т.д.

Температура воздуха

Основные температурные характеристики воздуха показаны на примере температурной шкалы Ростова-на-Дону.



Колебания температуры в течение года устанавливают как разность между средней температурой самого жаркого и самого холодного месяцев и служат одной из основных характеристик континентальности климата.

Степень континентальности климата: $A = t_{\text{июля}} - t_{\text{января}}$

Примеры: Ростов: $A = 28,7^{\circ}\text{C}$; Сочи: $A = 16,9^{\circ}\text{C}$; Оймякон: $A = 64,5^{\circ}\text{C}$.

Данные о температурном режиме используются:

- при климатическом районировании территорий;
- при выборе генплана застройки;

- при выборе ограждающих конструкций;
- при выборе систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Влажность воздуха

Характеристики влажностного состояния воздуха были рассмотрены ранее. На тепловое состояние человека влияет сочетание температуры и относительной влажности воздуха – особенно при высоких температурах.

Данные о влажностном режиме используют при выборе ограждающих конструкций; при решении вопросов проветривания квартир и аэрации застройки.

Ветровой режим

Ветер – движение воздушных масс, обусловленное перепадами атмосферного давления.

Характеристики ветрового режима:

- скорость ветра, м/с;
- направление ветра;
- повторяемость ветра.

Оценка ветрового воздействия во многом зависит от температуры воздуха. Однако при любой температуре ветер со скоростью более 4 м/с начинает создавать дискомфорт (перенос пыли, мусора), при скорости более 6 м/с начинается перенос снега и песка; ветер со скоростью более 15 м/с может обрывать ветки деревьев и разрушать легкие элементы зданий.

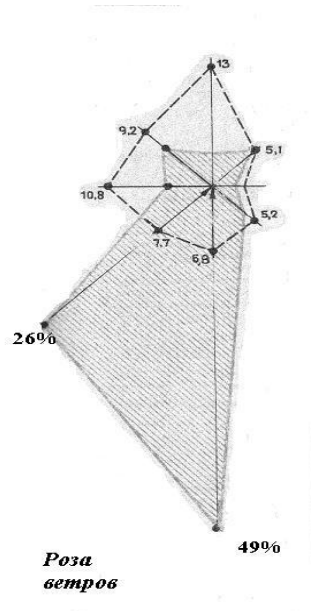
Направление ветра оценивается по стороне горизонта, откуда дует ветер. Направление фиксируется румбами: С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ.

Повторяемость ветра характеризует вероятность ветра того или иного направления; измеряется в процентах. Минимальная повторяемость ветра, начиная с которой следует учитывать данный румб, составляет 20%. В сложных физико-географических условиях (активная пылеветровая деятельность, снегозаносы и т.д.) следует учитывать ветер с повторяемостью более 10%.

Многолетние данные о ветровом режиме местности принято изображать в виде «*розы ветров*» - векторной диаграммы, характеризующей повторяемость и скорость ветра.

Показатели ветрового режима учитываются при

- планировке города и микрорайонов;
- выборе ориентации здания;
- решении вопросов аэрации и ветрозащиты;
- размещении промзоны относительно селитебной;
- выборе ограждающих конструкций;
- расчете зданий и сооружений на их прочность и устойчивость.



Атмосферные осадки

В число основных элементов климата входят атмосферные осадки, то есть дождь, снег, град, роса, изморозь, осаждающиеся на земной поверхности и предметах.

Показатель — общее количество осадков в мм (среднегодовое, среднемесячное, среднесуточное). Осадки измеряют толщиной слоя выпавшей воды в мм. В среднем на Земле выпадает 1000мм осадков в год.

Данные о количестве осадков используются :

- при проектировании кровель;

- при проектировании гидротехнических и инженерных сооружений: мостов, дамб, плотин, ливневой канализации;
- при планировании защиты и очистки от снежных заносов городских улиц, дорог и территорий.

Климатическое районирование территорий

Климатический анализ в архитектурном проектировании ведется «от общего к частному», от оценки наиболее общих закономерностей климата, характерных для крупных территорий к оценке микроклимата локальных конкретных выбранных для строительства участков, расположенных в определенных условиях подстилающей поверхности (рельеф, акватории, растительность, покрытие, характер застройки), которая изменяет фоновые условия, преломляет их.

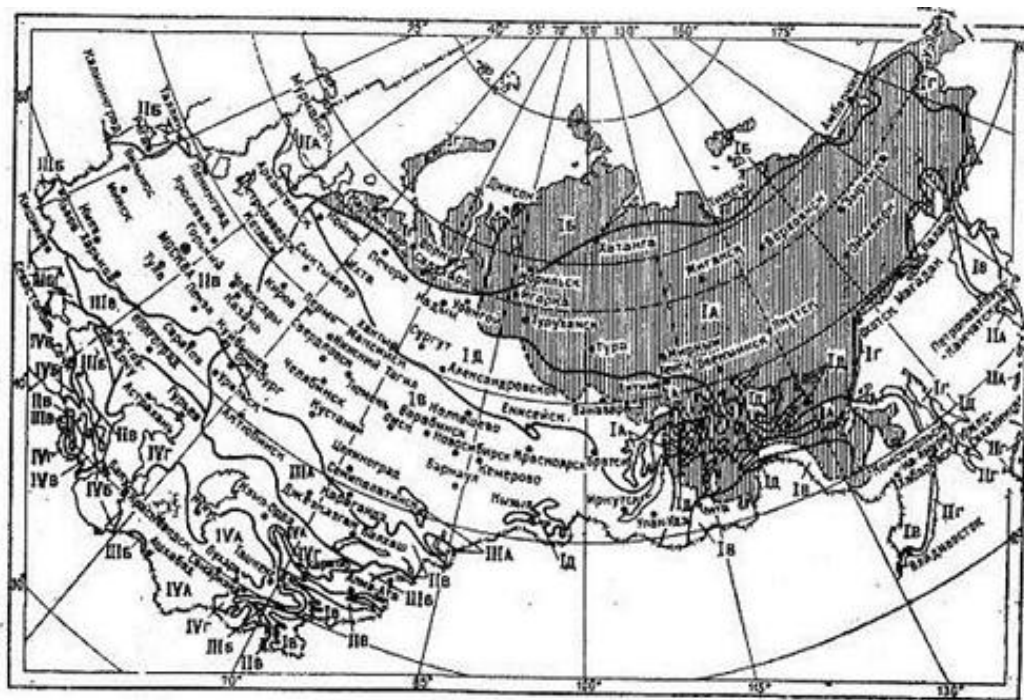
Строительно-климатическое районирование по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» определяет деление обширных территорий на климатические районы, в пределах которых к зданиям предъявляются определенные типологические требования, формирующие представления о типе дома, объемно-планировочных решениях квартир, ориентации помещений, устройстве входных узлов, приемах застройки и др.

В основу современного климатического районирования положены многолетние климатические данные о комплексном сочетании ***средних значений температуры воздуха в январе и июле со скоростью ветра за три зимних месяца и среднемесячной относительной влажностью воздуха в июле***. Схематическая карта климатического районирования для строительства применяется в отечественной архитектурно-строительной практике уже более 40 лет.

Согласно строительно-климатическому районированию территория России и стран СНГ делится на 4 климатических района, которые, в свою очередь, подразделены на 16 климатических подрайонов.

Первый климатический район включает обширные территории Крайнего Севера, Восточной Сибири и Забайкалья с суровым и холодным

климатом; *второй* - умеренные широты с умеренно - холодным климатом; *третий* - часть южных районов с очень теплым летом; *четвертый* - южный берег Крыма и Закавказье с мягкими зимами и жарким летом, а также западную часть юга Краснодарского края и Грузии (жаркое влажное лето) и долины Средней Азии с очень жарким и сухим климатом.



Классификация типов погоды. Режимы эксплуатации зданий

В соответствии с задачами типологии в ЦНИИЭП жилища разработана *классификация погодных условий* (выделено 7 типов погоды) и даны их климатические характеристики. Каждый из типов погоды связан с режимом эксплуатации жилых зданий. Различаются четыре основных *эксплуатационных режима*: изолированный, закрытый, регулируемый и открытый. Для них в архитектуре применяются соответствующие архитектурно-типологические характеристики.

Метод учета продолжительности погодных комплексов непосредственно раскрывает связи климата с задачами градостроительства и типологии зданий. Намечены определенные пути к раскрытию связи погодных комплексов с категориями архитектурной композиции, например, с архитектурным пространством, массой (пластика объемного решения), пластикой поверхности. Так, для погоды комфортной и теплой типичны

открытый характер архитектурных пространств (свободная застройка микрорайонов, площадей; планировка внутренних помещений, обеспечивающая аэрацию и раскрытие во внешнюю среду), расчлененная масса здания (дворики, разделение зданий на блоки); расчлененная (нередко активно расчлененная) пластика поверхностей (лоджии, балконы, окна значительных размеров, затеняющие козырьки, навесы, перфорированные ограждения). Для холодной погоды с ветром рекомендуются пространства замкнутые, полузамкнутые и «ориентированные», масса нерасчлененная, мало расчлененная, обтекаемая и «ориентированная», пластика поверхности нерасчлененная.

Раздел 3. АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ АКУСТИКА

Тема 3.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКУСТИКИ

ЗВУК И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Звук – это

- механические колебания в упругой среде (физический процесс);
- ощущение, вызываемое воздействием колеблющейся среды на человеческое ухо (физиологический процесс).

Для звукового процесса требуются источник звука, передающая среда, приемник звука.

Звуковая волна – распространение механических колебаний в упругой среде. Рассмотрим воздушные звуки. Звуковые волны в воздухе – это *продольные волны*, то есть чередование областей сжатия и разрежения воздуха. В продольных волнах частицы среды колеблются по направлению распространения звука.

Волновое движение описывают с помощью следующих величин.

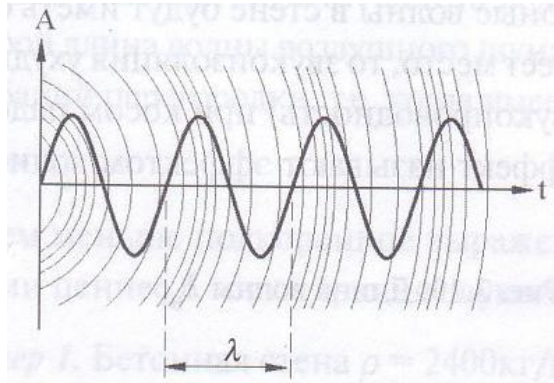
λ - *длина волны* – расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одной фазе, измеряется в метрах;

ν – *частота* – число колебаний в единицу времени, Гц;

c – *скорость звука*, м/с.

Эти величины связаны следующей зависимостью:

$$c = \lambda \cdot \nu$$



Частота и спектр звука

Нормальное ухо человека воспринимает звуки в диапазоне частот от 20 до 20 000 Гц. Однако ухо обладает разной чувствительностью к разным участкам частотного диапазона. Область наибольшей чувствительности уха примерно приходится на интервал частот от 500 до 5000 Гц.

Инфразвуки – неслышимые колебания с частотой меньше 20 Гц. Могут быть вызваны работой машин или электрооборудования. Способны оказывать сильное физиологическое воздействие на человека. *Ультразвуки* – неслышимые колебания с частотой более 20 000 Гц. Не оказывают воздействия на органы чувств человека. Широко применяются в медицине, промышленности (методы неразрушающего контроля изделий).

Вернемся к слышимым звукам.

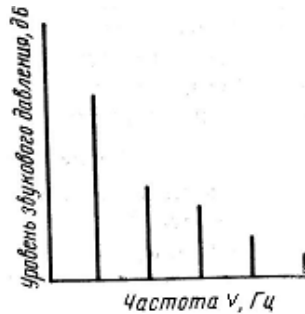
Октава – интервал частот от ν_1 до ν_2 , верхняя граница которого в 2 раза больше нижней: $\nu_2 = 2\nu_1$.

Средняя частота октавной полосы: $\nu_{cp} = \sqrt{\nu_1 \nu_2}$

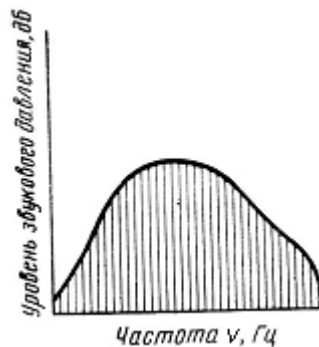
Чистый тон – звук, характеризуемый одной частотой. Его можно описать с помощью отдельной плавной синусоиды. Чистые тоны можно получить только с помощью электронных устройств.

Реальные звуки являются *сложными звуками*, состоят из нескольких (или многих) тонов с разными частотами. Набор этих частот определяет *спектр* сложного звука.

Звук или голос музыкального инструмента имеет *дискретный* спектр, то есть содержит звуки определенных частот – *обертоны* (или *гармоники*). Нижняя частота в таком спектре определяет тональность звука и соответствует основному тону.



Шумы представляют собой нерегулярные колебания и характеризуются *сплошным* спектром.



Звуковая энергия. Звуковое давление. Сила звука

Источник звука характеризуется звуковой мощностью.

Звуковая мощность – это звуковая энергия, излучаемая источником в единицу времени; измеряется в Ваттах.

$$P = \frac{W}{t}, \text{ Вт.}$$

Количественными мерами звука, распространяющегося в передающей среде, могут служить сила (интенсивность) звука или звуковое давление.

Сила звука – это энергия, переносимая звуковой волной в единицу времени через единицу площади поверхности; измеряется в Вт/м².

$$I = \frac{W}{t \cdot S}, \text{ Вт/м}^2.$$

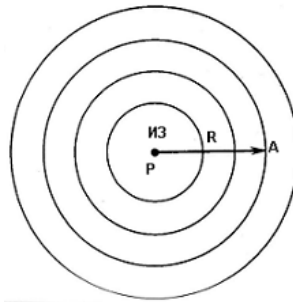
При передаче звука в воздухе появляются зоны разрежения и уплотнения. Возникает *звуковое давление*, которое вызывает ощущение звука в нашем ухе. Звуковое давление p измеряется в Па.

Силу звука непосредственно измерить нельзя. Можно измерить лишь звуковое давление по его действию на микрофон. Зная звуковое давление, можно рассчитать силу звука. I и p связаны следующей зависимостью

$$I = p^2 / (\rho c),$$

где ρ – плотность среды, кг/м³.

Рассмотрим *точечный источник звука*, от которого исходят сферические волны, и поток энергии распределяется по площади сферы все возрастающего радиуса.



Сила (интенсивность) звука в точке звукового поля А.

$$I_A = \frac{W}{t \cdot S} = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi R^2}.$$

Следовательно, сила звука от точечного источника убывает пропорционально квадрату расстояния, т.е. изменяется по *закону обратных квадратов*.

Диапазон изменения силы слышимого звука

Сила звука на *пороге слышимости* соответствует силе едва слышимого звука в частотной области наибольшей чувствительности слуха.

$$I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2.$$

При определенной силе звука мы воспринимаем его как болевое ощущение. Сила звука на *болевом пороге* составляет 10^2 Вт/м^2 .

Звуковая мощность источников звука и сила звука изменяются в очень широких пределах: от 10^{-12} до 10^2 Вт/м², т.е. в 10^{14} раз. Пользоваться абсолютными значениями таких величин неудобно. Поэтому в технической акустике от абсолютных значений переходят к логарифмическим.

Уровень силы звука

Была введена величина, равная десятичному логарифму отношения силы данного звука к силе звука на пороге слышимости: $\lg \frac{I}{I_0}$. Единица измерения этой величины была названа в честь американского ученого и инженера А.Г.Белла, изобретателя телефона. Так как единица оказалась слишком крупной, на практике стали пользоваться десятыми долями Бела:

$$\frac{1}{10} \text{ Б} = 1 \text{ дБ (децибел)}.$$

Следовательно, формула для определения уровня силы звука в дБ выглядит следующим образом

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \text{ дБ}.$$

Диапазон уровней силы слышимых звуков

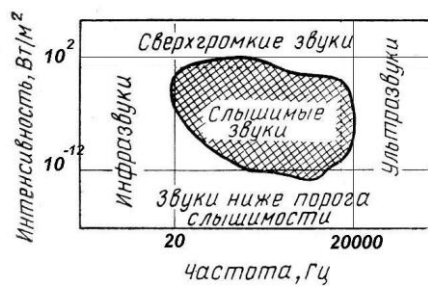
Уровень силы звука на *пороге слышимости*

$$L_0 = 10 \lg \frac{I_0}{I_0} = 10 \lg 1 = 0 \text{ дБ}.$$

Уровень силы звука на *болевым пороге* составит

$$L_{\text{бп}} = 10 \lg \frac{I_{\text{бп}}}{I_0} = 10 \lg \frac{10^2}{10^{-12}} = 10 \lg 10^{14} = 140 \text{ дБ}.$$

Область слышимости



Тема 3.2. ЗАЩИТА ОТ ШУМА

БОРЬБА С ШУМОМ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ

Шум – звук, нежелательный в данной обстановке.

Источники шума и их характеристики

К источникам *внешнего шума* относятся:

- транспорт:

авто: грузовики, легковые автомобили, автобусы, мотоциклы;

рельсовый: поезда, трамваи;

водный: корабли, водный спорт;

авиа: самолеты, вертолеты;

- производственные и энергетические предприятия;

- внутриквартальные источники шума: хозяйственные дворы магазинов, строительные и дорожно-ремонтные работы, гаражи, спортивные и детские площадки и т.д.

Источники *шума в зданиях*:

- инженерное и санитарно-техническое оборудование;

- источники бытового шума (громкий разговор, пение, телевизор и радио, вечеринки, перестановка мебели, ремонт и т.д.).

Действие шума на человека зависит от его *уровня, спектра и продолжительности*.

Последствия действия шума с уровнем до 60-65 дБ носят лишь психологический характер. Длительное воздействие шума с уровнем 90 дБ (в производственных зданиях, например) может вызвать потерю слуха. Звук с

уровнем 120 дБ вызывает болезненные ощущения, а – 150 дБ – мгновенную потерю слуха.

По спектральному составу шумы разделяются на *низкочастотные* с максимальным уровнем силы звука в области до 300 Гц; *среднечастотные* – 300-800 Гц и *высокочастотные* с максимумом в области частот выше 800 Гц.

По временным характеристикам шумы подразделяются на *постоянные* и *непостоянные*. У *постоянных* шумов уровень звука изменяется со временем не более, чем на 5 дБ, от среднего значения. К постоянным можно отнести шум постоянно работающих насосных, вентиляционных установок, гудение электродвигателя (узкий диапазон спектра), уличный шумовой фон (широкий диапазон спектра).

Непостоянные шумы можно в свою очередь разделить на следующие: *колеблющиеся во времени; прерывистые; импульсные*.

Методика оценки шума зависит от его характера. Для оценки *постоянного шума* используется **частотная характеристика**, т.е. значения уровней силы звука (звукового давления) в октавных полосах определенного частотного диапазона (подробнее будет рассказано ниже). В практических расчетах используется усредненным значением – **уровнем звука**.

Непостоянные шумы оценивают **эквивалентными уровнями звука**. *Эквивалентный уровень звука* – это уровень звука постоянного широкополосного шума, оказывающего такое же воздействие на человека, как и данный непостоянный шум.

Для всех типов источников их шумовые характеристики устанавливаются на *определенном расстоянии* от них. Так, например, согласно стандартам шумовой характеристикой потоков автомобилей, автобусов и троллейбусов является **эквивалентный уровень звука $L_{Aэкв}$, дБА**, на расстоянии **7,5 м от оси первой полосы движения** (для трамваев – на расстоянии **7,5 м от оси ближнего пути**). Для потоков железнодорожных поездов шумовые характеристики – это **эквивалентный уровень звука $L_{Aэкв}$** ,

дБА, и максимальный уровень звука $L_{\text{Амакс}}$, дБА, на расстоянии **25 м от оси** ближнего к расчетной точке пути.

Примеры расчетных шумовых характеристик

Для потоков автотранспорта в зависимости от категории дороги и числа полос $L_{\text{Аэкв}} = 73 - 83$ дБА.

Для поездов $L_{\text{Амакс}} = 76$ дБА - для пассажирских и **81 дБА** – для грузовых.

Нормирование шума

Уровни проникающего в помещение шума не должны превышать нормативных величин. Такие нормы устанавливаются СП 51.13330.2011 «Защита от шума», стандартами или санитарными нормами.

Нормируемыми параметрами *постоянного* шума являются уровни звука L_A , дБА. Для более точных расчетов используют уровни силы звука (звукового давления) L , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц.

Для *непостоянного* шума нормируются эквивалентные уровни звука $L_{\text{Аэкв}}$, дБА, и максимальные уровни звука $L_{\text{Амакс}}$, дБА.

Шум считают в пределах нормы, когда он как по эквивалентному, так и по максимальному уровню не превышает установленные нормативные значения.

В ряде случаев нормативные уровни шума дифференцируются в зависимости от времени суток.

Примеры допустимых эквивалентных уровней звука

Назначение помещений или территорий	Время суток, час	$L_{\text{Аэкв}}$, дБА
Жилые комнаты квартир	7.00-23.00	40
	23.00-7.00	30
Жилые комнаты общежитий	7.00-23.00	45
	23.00-7.00	35
Торговые залы магазинов, пассажирские залы вокзалов, спортивные залы	-	60
Территории, непосредственно прилегающие к жилым зданиям, домам отдыха	7.00-23.00	55
	23.00-7.00	45

Градостроительные методы и средства защиты от шума

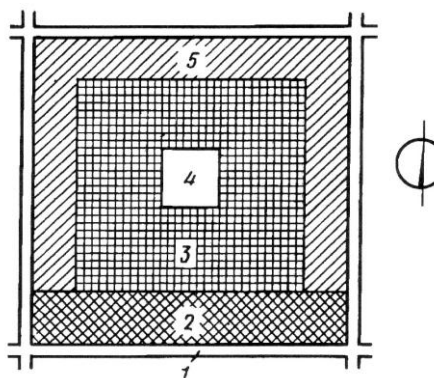
1. Функциональное зонирование территории

По уровню шума город делится на зоны:

- промышленную – уровень звука 80 дБ;
- общественный и торговый центр – 70 дБ;
- жилую застройку – 60 дБ;
- рекреационную и лечебную – 50 дБ.

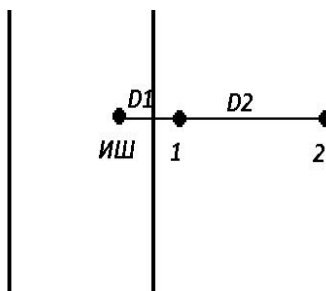
Для зонирования селитебных территорий используют карты шума магистральной сети. На них отмечают эквивалентные уровни звука от транспортных потоков.

Пример шумозащитного зонирования межмагистральной селитебной территории



1 – городская магистраль, 2 – здания нежилого назначения, 3 – жилая застройка, 4 – зона школ и ДДУ, 5 – шумозащитные жилые дома.

2. Удаление от источника шума



На схеме показан план дороги с точечным источником шума (ИШ). В точке 1 устанавливается $L_{A_{ЭКВ}}$ от ИШ. Уровень звука в точке 2 составит

$$L_2 = L_1 - 20 \lg \frac{D_2}{D_1}$$

Для линейных ИШ (например, транспортный поток) Уровень звука в расчетной точке 2

$$L_2 = L_1 - 10 \lg \frac{D_2}{D_1}$$

3. Зеленые насаждения

Обычные зеленые насаждения шум не снижают.

Нужно создавать специальные *шумозащитные полосы*, в которых кроны деревьев плотно примыкают друг к другу. Пространство под кронами должно быть заполнено кустарниками.

Критерий эффективности таких полос - *непросматриваемость*. Рекомендации: ширина полос – не менее 10м; высота – не менее 5-8м. Снижение шума составляет 5-10дБ.

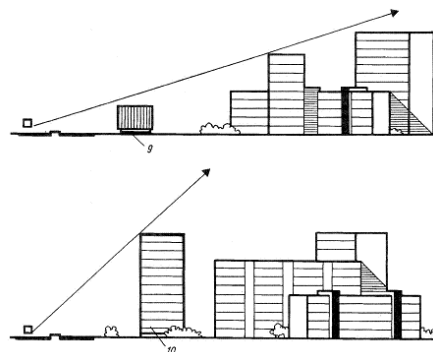
Недостатком является сезонный характер данного шумозащитного мероприятия. Рекомендуется использовать сочетание лиственных и хвойных вечнозеленых деревьев.

4. Шумозащитные экраны

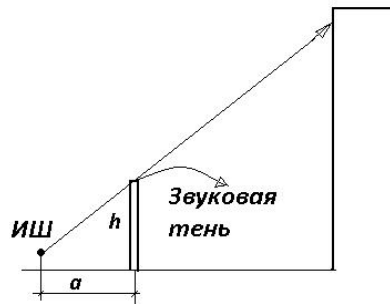
Экраны – любые препятствия на пути распространения шума.

Экранами служат:

- придорожные экраны-стенки;
- искусственные или естественные элементы рельефа;
- здания нежилого назначения;
- шумозащитные здания.



Оценим снижение уровня шума экраном



Снижение шума экраном $\Delta L_{\text{э}}$ зависит от размеров препятствия и расстояния между источником шума и экраном.

Если предположить, что звук от ИШ распространяется прямолинейно, то за экраном образуется зона *звуковой тени*. Размеры этой тени определяют значение $\Delta L_{\text{э}}$. Следовательно, чем больше высота h и меньше a , тем больше $\Delta L_{\text{э}}$.

Однако волновая природа звука приводит к тому, что он в большей или меньшей степени может огибать препятствие и заходить в область звуковой тени. Это явление огибания препятствий звуковой волной носит название *дифракции*.

Дифракция уменьшает шумозащитные свойства экрана.

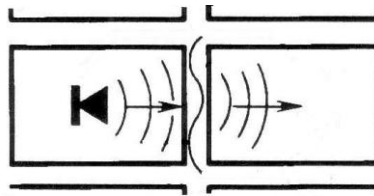
Степень проявления дифракции зависит от *соотношения размеров экрана и длины звуковой волны*. Если $h \approx \lambda$, то звук заходит в область звуковой тени и $\Delta L_{\text{э}}$ меньше. Если $h \gg \lambda$, дифракция отсутствует. Так как частота звука обратно пропорциональна длине волны, то шумозащитные экраны эффективнее для звуков высокой частоты.

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ

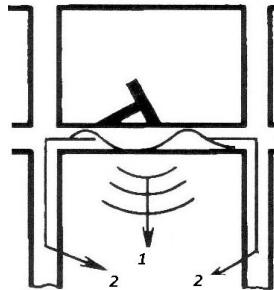
Распространение шума в зданиях

В зданиях могут возникнуть два вида шума.

Воздушный шум – передача звуковой энергии через ограждающую конструкцию; при этом источник шума не связан с конструкциями.



Ударный шум возникает при ударных воздействиях на *перекрытие* (ходьба, танцы, перестановка мебели и пр.).



Пути передачи шума могут быть прямыми (1) и косвенными (2).

Косвенные пути приводят к распространению колебаний по конструкциям всего здания. Колеблющиеся конструкции излучают шум в помещениях, расположенных далеко от источника. Такой шум называется *структурным*.

В расчетах рассматриваются лишь прямые пути передачи шума.

Рассмотрим средства защиты здания от шума внутри самого здания (объекта шумозащиты – ОШ).

1. Рациональная внутренняя планировка здания

- Помещения с ИШ должны быть сосредоточены в одном месте и удалены от жилых и рабочих помещений (котельные, насосные, лифтовые шахты и пр. не должны примыкать к жилым помещениям).
- Жилые комнаты должны быть отделены от лестничных клеток кухнями, ванными, коридорами и т.п.

2. Конструктивные средства

- Применение ограждающих конструкций с требуемой *звукоизоляцией* (от внешних и внутренних шумов).

- Применение *окон* с надлежащей *звукоизоляцией*, соответствующей ориентации (от внешних шумов).
- Применение *звукопоглощающих облицовок*.

Подробнее рассмотрим звукоизоляцию ограждающих конструкций.

Нормирование звукоизоляции ограждающих конструкций

1. Изоляция от воздушного шума - ослабление звуковой энергии при передаче ее через ограждение.

Нормируемая характеристика - *индекс изоляции воздушного шума* R_w , дБ.

Он показывает разность уровней шума до и после прохождения звука через конструкцию (на сколько ослабевает шум).

Ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям изоляции от воздушного шума, если

$$R_w \geq R_w^H,$$

где R_w^H – нормативный индекс изоляции воздушного шума.

2. Изоляция от ударного шума – способность перекрытий снижать шум в помещении под перекрытием.

Нормируется *индекс приведенного уровня ударного шума* L_w , дБ.

Показывает ожидаемый уровень шума в помещении под перекрытием.

Перекрытие удовлетворяет требованиям изоляции от ударного шума, если

$$L_w \leq L_w^H,$$

где L_w^H – нормативный индекс приведенного уровня ударного шума.

Примеры нормативных значений индексов

L_w^H относится только к перекрытиям

Ограждающая конструкция	R_w^H , дБ	L_w^H , дБ
Стены и перекрытия между квартирами	52	60
Перекрытия между квартирами и расположенными под ними кафе, спортзалами	57	63
Стены и перекрытия между аудиториями	47	63

Конструктивные средства, повышающие звукоизоляцию

1. Воздушный шум

а) Чтобы снизить звукопередачу, нужно уменьшить колебания конструкции. Для этого следует увеличить массу конструкции.

Согласно *закону массы*: при удвоении массы R_w возрастает в среднем на 6 дБ.

Индекс R_w определяется, прежде всего, *поверхностной массой* стены m , кг/м²,

$$m = d \cdot \rho,$$

где d – толщина однослойной стены, м;

ρ – плотность материала, кг/м³.

Чтобы увеличить R_w , нужно увеличить массу, т.е. – толщину стены.

б) (Чтобы снизить звукопередачу), можно *обеспечить рассеяние и поглощение звуковой энергии внутри самой конструкции*, для этого – использовать **многослойные конструкции**.

Например, можно повысить звукоизоляцию массивного однослойного ограждения, используя облицовку на отnose.

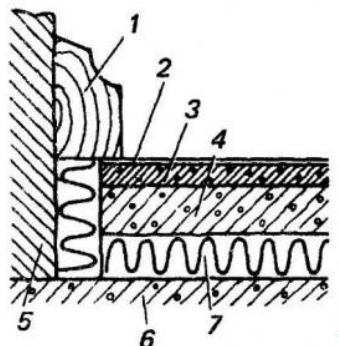
2. Ударный шум

Увеличение массы плиты перекрытия почти не снижает ударный шум.

Решение: применяются различные конструкции полов на звукоизоляционном слое.

Плавающий пол

Между перекрытием и стяжкой – мягко пружинящий слой. Он выполняет шумозащитную функцию.



1 – деревянная рейка; 2 – линолеум; 3 – бесшовный сплошной пол; 4 – нижний слой бетона; 5 – каменная стена; 6 – бетонное перекрытие; 7 – изолирующая прокладка.