

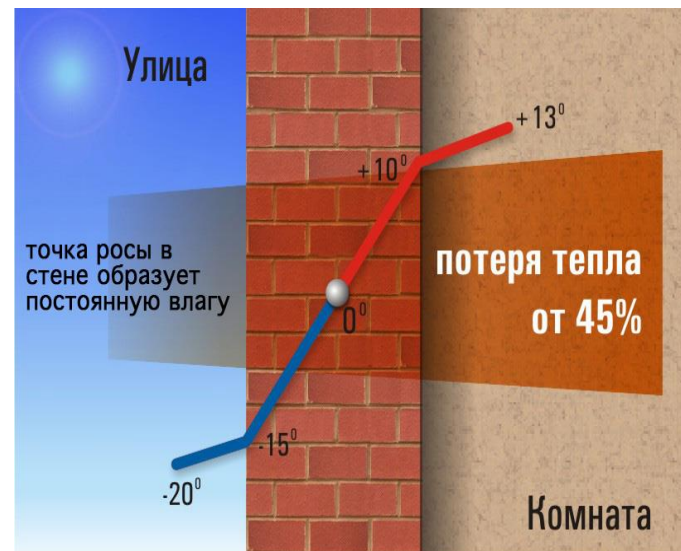
# Лекция 3

**Тепловая защита зданий. Расчет температурно-влажностного режима ограждающих конструкций.**

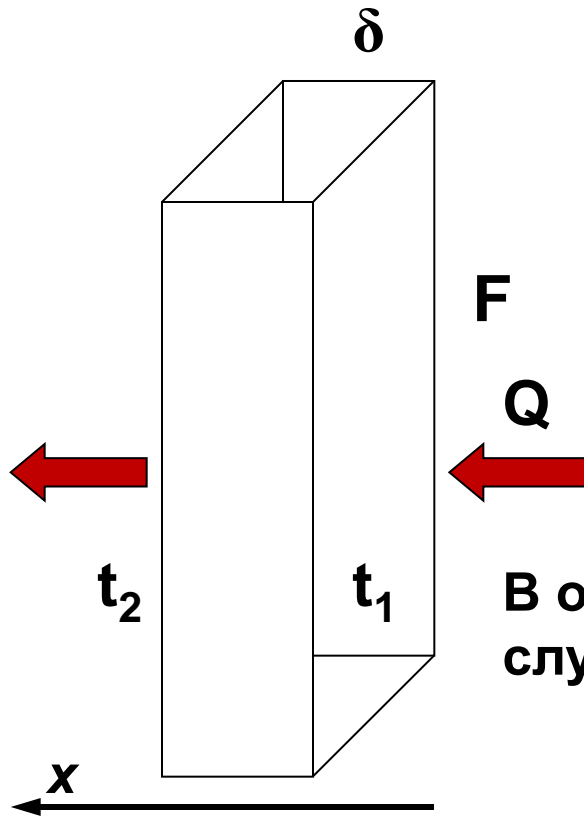
# Пренебрежение знаниями теплофизики



Конденсация  
водяного пара на  
внутренних  
поверхностях;  
Плесень на оконных  
откосах;  
Наледь в наружном  
углу;  
Мостики холода



# Закон теплопроводности. (Закон Ж.Фурье)



$$Q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} \cdot F \cdot \Delta \tau$$

$$q = \frac{Q}{F \cdot \Delta \tau}$$

$$q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta}$$

Плотность потока  
теплоты

$$q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} = -\lambda \frac{t_2 - t_1}{\delta} = -\lambda \cdot \text{grad}(t)$$

В одномерном случае  $\text{grad}(t) = \frac{dt}{dx} \approx \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{t_2 - t_1}{\delta}$

Другая форма закона Фурье

$$q_T = -\lambda \frac{dt}{dx}$$

# Виды теплопередачи

**1 КОНДУКЦИЯ** – передача теплоты в твердом теле или между твердыми телами при их непосредственном контакте или передача энергии молекул без их физического перемещения.

$$q = \Lambda \cdot (t_1 - t_2)$$

*Коэффициент теплопередачи кондукцией  $\Lambda$  (лямбда), зависит от толщины и теплопроводности материала*

$$q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} = \frac{t_1 - t_2}{\delta / \lambda} = \frac{t_1 - t_2}{R} = \Lambda \cdot (t_1 - t_2)$$

**2 КОНВЕКЦИЯ** – передача теплоты при контакте твердого тела с жидкостью или газом.

$$q = \alpha_k \cdot (t_{\text{поверхности}} - t_{\text{воздуха}})$$

**Количество теплоты, передаваемой конвекцией, зависит:**

- от характера движения жидкой или газообразной среды, ее плотности, вязкости, температуры
- от состояния поверхности твердого тела;
- температурного перепада и т.д.

**3 ИЗЛУЧЕНИЕ** - осуществляется между телами, находящимися друг от друга на расстоянии и разделенные лучепрозрачной средой

$$q = \alpha_l \cdot (t_{\text{поверхности 1}} - t_{\text{поверхности 2}})$$

Электромагнитное излучение это распространяющееся в пространстве возмущение электромагнитного поля. Электромагнитное излучение способно распространяться практически во всех средах.

Излучение фотона с энергией:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = h \cdot \nu$$

где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка;

$\nu$  – частота излучения, Гц.

Перенос энергии в виде электромагнитных волн между двумя взаимно излучающими поверхностями.

$$q = \alpha_l \cdot (t_{\text{поверхности}1} - t_{\text{поверхности}2})$$

Если два плоских тела расположены параллельно друг другу на небольшом расстоянии, то коэффициент излучения определяется формулой:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

# Теплообмен поверхностей ограждения с окружающей средой.

$$q = \alpha \cdot (t_{\text{поверхности}} - t_{\text{воздуха и окружающих предметов}})$$

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup> °С)

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_L$$

Для внутренней поверхности ограждения коэффициент теплоотдачи обозначается  $\alpha_v$ , для наружной поверхности -  $\alpha_n$ .

$$q = \alpha_v \cdot (t_v - t_{\text{П1}})$$

$$q = \alpha_n \cdot (t_{\text{П2}} - t_n)$$

В СНиП II-3-79\* вошли следующие значения:

$$\alpha_v = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °С)}$$

$$\alpha_n = 23 \text{ Вт/(м}^2 \text{ °С)}$$



# Перенос теплоты через однослойную стену

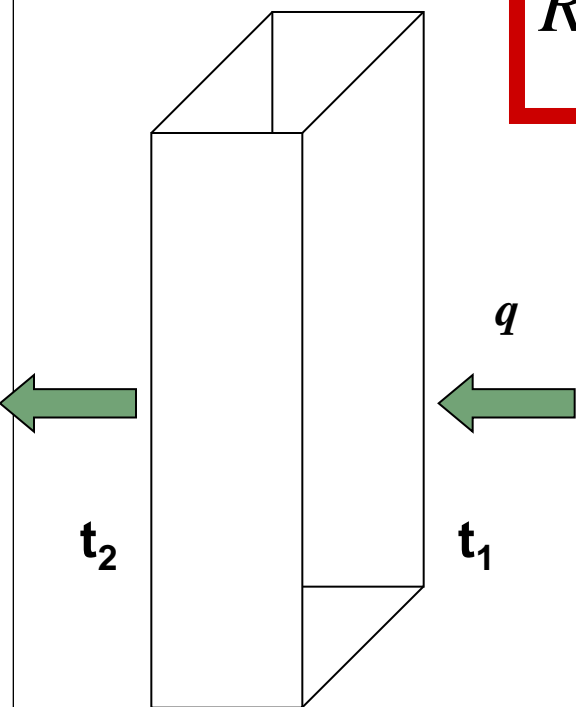
Закон Фурье для пластины  $q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} = -\frac{t_2 - t_1}{\delta/\lambda} = -\frac{t_2 - t_1}{R}$

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

**-Термическое сопротивление пластины**

- физическая величина численно равная разности температур на сторонах пластины при плотности потока теплоты через пластину в 1 Вт/м<sup>2</sup>

$$[R] = \text{м}/(\text{Вт}/(\text{м} \text{ } ^\circ\text{C})) = (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт}$$



$$q = \frac{t_1 - t_2}{R}$$

$$\Lambda = \frac{1}{R}$$

Коэффициент теплопроводности:

Другая форма закона Фурье:

$$q = \Lambda \cdot (t_1 - t_2)$$

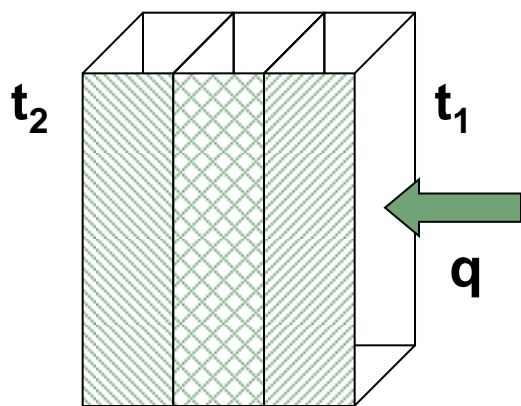


## 2 Перенос теплоты через многослойную стену при последовательном расположении слоев

$$R_{\kappa} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

Для последовательного расположения пластин

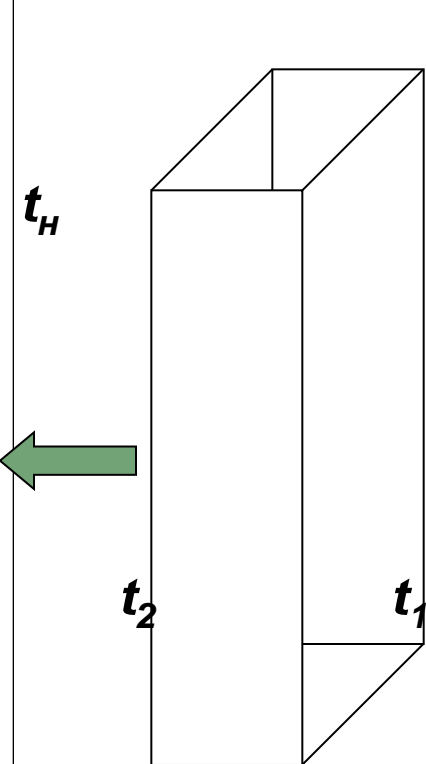
$$q = \frac{t_1 - t_2}{R_{\kappa}}$$



$R_{\kappa}$  - Эквивалентное термическое сопротивление многослойной конструкции



# Сопротивление теплопередаче ограждения

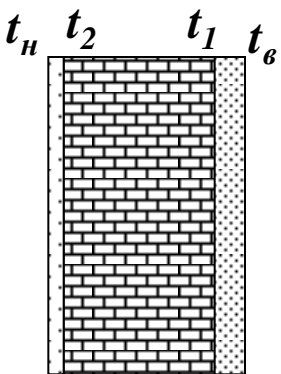


$$q = \frac{t_в - t_H}{R_o}$$

Для ограждения  $t_в$  и  $t_H$  – температуры внутреннего и наружного воздуха тогда:

$R_o$  – называется сопротивлением теплопередаче,  $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$

**Определение.** Сопротивлением теплопередаче ограждения называется физическая величина численно равная разности температур воздуха по разные стороны ограждения при средней плотности потока теплоты через ограждение в  $1 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .



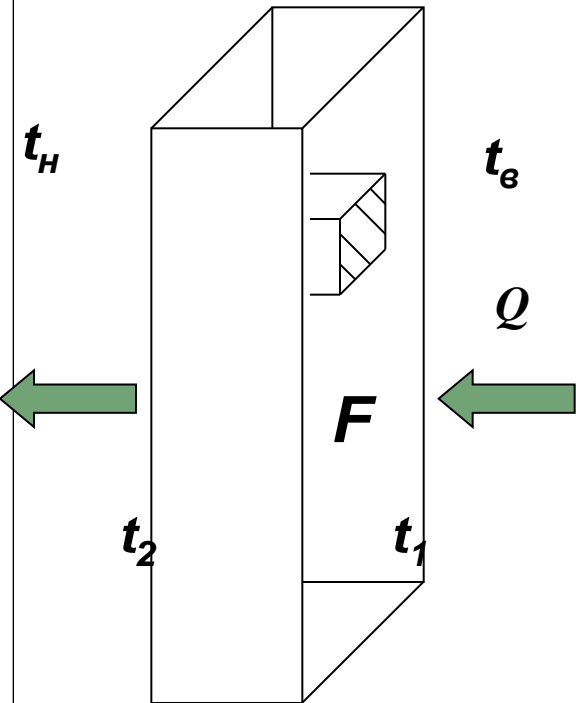
$$R_o = R_в + R_k + R_H$$

$$R_в = \frac{1}{\alpha_в}$$

$$R_H = \frac{1}{\alpha_H}$$

$$R_o = \frac{1}{\alpha_в} + R_k + \frac{1}{\alpha_H}$$

# Приведенное сопротивление теплопередаче участка ограждения

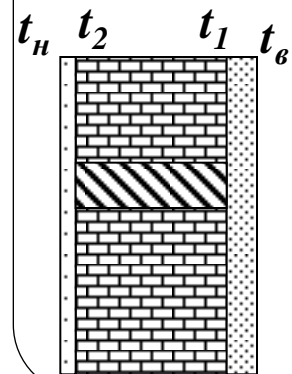


$$Q = \frac{t_e - t_n}{R_o^{np}} F$$

Для ограждения  $t_e$  и  $t_n$  – температуры внутреннего и наружного воздуха тогда:

$R_o^{np}$  – приведенное сопротивление теплопередаче участка стены –

физическая величина численно равная разности температур воздуха по разные стороны ограждения при усредненной плотности потока теплоты через ограждение в 1 Вт/м<sup>2</sup>.

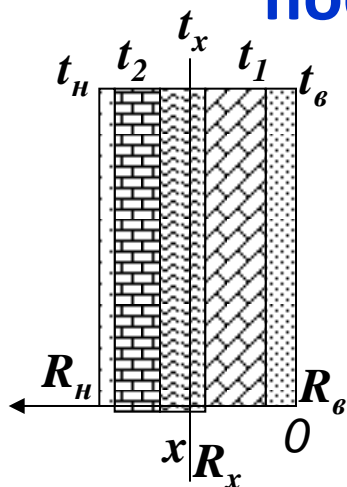


$$R_o^{np} = r \cdot R_o \quad [ \text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт} ]$$

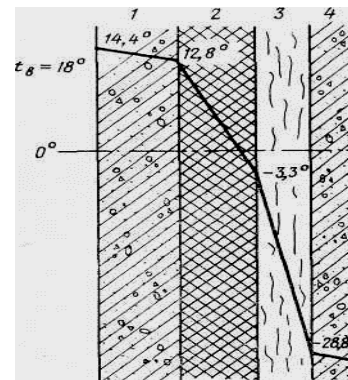
Коэффициент теплотехнической однородности

$$r \leq 1$$

# Расчет распределения температуры в ограждении с последовательным расположением слоев



$$t_x = t_6 - \frac{t_6 - t_H}{R_0} \cdot R_x$$



Нормирование сопротивления теплопередаче из санитарно-гигиенических условий.

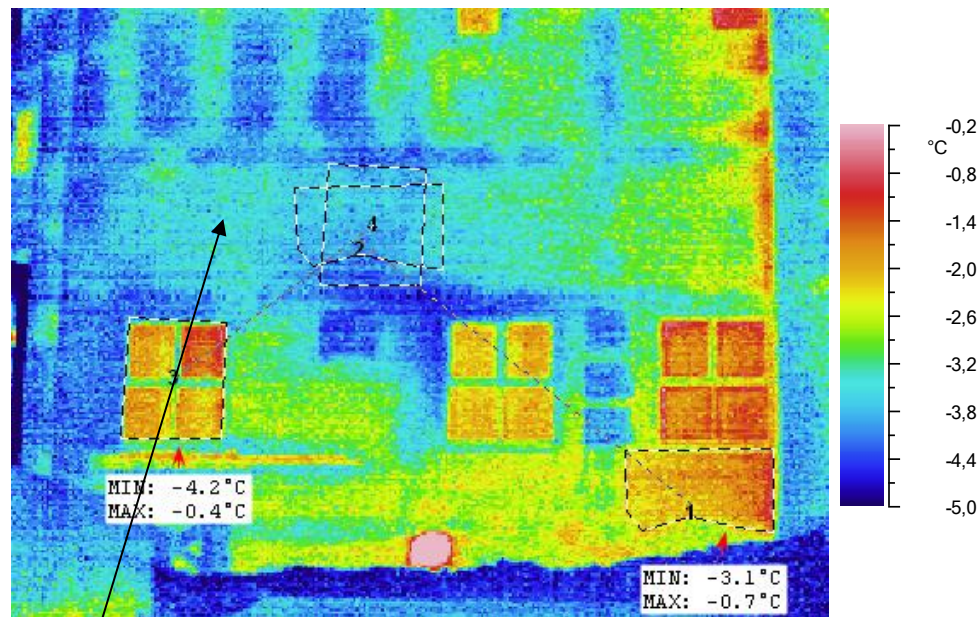
$$R_0^{mp} = \frac{t_6 - t_H}{\Delta t^H} \cdot \frac{1}{\alpha_6}$$

$$R_0^{np} \geq R_0^{mp}$$

Нормирование сопротивления теплопередаче по условию энергосбережения

$$ГСОП = (t_6 - t_{от.пер.}) \cdot Z_{от.пер.}$$

# Теплопотери через участок стены сопоставимы с теплопотерями через окно (Зоологическая 28-2)



**Влажные пятна на стене не фиксируются тепловизором.**

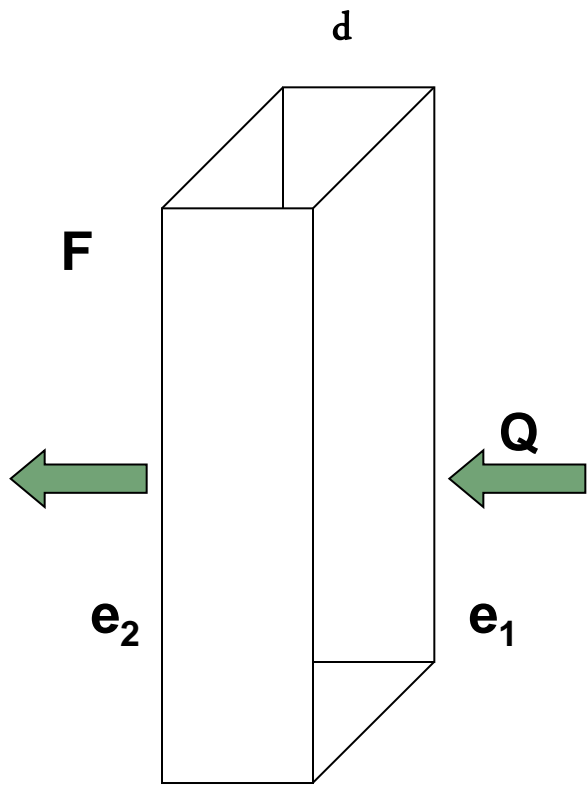
Расчет теплопотерь  
за отопительный период

$$Q = 0,024 \text{ ГСОП} \frac{F}{R_0^{\text{пр}}}$$

# Паропроницаемость строительных материалов.

Закон паропроницаемости:

$$Q = \mu \cdot \frac{e_1 - e_2}{\delta} F \cdot Z$$



$[ \delta ] = \text{м}$

$[ F ] = \text{м}^2$

$[ Z ] = \text{ч}$

$[ Q ] = \text{мг}$

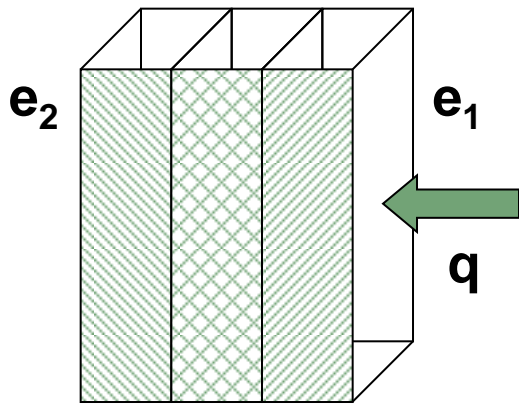
$[ e ] = \text{Па}$

$[ \mu ] = \text{мг} / (\text{м ч Па})$

**Коэффициент паропроницаемости** - физическая величина численно равная количеству пара, прошедшего через пластину единичной площади и толщины в единицу времени при перепаде парциального давления водяного пара на сторонах пластины в 1 Па.

# Сопротивление паропрооницанию листовых строительных материалов.

$$q = \frac{Q}{F \cdot Z} = \mu \cdot \frac{e_1 - e_2}{\delta} = \frac{e_1 - e_2}{\frac{\delta}{\mu}} = \frac{e_1 - e_2}{R_n}$$



$$[R_n] = (\text{м}^2 \cdot \text{ч Па}) / \text{мг}$$

Величина  $R_n$  называется сопротивлением паропрооницанию слоя материала,

При последовательном соединении слоев

$$R_n = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}$$

$$R_n = R_{n1} + R_{n2} + \dots + R_{n,n} = \sum_{i=1}^n R_{n,i}$$



Расчет распределения парциального давления

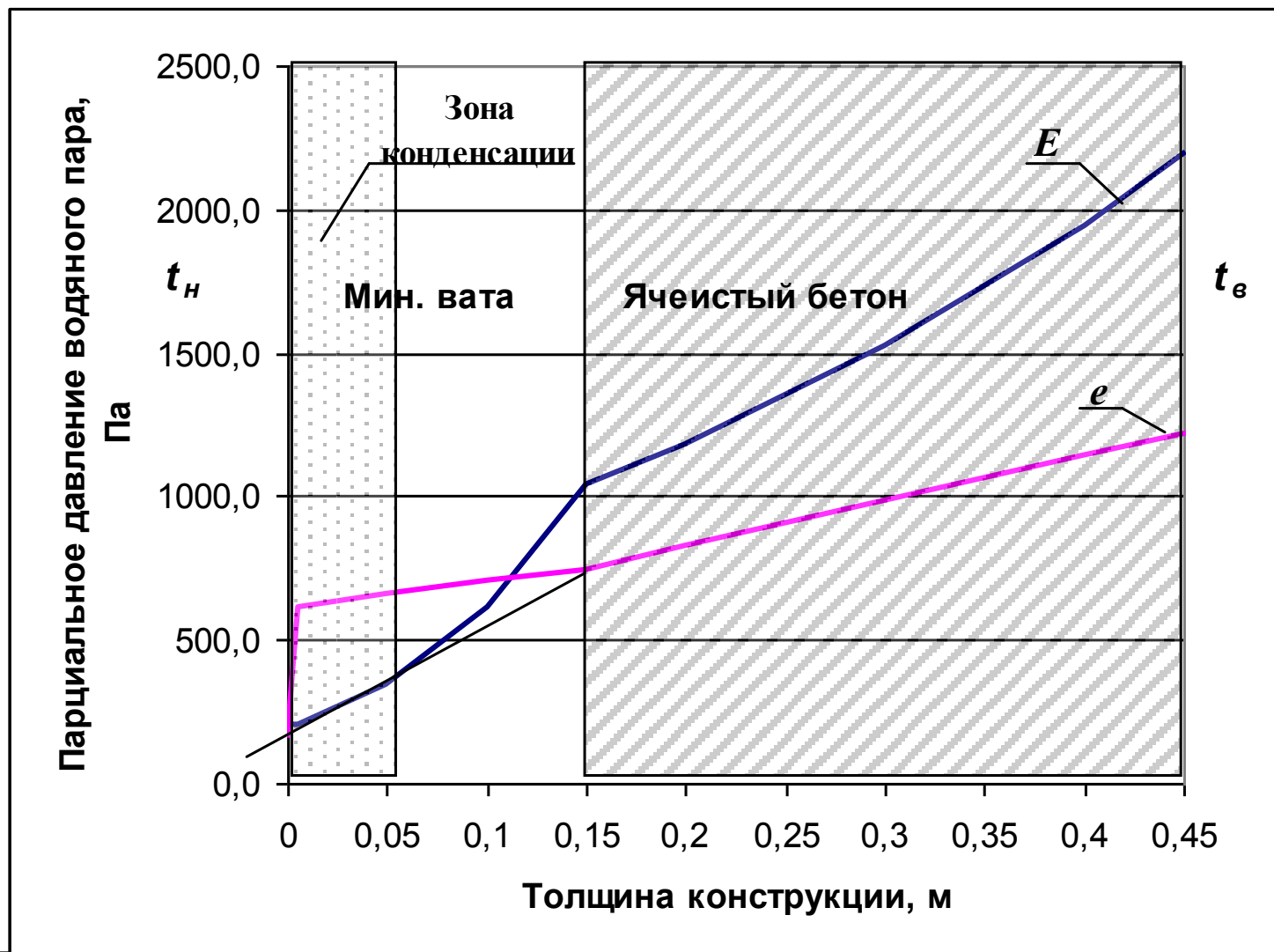
$$e_x = e_\epsilon - \frac{e_\epsilon - e_n}{R_{no}} \cdot R_{nx}$$



## **Последовательность определения зоны конденсации в ограждающей конструкции в стационарном случае.**

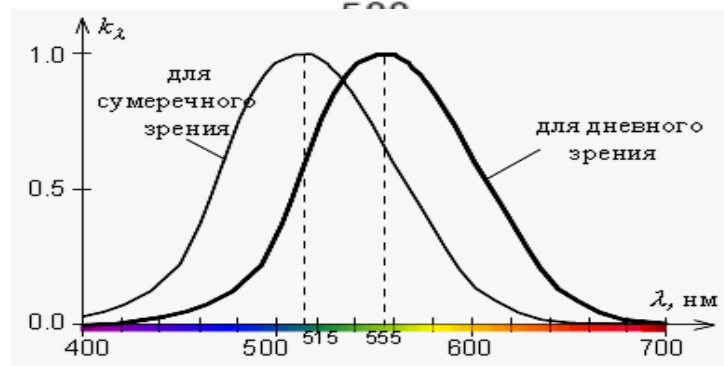
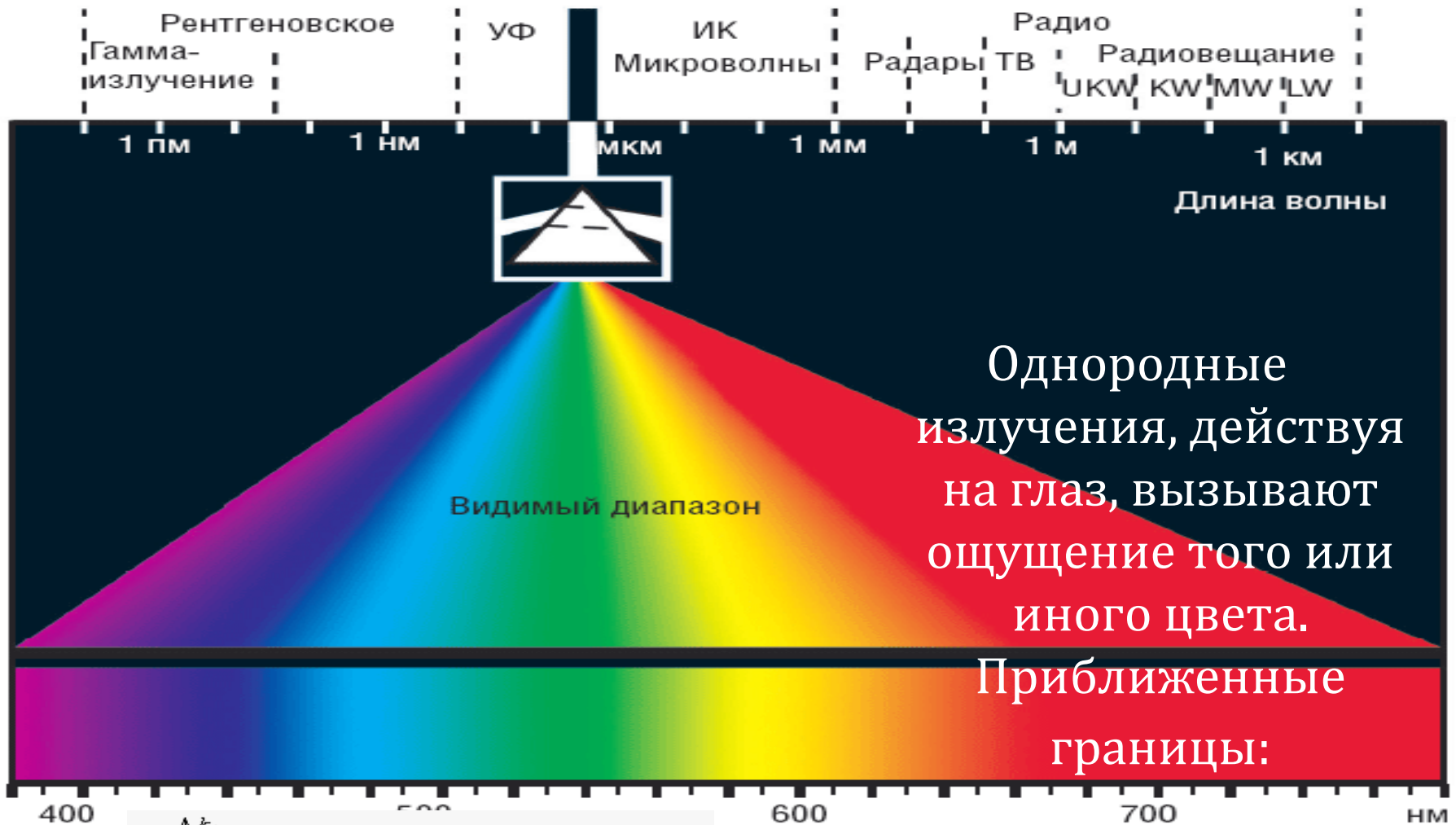
- **Определяются расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха.**
- **Вычисляются парциальные давления водяного пара воздуха.**
- **Сечение конструкции разбивается на слои.**
- **Вычисляются температуры в расчетных плоскостях конструкции.**
- **Определяются значения максимальных парциальных давлений водяного пара в расчетных плоскостях конструкции.**
- **Вычисляются значения парциальных давлений водяного пара в расчетных плоскостях конструкции.**
- **Проверяется наличие зоны конденсации в сечении ограждающей конструкции.**
- **Уточняется расположение зоны конденсации в ограждающей конструкции.**

# Зона конденсации в конструкции с фасадом с тонким штукатурным слоем без штукатурки с внутренней стороны.



# Лекция 3

**Освещение в архитектуре.  
Виды естественного освещения,  
нормирование, расчет и  
проектирование. Солнцезащита.**



Спектральная чувствительность глаза

# Источники и приемники света

- Естественные



- Искусственные



- Приемники

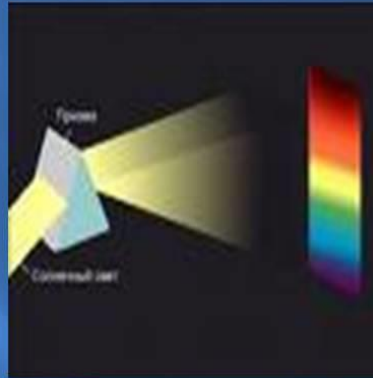


# Корускулярно-волновой дуализм

При распространении света преобладают волновые свойства

## Волновые свойства света

- Интерференция
- Дифракция
- Дисперсия
- Поляризация
- Отражение
- Преломление



При взаимодействии света с веществом преобладают квантовые свойства

## Квантовые свойства света

- Фотоэффект
- Химическое действие света
- Фотосинтез
- Давление света



## Фотометрические (световые) величины и единицы.

- Световой поток - световое излучение, распространяющееся во всех направлениях, длину волн которого может воспринимать человеческий глаз – люмен (Лм).

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}$$

- Сила света – пространственная плотность светового потока – кандела (Кд).  $I = \frac{\partial\Phi}{\partial\omega}$

- Освещенность – поверхностная плотность светового потока – люкс (Лк).  $E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2}$

$$E = \frac{\Phi_{пад}}{S}$$

- Яркость характеристика излучения или отражения света в заданном направлении кандела на квадратный метр (Кд/м<sup>2</sup>)

$$B = \frac{I}{\Delta S \cdot \cos \vartheta}$$

# Естественное освещение

## достоинства

Благоприятный  
для глаз человека  
спектральный  
состав

Не требует затрат  
энергии

## недостатки

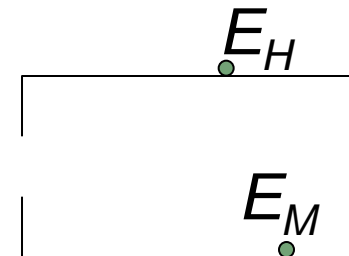
Неравномерная  
освещенность во  
времени и  
пространстве



## Предварительное определение коэффициента естественной освещенности.

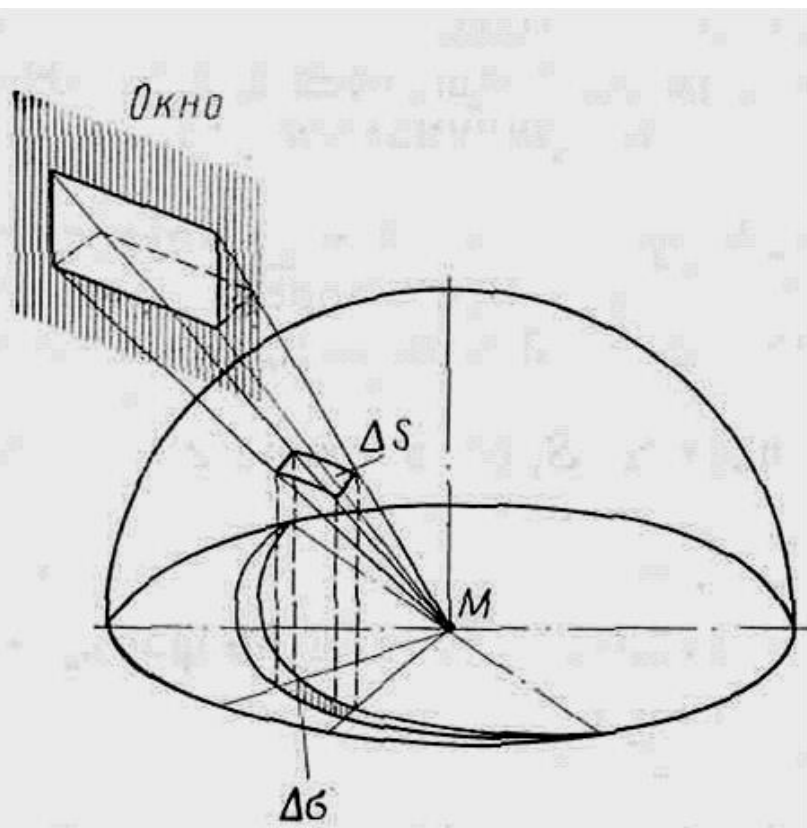
Пусть освещенность в какой-либо точке М, например, в помещении при естественном освещении равна  $E_M$ . Пусть освещенность от открытого небосвода в этот же момент времени составляет  $E_H$ . Отношение  $E_M$  к  $E_H$ , выраженное в процентах называется коэффициентом естественной освещенности (КЕО).

$$e = \frac{E_M}{E_H} \cdot 100\%$$



## Закон проекции телесного угла.

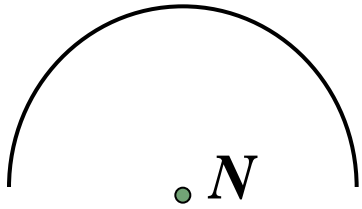
Освещенность, создаваемая равномерно светящейся поверхностью неба равна произведению яркости неба на площадь проекции на освещаемую поверхность телесного угла, под которым из данной точки виден участок неба



$$E_M = B \cdot \Delta\sigma$$

Площадь проекции телесного угла – площадь проекции поверхности части сферы единичного радиуса, которую высекает телесный угол.

## Геометрический КЕО.



Если точка  $N$  расположена на открытой поверхности и освещается всем небосводом одинаковой яркости,  $B$ , то проекция телесного угла, составляющего полусферу, на горизонтальную плоскость равна  $\pi r^2$ , при  $r=1$ , проекция равна  $\pi$ . Тогда  $E_N = B \cdot \pi$

Для точки  $M$  в помещении  $E_M = B \cdot \sigma$

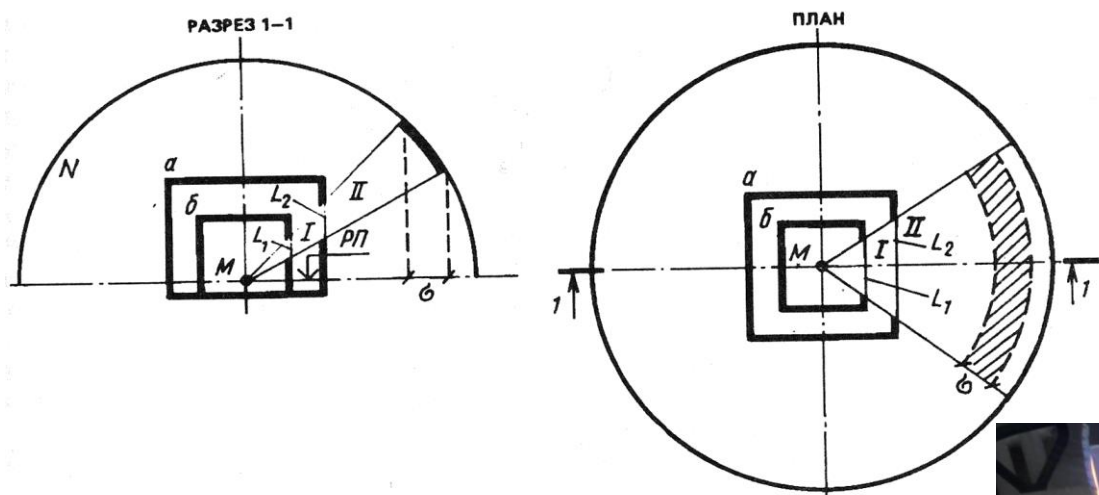
Тогда значение КЕО в точке  $M$  будет равно:

$$\varepsilon = \frac{E_M}{E_N} = \frac{B \cdot \sigma}{B \cdot \pi} = \frac{\sigma}{\pi}$$

Это значение КЕО называется геометрическим, поскольку оно определяется только размерами светопроема и не зависит от распределения яркости по небосводу.

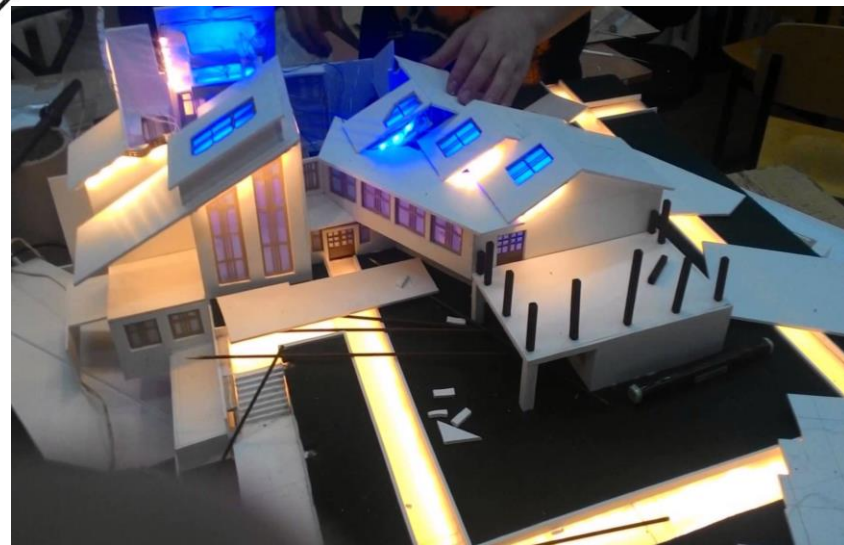
# Закон светотехнического подобия

*Освещенность, в какой-либо точке зависит не от абсолютных размеров, а от относительных размеров помещения*

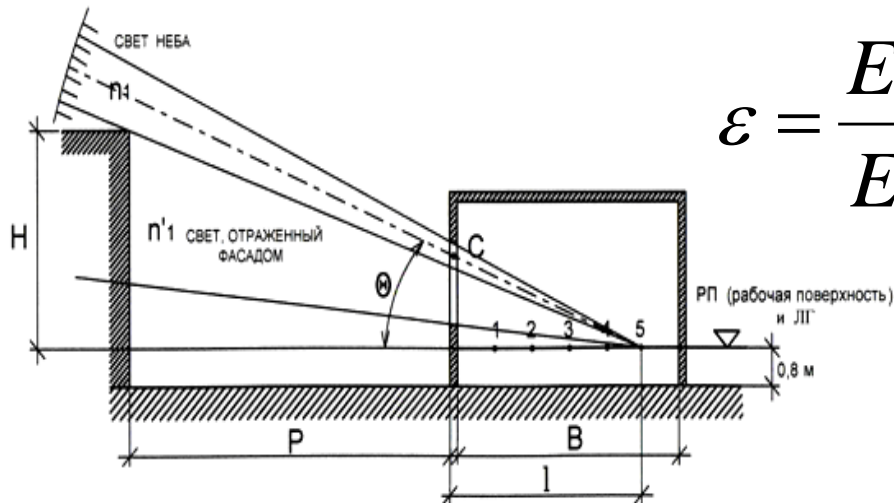


Яркость окон  $L_1$  и  $L_2$

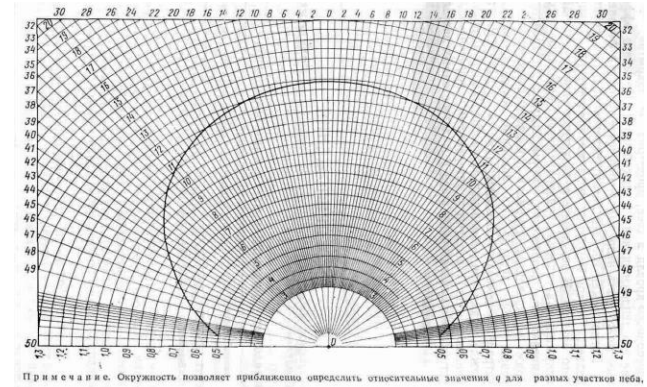
Метод моделирования,  
основанный на законе  
светотехнического подобия



# Определение геометрического КЕО по графикам А.М.Данилюка



$$\varepsilon = \frac{E_M}{E_N} = \frac{\sigma}{\pi}$$



$$\varepsilon = n_1 \cdot n_2 \cdot 0,01\% \quad \varepsilon' = n'_1 \cdot n'_2 \cdot 0,01\%$$

## Определение расчетного КЕО по формуле:

$$e_p = \left( \sum_{i=1}^L \varepsilon_{\delta i} q_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{3Дj} b_{\phi j} k_{3Дj} \right) r_0 \tau_0 / K_3$$

**Нормативное значение КЕО**

$$e_N = e_H m_N$$

**Необходимое требование:**

$$e_p \geq e_N$$

**Значения коэффициента светового климата для световых проемов в наружных стенах**

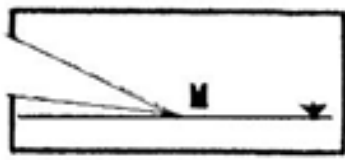
Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата $m_N$				
	Номер группы административных районов				
	1	2	3	4	5
Северная	1	0,9	1,1	1,2	0,8
Северо-восточная, северо-западная	1	0,9	1,1	1,2	0,8
Восточная, западная	1	0,9	1,1	1,1	0,8
Юго-восточная, юго-западная	1	0,85	1,0	1,1	0,8
Южная	1	0,85	1,0	1,1	0,75

Ориентация световых проемов по сторонам горизонта, град.	Нормированные значения КЕО $e_N$ , %					
	В рабочих кабинетах, офисах	В школьных классах	В жилых помещениях	В выставочных залах	В читальных залах	В проект. залах, чертежно-конструкторских бюро
69–113 249–293	1,00	1,50	0,50	0,70	1,20	1,50
294–68	1,00	–	0,50	0,70	1,20	1,50

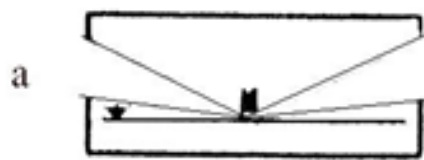
Объемно-планировочное решение здания определяет выбор

**СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ:**

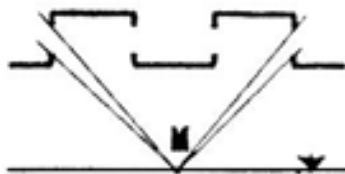
- боковая (односторонняя, двусторонняя)
- верхняя (световые фонари в покрытии: пилообразные, зенитные, п-образные)
- комбинированная – боковое + верхнее естественное освещение.



одностороннее



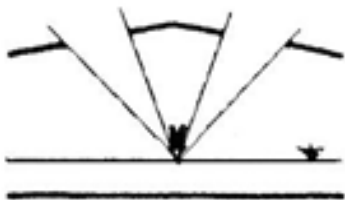
двустороннее



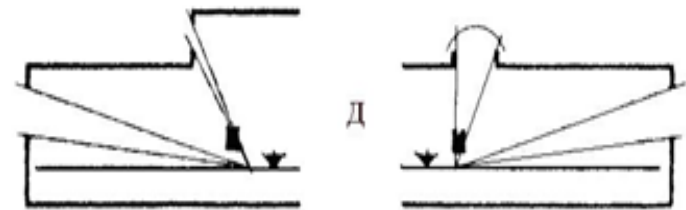
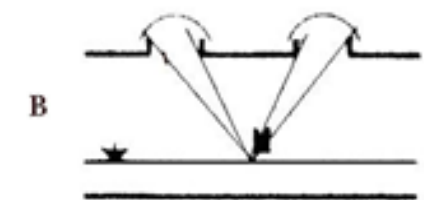
П-образные



пилообразные (шед)



зенитные



комбинированное

# Определение расчетного значения коэффициента естественной освещенности в точках помещения

при боковом освещении:

$$e_p^{\text{б}} = (\varepsilon_{\text{в}} \cdot q_i \cdot \beta_a + \varepsilon_{\text{зд}} \cdot b_{\text{ф}} \cdot \gamma_a \cdot k_{\text{зд}}) \cdot r_1 \cdot \frac{\tau_0}{k_3}$$

при верхнем освещении:

$$e_p^{\text{в}} = \left[ \varepsilon_{\text{в}} + \varepsilon_{\text{ср}} \cdot (r_2 \cdot k_{\text{ф}} - 1) \right] \cdot \frac{\tau_0}{k_3}$$

при комбинированном освещении:

$$e_p^{\text{к}} = e_p^{\text{б}} + e_p^{\text{в}}$$



## Определение размеров и количества боковых световых проемов

$$A_{\text{ок}} = \frac{A_{\text{пол}} \cdot 2e_N \cdot K_z \cdot \eta_0 \cdot k_{\text{зд}}}{100 \cdot r_0 \cdot \tau_0}$$

Полученное значение площади световых проемов  $A_{\text{ок}}$  уточняет ширину окна и их количество в помещении

## Определение размеров и количества световых проемов верхнего света

$$A_{\text{ф}} = \frac{A_{\text{пол}} \cdot e_N \cdot K_z \cdot \eta_{\text{ф}} \cdot K_{\text{ф}}}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_{\text{ф}}}$$

# Инсоляция зданий



## Календарный период с нормативной продолжительностью инсоляции

Зона	Широта	Календарный период
Северная	Севернее 58°с.ш.	22 апреля – 22 августа
Центральная	58°с.ш. - 48°с.ш.	22 марта – 22 сентября
Южная	Южнее 48°с.ш.	22 февраля – 22 октября

# Нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции

Зона	Широта	Календарный период
Северная	Севернее $58^{\circ}$ с.ш.	Не менее 2,5 часов в день
Центральная	$58^{\circ}$ с.ш. - $48^{\circ}$ с.ш.	Не менее 2,0 часов в день
Южная	Южнее $48^{\circ}$ с.ш.	Не менее 1,5 часов в день

# Требования к инсоляции жилых зданий

**Нормируемая продолжительность инсоляции должна быть обеспечена:**

- Не менее чем в одной комнате 1-3-комнатных квартир;
- Не менее чем в двух комнатах 4-х и более комнатных квартир.

**При прерывистости инсоляции ее продолжительность увеличивается на 0,5 часа.**

**Продолжительность инсоляции снижается на 0,5 часа для северной и центральной зоны если инсолируются:**

**в 2-х и 3-х комнатных квартирах не менее двух комнат;**

**в 4-х и более комнатных квартирах не менее трех комнат.**

## Требования к инсоляции общежитий

Нормируемая продолжительность инсоляции должна быть обеспечена не менее чем в 60% жилых комнат.

## Требования к инсоляции общественных зданий

Нормируемая продолжительность инсоляции **должна быть обеспечена в:**

- Здания ДДУ – групповые, игровые, изоляторы и палаты;
- Здания школ – классы и учебные кабинеты;
- Здания ЛПУ – не менее 60% палат;
- Здания учреждений социального обеспечения – палаты, изоляторы.

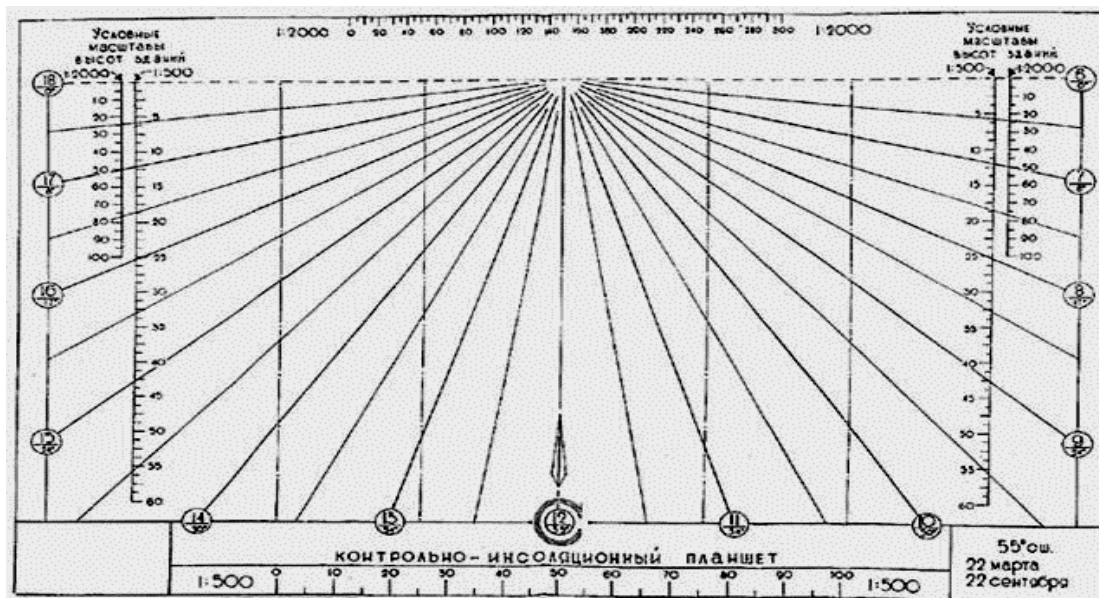
**Допускается отсутствие** инсоляции в учебных кабинетах: информатики, физики, химии, рисования и черчения.

# Требования к инсоляции территорий

Не менее 3 часа на 50% территории площадок:

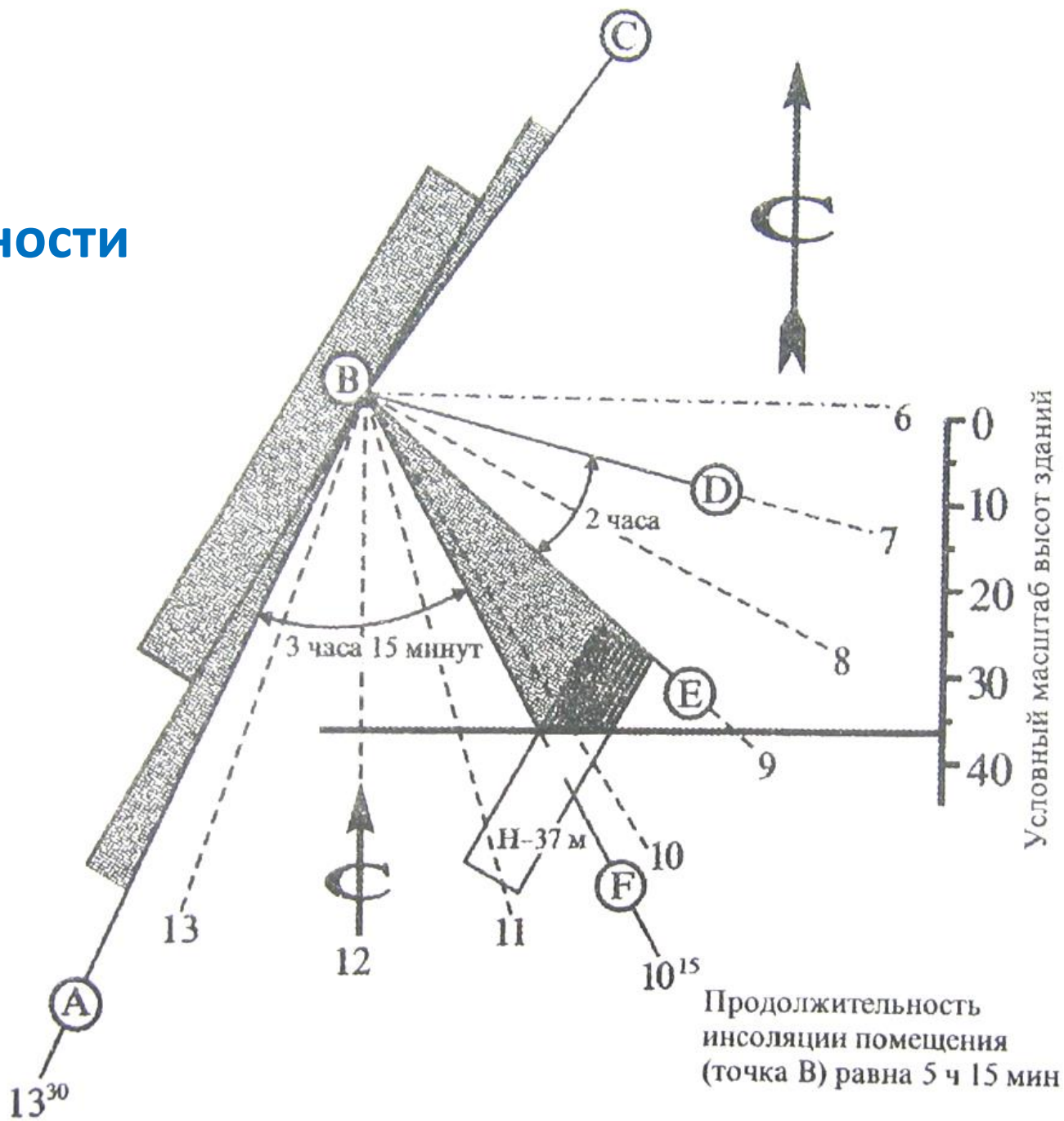
- Детских игровых и спортивных жилых домов;
- Групповых ДДУ;
- Спортивной зоны и зоны отдыха школ;
- Зоны отдыха ЛПУ.

## Инсоляционный график



- для расчета инсоляции с учетом географической широты территории, утвержденным в установленном порядке.

# Схема определения продолжительности инсоляции





## Солнцезащитные устройства (СЗУ):

**-архитектурно-планировочные СЗУ** (относятся средства композиционного решения застройки) ориентация и взаимоположение зданий, конфигурация здания в плане, озеленение территорий, покрытие тротуаров нетеплоемкими материалами.

**-конструктивные СЗУ** (стационарные затеняющие элементы зданий, солнцезащитные изделия из стекла и пленок; козырьки решетчатые и сплошные, горизонтальные жалюзи, пространственные сетки, вертикальные экраны (решетчатые и сплошные), вертикальные жалюзи, ставни (сдвижные и складывающиеся), шторы, маркизы, теплоотражающие стекла, светорассеивающие стекла.

солнцезащита территории- сезонные тенты-жалюзи, целярий (для детских и спорт.площадок, пляжей).

**-технические СЗУ** регулирования микроклимата (средства обеспечения искусственного микроклимата- кондиционирование воздуха, водоналивные крыши, ванны, водоразбрызгивающие установки, принудительная вентиляция)

# Расчет солнцезащитных устройств проводится:

геометрические параметры козырьков и экранов, их число и углы наклона определяются защитными углами:

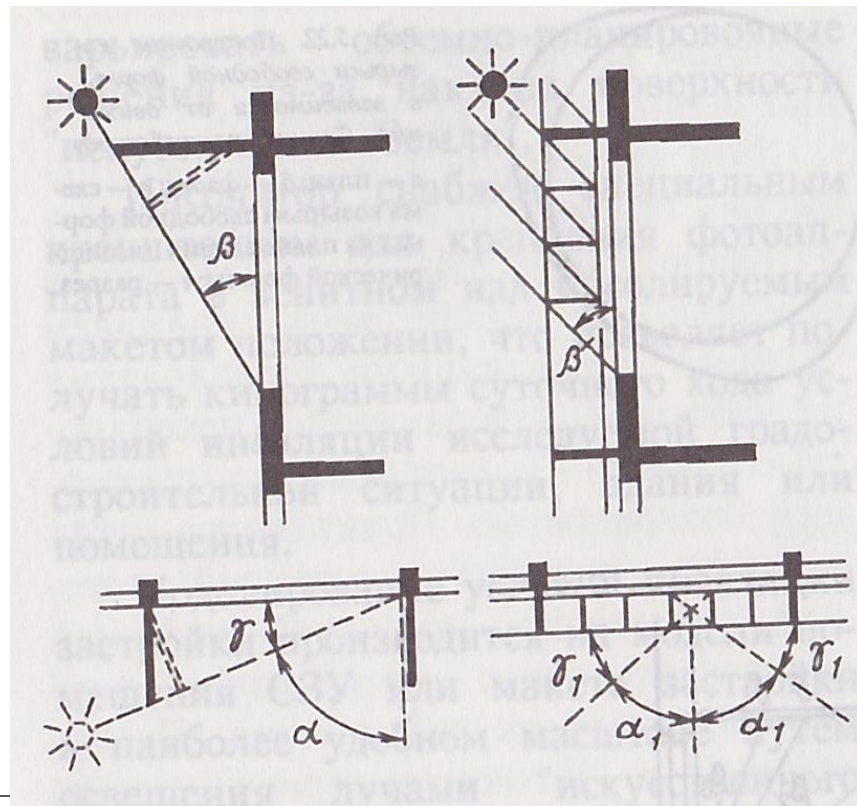
$\beta$ - для горизонтальных элементов СЗУ

$\gamma$ - для вертикальных элементов СЗУ

$$\beta = \arctg (\operatorname{ctg} h \cos \alpha)$$

$$\gamma = 90 - \alpha$$

где  $h$  - высота Солнца, град;  
 $\alpha$  - угол между  
перпендикуляром к фасаду в  
плане и азимутом солнца ( $A_0$ )



# Лекция 3

**Источники искусственного света.  
Основы нормирования и расчета.  
Световой дизайн ночного города.**

# Лампы накаливания

## ДОСТОИНСТВА

удобство в эксплуатации

простота изготовления

низкая инерционность при включении

отсутствие дополнительных пусковых устройств

## недостатки

небольшой срок службы: до 2,5 тыс. ч

низкая световая отдача  
 $\psi = 7-20 \text{ Лм/Вт}$

преобладание излучения в желто-красной части спектра, искажение цветового восприятия

# Люминесцентные лампы

## ДОСТОИНСТВА

- повышенная световая отдача: 40-110 лм/Вт,
- большой срок службы (10-15 тыс. ч),
- благоприятный спектр излучения (близок к спектру естественного света).

## недостатки

- пульсация светового потока, стробоскопический эффект - опасность производственного травматизма.
- Применение пусковых устройств – сложность изготовления и эксплуатации.

# Газоразрядные лампы высокого давления

## Три группы:

- ❖ Дуговые ртутные лампы. (ДРЛ)
- ❖ Металлогалогенные лампы. (МГЛ)
- ❖ Натриевые лампы высокого давления. (НЛВД)



Устройство лампы ДРЛ:

9- цоколь

8,7- электрод

5 - Разрядная трубка

2- Внешняя колба

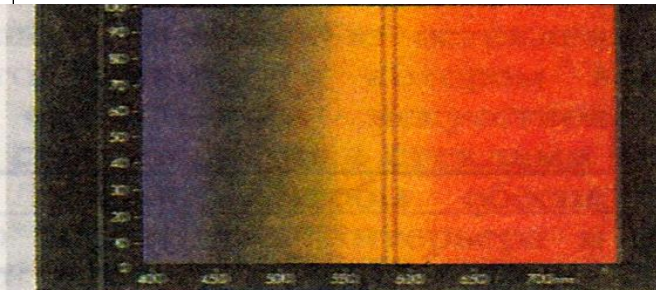
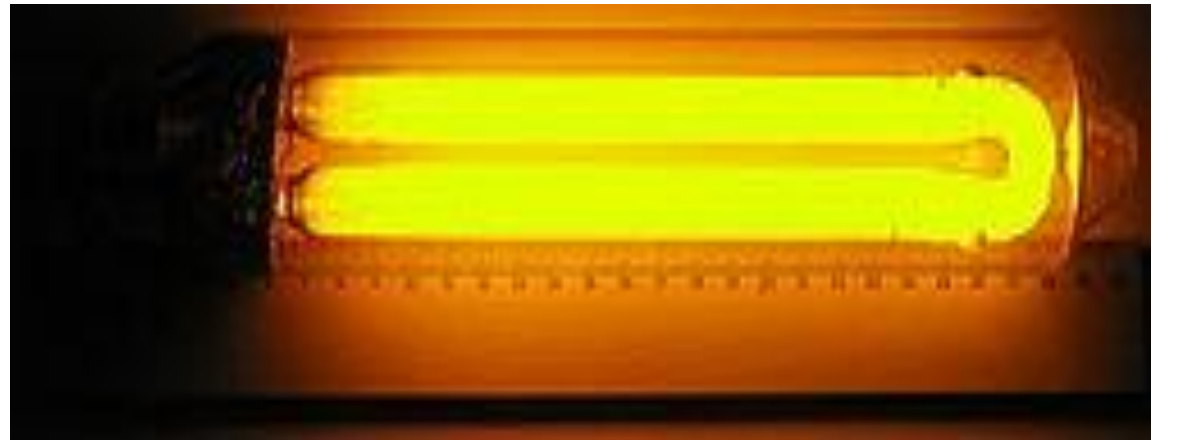
3 люминофор

# Натриевая газоразрядная лампа низкого давления (НЛ)

**Выключенная**  
лампа низкого  
давления 35 ватт










**Включенная**  
лампа низкого  
давления 35 ватт



## **Характеристики разрядных ламп высокого давления.**

- **Напряжение сетевое.**
- **Мощность до 1000 – 2000 Вт.**
- **Срок службы до 10000 – 15000 ч.**
- **Стабильность работы: к концу теряют до 30% светового потока.**
- **Температура от -40 до 50°C.**
- **Безопасность: внимание к утилизации, и к пульсации освещенности, недопустима эксплуатация с треснувшей колбой и без колбы.**
- **Энергоэкономичность: ДРЛ от 40 до 60 лм/Вт.  
МГЛ от 60 до 100 лм/Вт.  
НЛВД до 120 лм/Вт.**
- **Световой поток.**
- **Цветовая температура: ДРЛ более 4000 К. НЛВД около 2000 К.  
МГЛ от 3000 до 6000 К**
- **Цветопередача: применяются при невысоких требованиях к цветопередаче.**



Параметр	Источник света							
	Лампа накаливания		Люминесцентная лампа		Разрядная лампа			Светодиод
								
Средний срок эксплуатации, часов	1000	2000-3000	10000	10000-15000	12000-15000	6000-12000	20000	
Энергоэффективность, лм/Вт	8-13	14-16	45-60	60-90	45-55	80-90	80-120	100-150
Температурный режим окружающей среды, °C	-40...+40	-40...+40	+5...+30	+5...+30	-30...+50	-30...+50	-30...+50	-40...+60
Индекс цветопередачи, R <sub>a</sub>	80-90	80-90	70-80	70-80	45	80-90	25	75-95
Цветовая температура, К	2400-2700	3000	2700-6000	2700-6000	9000-10000	3000-6000	2000	2800-10000
Ультрафиолетовое излучение	Среднее	Среднее	Высокое	Высокое	Очень высокое	Очень высокое	Очень высокое	Нет
Стробоскопический эффект	Нет	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет
Наличие вредных веществ	Нет	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет
Специальные условия хранения и эксплуатации	Нет	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет

## Расчет количества ламп по световому потоку.

Требуемый суммарный световой поток:

$$\sum \Phi = \frac{E \cdot A \cdot K_3}{U}$$

$E$  - требуемая освещенность, лк;

$A$  - площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$U$  – коэффициент использования осветительной установки;

Требуемое количество светильников:

$$N = \frac{\sum \Phi}{n \Phi_{л}}$$

$\Phi_{л}$  – световой поток одной лампы, лм;

$n$  - число ламп в одном светильнике.

# прием светового дизайна города 1заливающее освещение фасадов



## 2 Локальное освещение фасадов

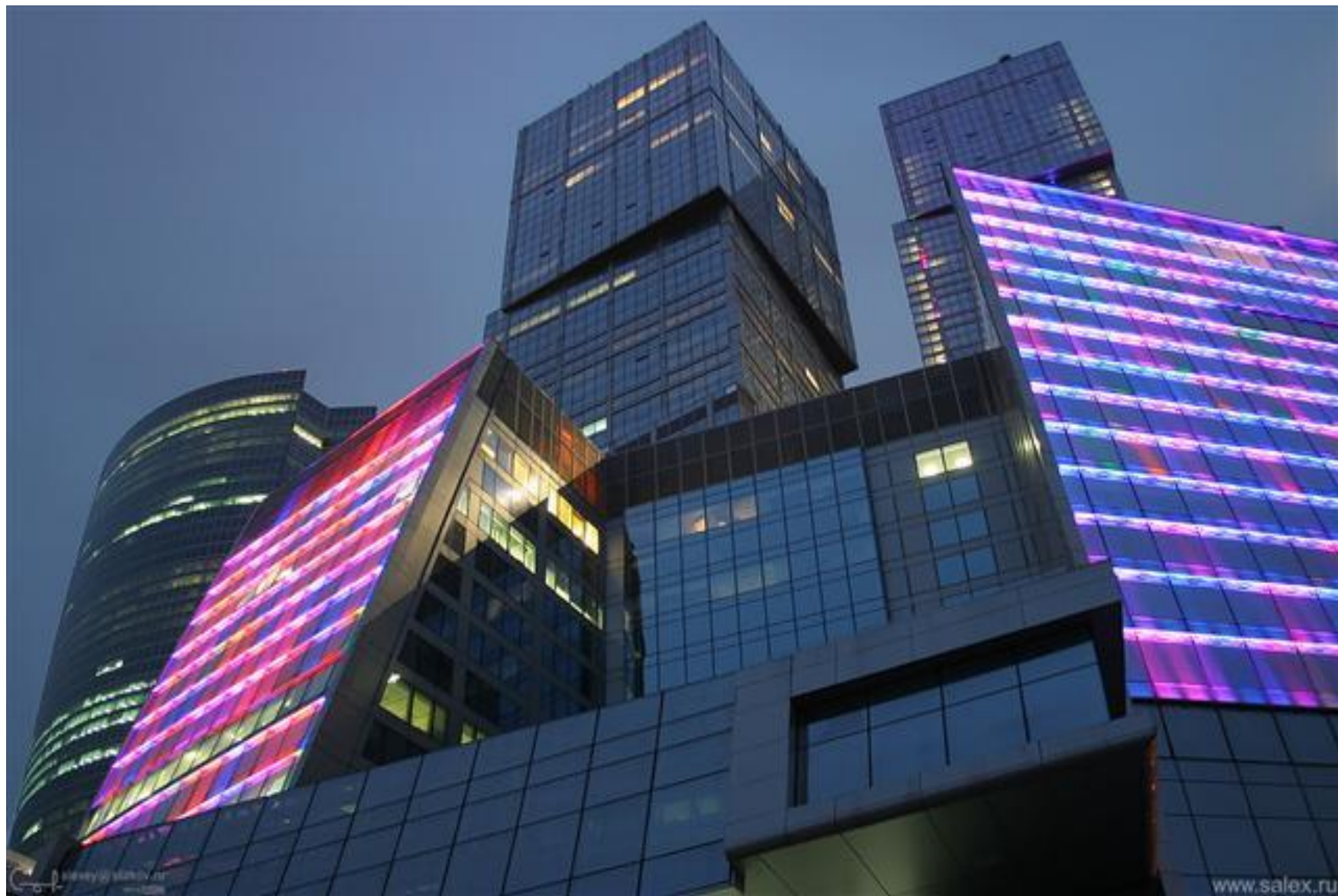


# 3 Цветовой контраст



# 4 Яркостный контраст





## 5 Светящиеся фасады



6 Световая графика



# Лекция 3

**Основные приемы архитектурной  
акустики залов.**

**Шумовое загрязнение  
городской среды.**

## Суммарное звукопоглощение помещения

$$A_{\text{общ.}} = \sum \alpha_i \cdot S_i + \sum A_{\text{крес.слуш.}} + \alpha_{\text{доб.}} \cdot S_{\text{общ.}}$$

$\sum \alpha_i \cdot S_i$  - сумма произведений площадей поверхностей на их коэффициент звукопоглощения

$$\sum A_{\text{крес.слуш.}} = (0,7 \cdot N \cdot A_{\text{слуш.в кр.}} + 0,3 \cdot N \cdot A_{\text{кр.без слуш.}})$$

- сумма ЭПЗ, м<sup>2</sup> слушателей и кресел

$0,7 \cdot N \cdot A_{\text{слуш.в кр.}}$  - 70% кресел зала заполнены слушателями;

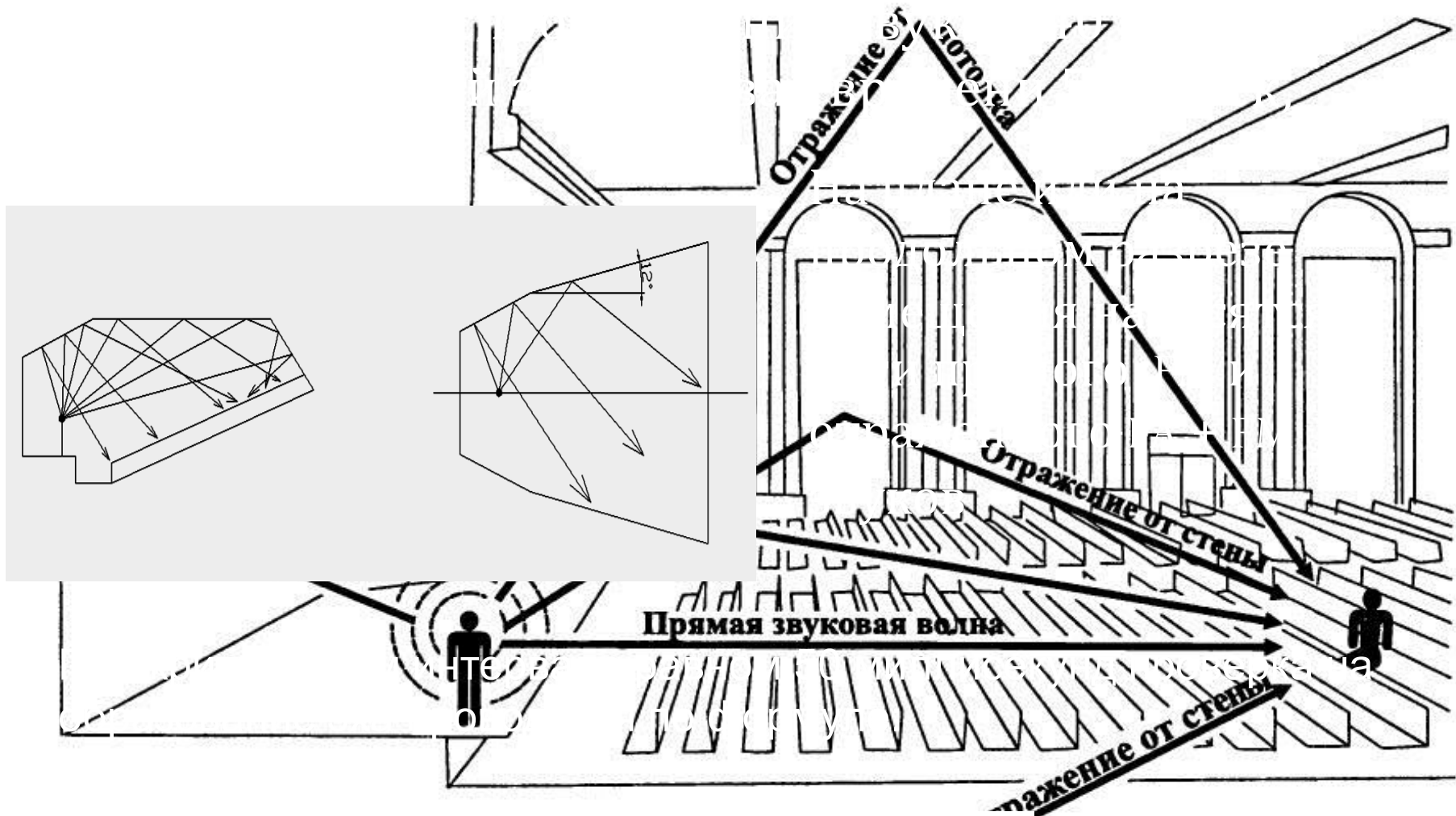
$$A_{\text{слуш.в кр.}} = \alpha_{\text{слуш.в кр.}} \cdot S_{\text{слуш.в кр.}}$$

$0,3 \cdot N \cdot A_{\text{кр.без слуш.}}$  - 30% кресел в зале пусты

$$A_{\text{крес.}} = \alpha_{\text{кресел}} \cdot S_{\text{кресел}}$$

$\alpha_{\text{доб}}$  - коэффициент добавочного звукопоглощения, учитывающий звукопоглотители равен: 0,08 – 0,09 на частоте 125 Гц, 0,04 – 0,05 на частотах 500 – 2000 Гц

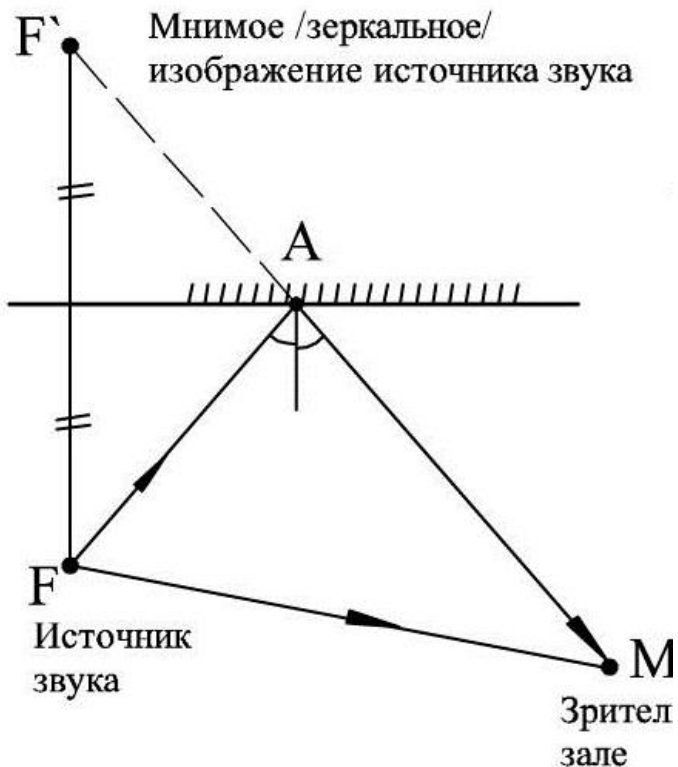
# Проверку на образование эха ведут геометрическим способом



$$FM + 17 \geq FA + FM$$

# Метод мнимых источников.

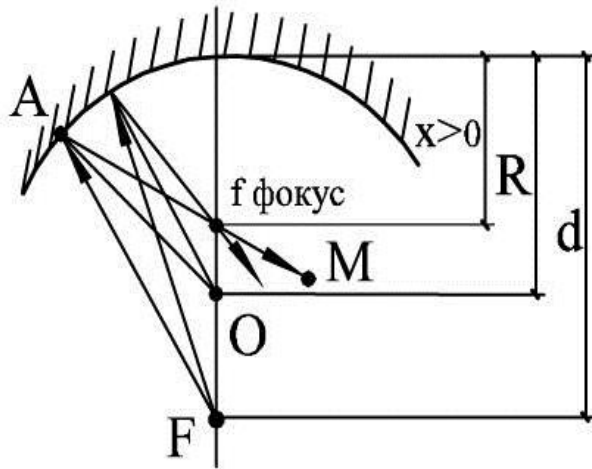
## а - построение отражений от плоских поверхностей



Мнимый источник  $F'$  симметричен с действительным точечным источником  $F$  по отношению к отражающей плоскости и находится по другую ее сторону.

Из точки  $F$  опустить перпендикуляр на отражающую поверхность и на продолжении его отложить отрезок  $F'O$ , равный  $FO$ . Провести прямую  $F'M$ , (из мнимого источника звука до зрителя). Луч  $FA$  является лучом падающим на поверхность, луч  $AM$  – отраженным от поверхности и луч  $FM$  является прямым звуком.

## б - построение отражений от вогнутых поверхностей



При отражении от вогнутых поверхностей звуковые лучи сходятся в точке – **фокус**. Фокусировка или концентрация звуков в зале является крупным акустическим недостатком. При этом в районе фокуса возникает зона повышенной громкости, а другие участки лишены усиливающих отражений («звуковые ямы»).

Устранение этого недостатка при проектировании залов обеспечивается выбором надлежащего радиуса кривизны  $R$ , при котором фокус не образуется в районе расположения мест зрителей.

Расстояние ( $x$ ) от фокуса ( $f$ ) до поверхности определяется по формуле:

$$x = \frac{dR}{2(d - R)}$$

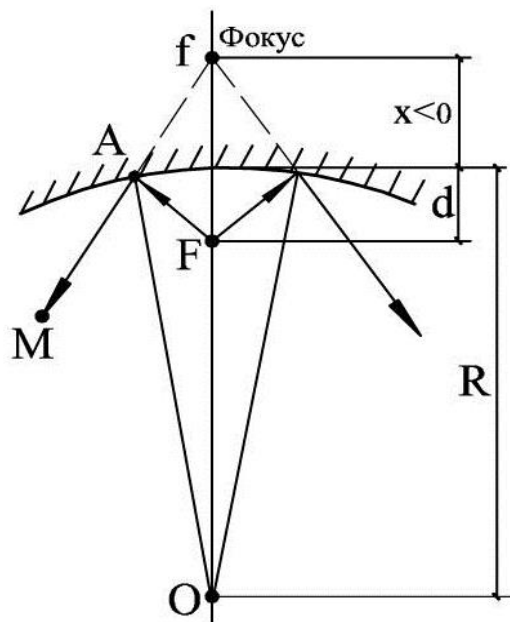
$d$  - расстояние от источника звука до поверхности, м

$R$  – радиус кривизны поверхности, м

Луч  $AM$ , проходящий через фокус  $f$  и точку  $M$  (зритель в зале), является отраженным звуковым лучом.

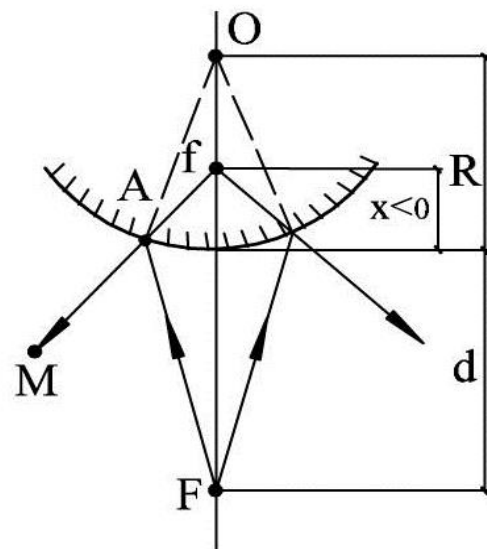
## в - построение отражений от вогнутых поверхностей (звукорассеивающий эффект)

Звукорассеивающий эффект вогнутой криволинейной поверхности наблюдается при условии  $R > 2d$ . В этом случае  $X < 0$  и фокус располагается по другую сторону поверхности.



## г - построение отражений от выпуклых поверхностей (звукорассеивающий эффект)

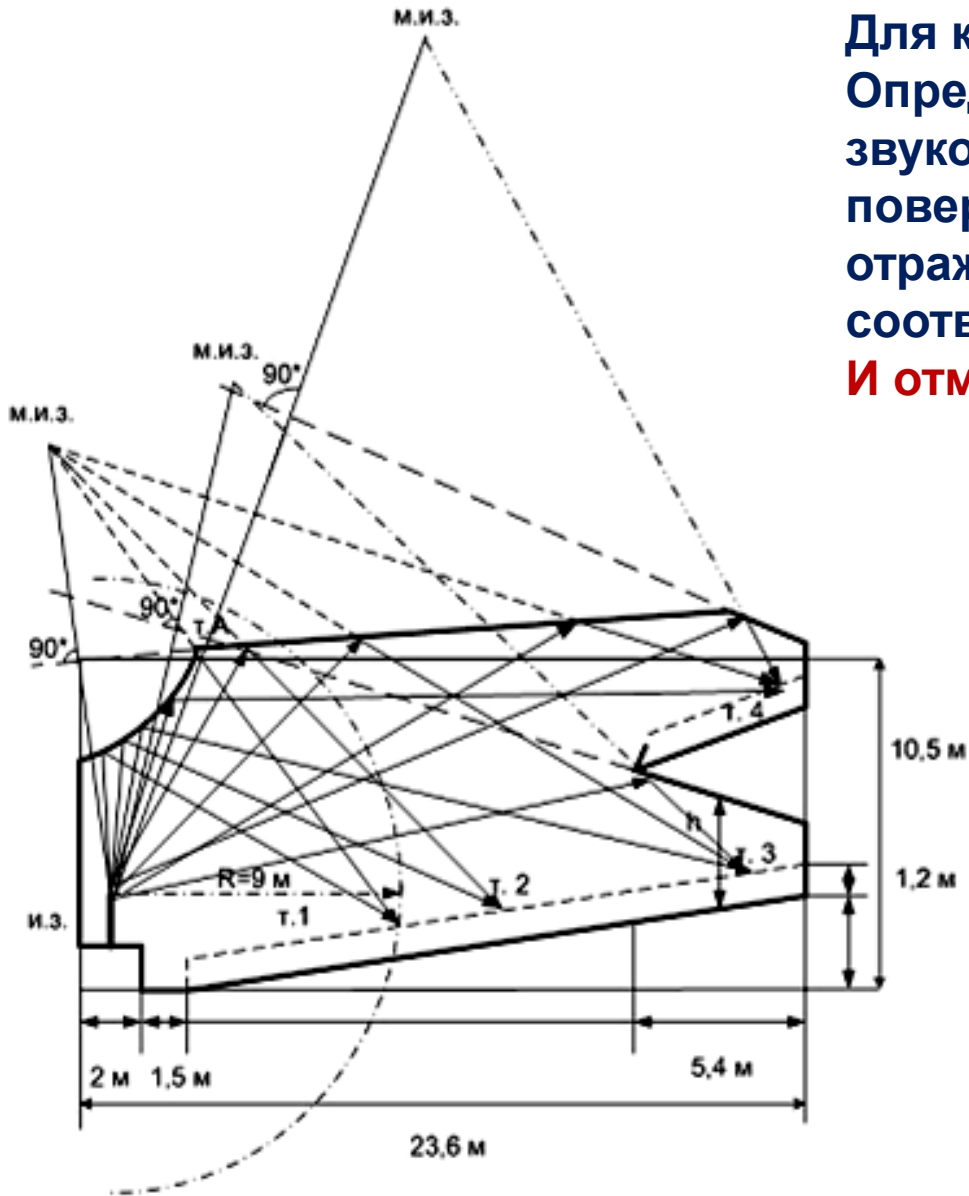
Построение отраженных звуковых лучей от выпуклых криволинейных поверхностей свидетельствует о звукорассеивающих свойствах этих поверхностей. Поэтому на практике этот вид пластической отделки интерьера широко используется для создания диффузного звукового поля.



## Время запаздывания отражений.

Для каждой расчетной точки.  
Определяем время запаздывания звуковых отражений от поверхностей, которые дали отражения звуковой волны в соответствующую точку.

**И отмечаем полезные отражения!**



$$t_{\text{зап.}} = \frac{(r - l_{\text{пр.}}) \cdot 1000}{340}$$

$$r = l_{\text{пад.}} + l_{\text{отр.}}$$

- путь отраженного звука, м

$l_{\text{пр.}}$  - путь прямого звука, м

**Допустимое время запаздывания для:**

- речи 20-25 м/сек,
- музыки – 30-35 м/сек,
- многофункциональных залов – 25-30 м/сек,
- концертные залы - 50 м/сек.

# Коэффициент разборчивости речи в зале

Хорошие акустические качества зала характеризуются высокой степенью разборчивости. Отношение плотности полезной звуковой энергии к бесполезной характеризует коэффициент разборчивости речи  $K_p$ :

$$K_p = \frac{E_{\text{прям}} + E_{50}}{E_{\text{бесп.}}}$$

$$E_{\text{прям}} = \frac{P}{4\pi C r_0^2}$$

$$E_{\text{бесп.}} = \frac{4P(1 - \alpha_{\text{ср}})^2}{\alpha_{\text{ср}} \cdot S_{\text{общ}} C} \quad E_{50} = \frac{P(1 - \alpha_{\text{пов}})}{4\pi C} = \left( \frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \dots + \frac{1}{r_n^2} \right)$$

$$K_p = \frac{\alpha_{\text{ср}} \cdot S_{\text{общ}}}{16\pi(1 - \alpha_{\text{ср}})^2} = \left( \frac{1}{r_0^2} + \frac{1 - \alpha_1}{r_1^2} + \frac{1 - \alpha_2}{r_2^2} + \dots + \frac{1 - \alpha_n}{r_n^2} \right)$$

**$K_p \geq 0,2$  - хорошая разборчивость речи (75 PA)**



**Расчет времени реверберации ведется с учетом отделки зала, производится на трех частотах:  
125, 500, 2000 Гц.**

Подсчет времени реверберации  $T$ (с) ведется по формуле Эйринга:

**На частотах 125, 500 Гц:**

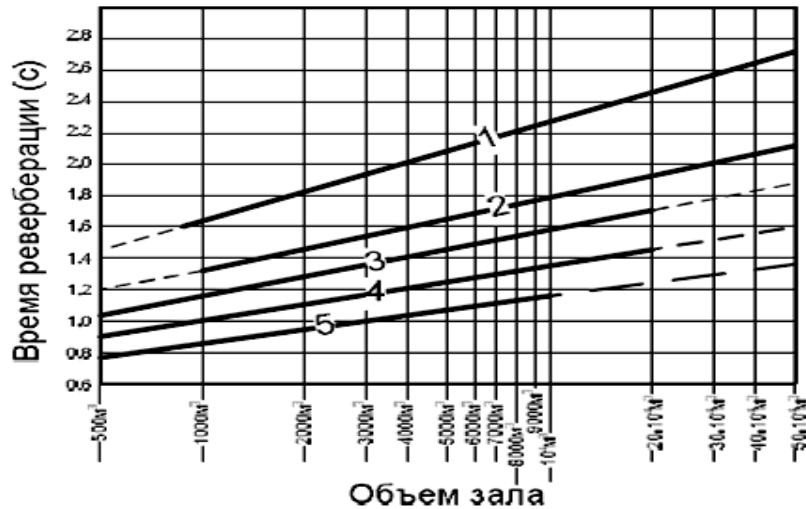
$$T = 0,161 \frac{V}{-\ln(1 - \alpha_{cp}) S_{общ}}$$

**На частоте 2000 Гц:**

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{-\ln(1 - \alpha_{cp}) S_{общ} + n \cdot V}$$

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

## Оптимальное время реверберации залов различного назначения на частотах 500 – 1000 Гц.



- 1 – залы ораторий и органной музыки;
- 2 – залы симфонической музыки;
- 3 – залы камерной музыки, залы оперных театров;
- 4 – залы многоцелевого назначения, муз.-драм. Театров, сСпорт.залы;
- 5 – лекционные залы, заседаний, драм. театров, кинозалы, пассажирские залы;

Допустимое отклонение от оптимальных значений  $T$  равно  $\pm 10\%$ .  
В октавной полосе 125 Гц допускается превышение до 20%.

Если  $T > T_{\text{опт}}$ , то необходимо уменьшить объем зала, увеличить количество мест, поставить более мягкие кресла или ввести в интерьер звукопоглощающую облицовку

# Обеспечение диффузности звукового поля

**1 Отсутствие параллельных и вогнутых поверхностей;**

**2 Соблюдение пропорций зала**

$$L \leq L_{\text{дон}} \quad B = S_n / L \quad H = V / S_n$$

$$1 < L/B < 2 \quad 1 < B/H < 2$$

$L$  – длина зала по его центральной оси, м;

$L_{\text{дон}}$  – предельно допустимая длина зала, м;

$B$  и  $H$  – соответственно средняя ширина и высота зала, м;

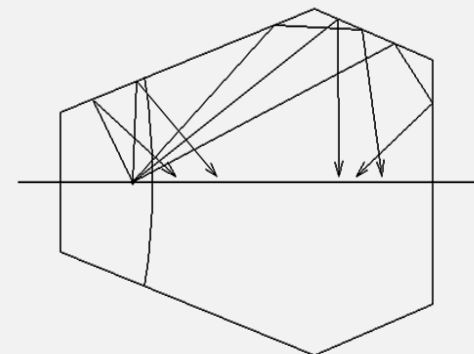
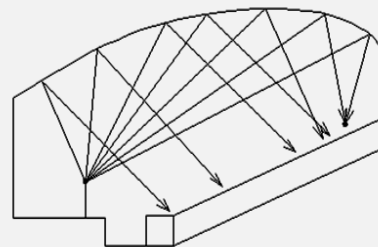
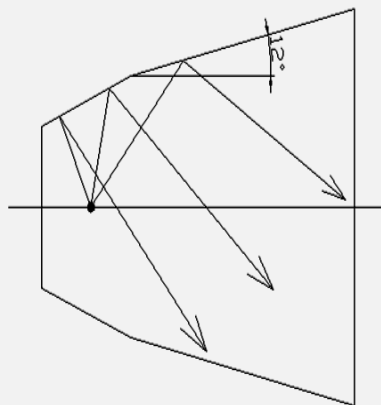
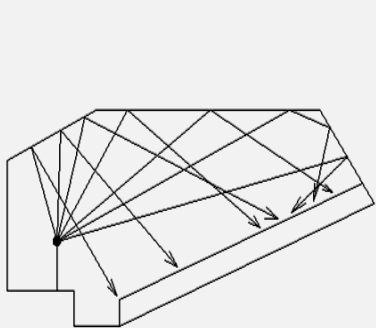
$V$  – общий воздушный объем зала, м<sup>3</sup>;

$S_n$  – площадь пола зала, м<sup>2</sup>.

**3 Членение поверхностей**

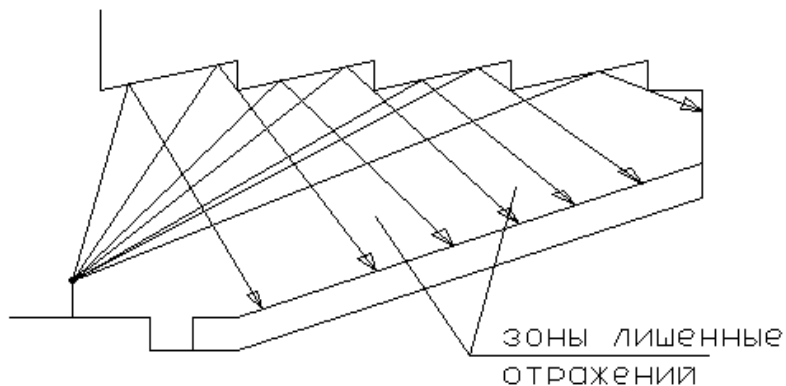
# Лекционные залы

$N_{max} \rightarrow 400$  мест;  $L_{max} \rightarrow 25$  м;  $V_{уд} \rightarrow 5$  м<sup>3</sup>;  $V_{max} \rightarrow 2000$  м<sup>3</sup>

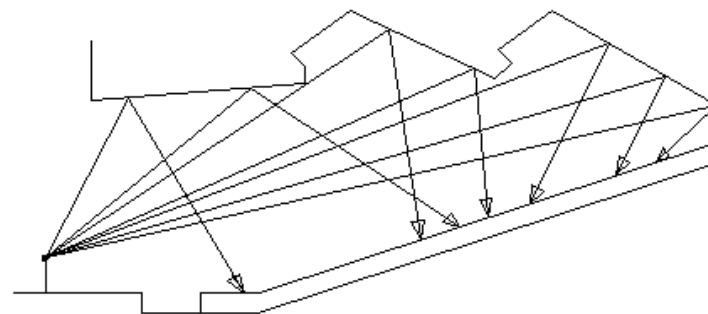


# Драматические театры

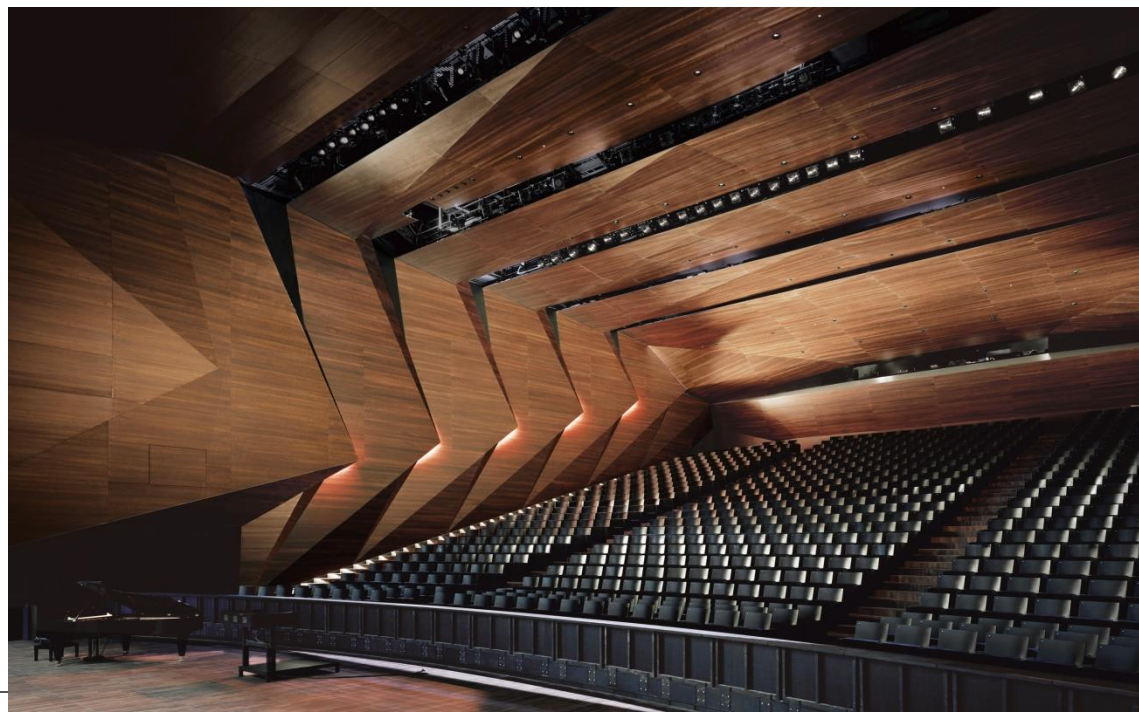
**Неверно:**

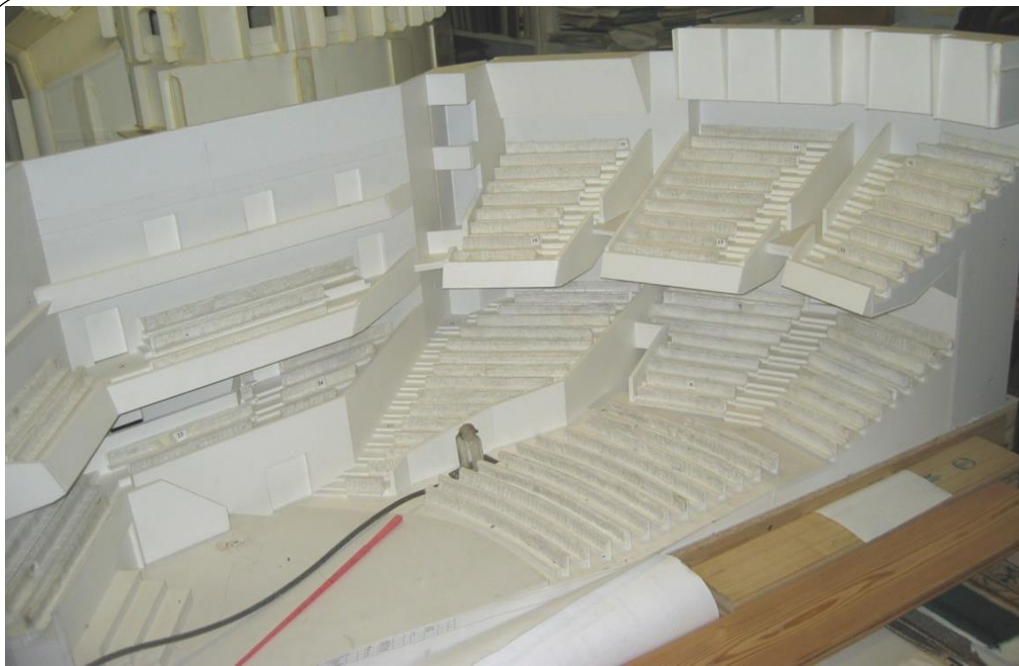


**Правильно:**



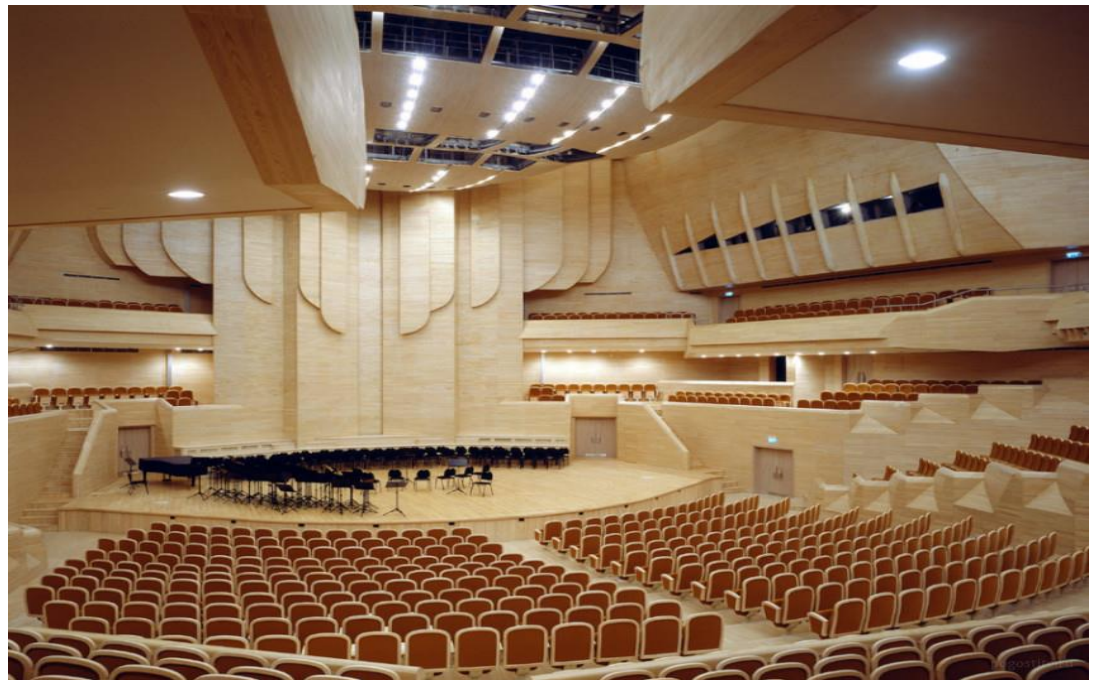
**Пример выбора  
очертаний зала в  
драматическом  
театре в Австрии**





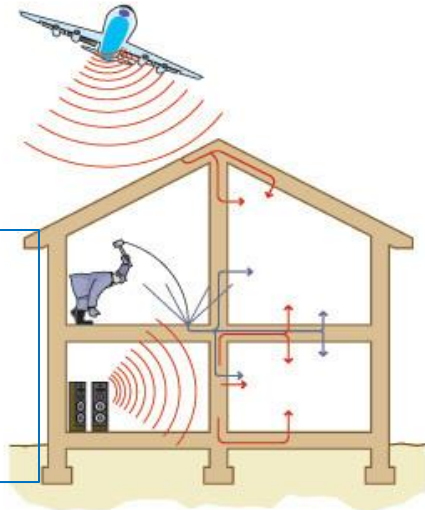
**Использование  
метода  
моделирования в  
акустическом  
проектировании.**

**Дом музыки**



# Защита от шума

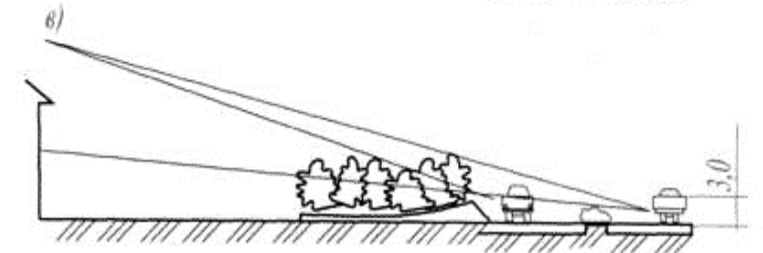
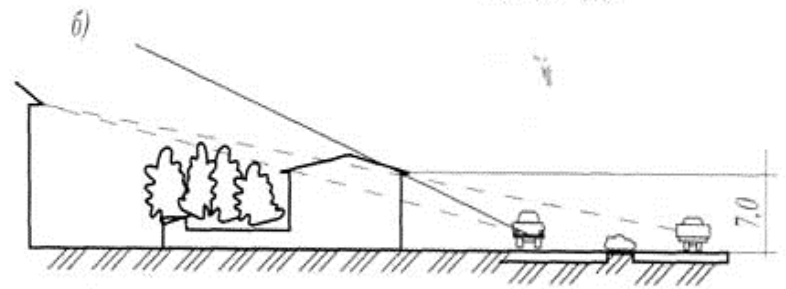
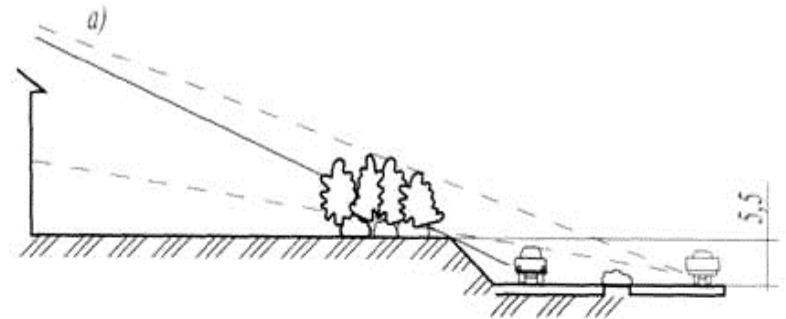
Между секциями нет звукоизоляции, шум беспрепятственно проходит через общую стену в соседние помещения



Между секциями есть деформационный шов, ограничивает проникновение звука в соседнюю секцию



Использование рельефа, шумозащитных зданий, экранов в виде зеленых насаждений для защиты жилой застройки от шума



# Звукопоглощающие материалы и конструкции

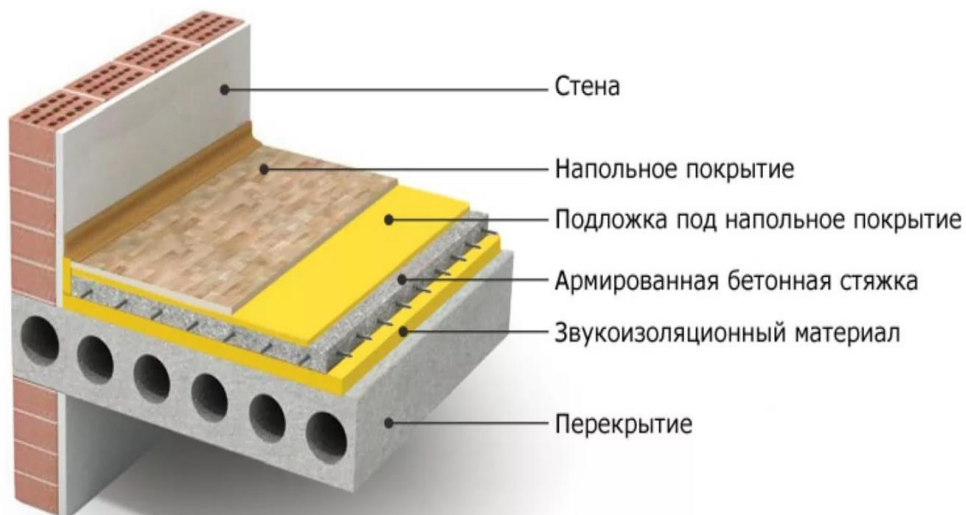
Служат для поглощения падающих на них звуковых волн

- Резонансные и слоистые
- Пористые, пористые с перфорированными экранами
- Штучные (объемные)
- Кулисного типа



# Звукопоглощающая отделка помещения





# Типы звукоизоляционных конструкций междуэтажного перекрытия и потолка

