



# Архитектурная светология

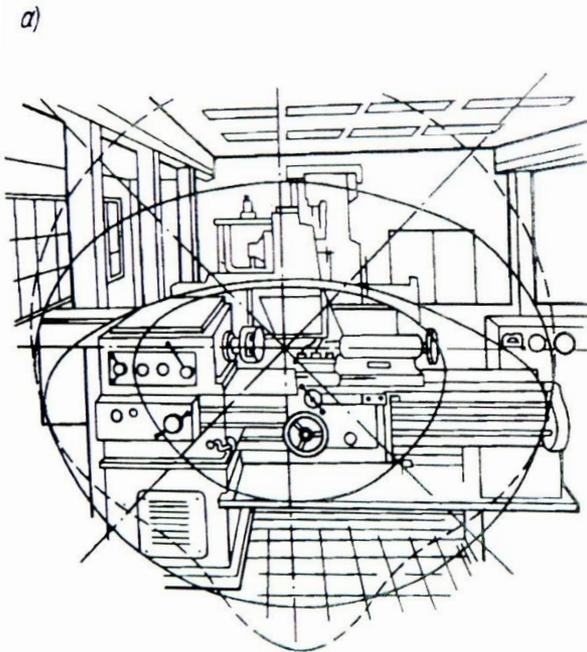
# Свет, зрение и архитектура

**Свет** - излучение оптической области спектра, которое вызывает биологические, главным образом зрительные реакции.

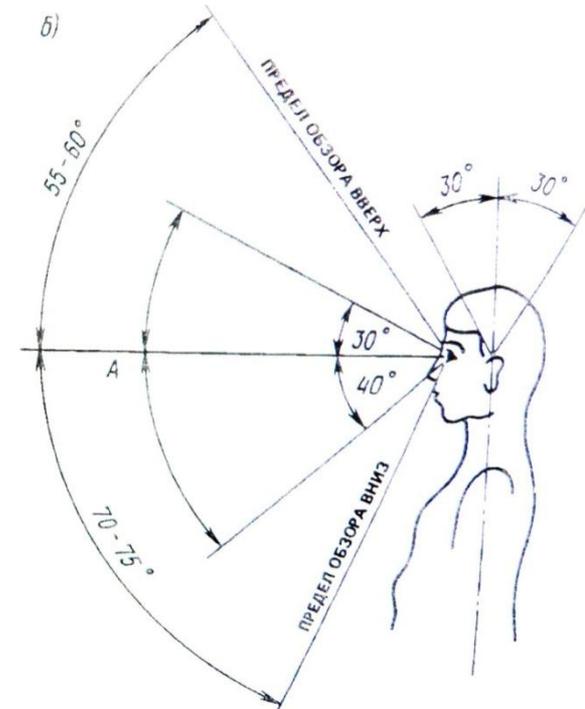
**Цвет** – особенность зрительного восприятия, позволяющая наблюдателю распознавать цветовые стимулы (излучения), различающиеся по спектральному составу.

**Световая среда** – совокупность ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных излучений, генерируемых источниками естественного и искусственного света.

**Глаз** – не только оптический прибор, позволяющий видеть предметы, но и анализатор, дающий возможность получать впечатления.



Поле зрения человека при бинокулярном видении (а)



Углы зрения в вертикальной плоскости (б)

# Основные величины, единицы и законы

Оптическая часть электромагнитного спектра лучистой энергии  
включает в себя:

## Ультрафиолетовое

– излучение, длины волн  $\lambda$  монохроматических составляющих которого меньше длин волн видимого излучения и больше 1 нм.

## Видимое излучение (свет)

непосредственно вызывает зрительные ощущения.

## Инфракрасное – излучение, длины волн

монохроматических составляющих которого больше длин волн видимого излучения и меньше 1 мм.

## Монохроматическое излучение

характеризуется очень узкой областью частоты, которая может быть определена одним значением частоты.

## Сложное излучение

характеризуется совокупностью монохроматических излучений разных частот (дневной свет).

# Основные величины, единицы и законы

**Спектр излучения** – это распределение в пространстве сложного излучения в результате его разложения на монохроматические составляющие.

**Лучистый поток (P)** – величина, характеризующая мощность лучистой энергии, единица измерения *ватт* [Вт].

Мощность световой энергии характеризуется **световым потоком (Ф)**, единица измерения которого *люмен* [лм].

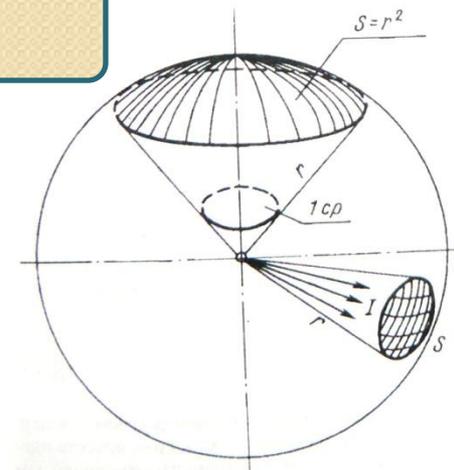
Так как применяемые на практике источники света распределяют световой поток в пространстве неравномерно, для оценки светового действия пользуются понятием **силы света (I)**, единицей измерения которой является *кандела* [кд]:

$$I = \Phi / \Omega$$

Где  $\Omega$  – **телесный угол**, определяемый по формуле:

$$\Omega = S / r^2$$

Где  $S$  – площадь, которую телесный угол вырезает на поверхности сферы, описанной из его вершины,  $m^2$ ;  
 $r$  – радиус этой сферы, м.



# Основные величины, единицы и законы

Для оценки условий освещения, создаваемых источником света, пользуются понятием **освещенности (Е)** – отношение светового потока  $\Phi$  к площади освещаемой им поверхности  $S$ :

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad \text{Единица измерения } E \text{ – люкс [лк]}$$

Критерием оценки переменного естественного освещения служит **коэффициент естественной освещенности (КЕО)**, который представляет собой отношение естественной освещенности  $E_M$  создаваемой в точке  $M$  на заданной поверхности внутри помещения светом неба, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под открытым небом  $E_H$ :

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

На ряду с КЕО в расчетах естественного освещения применяется **геометрический КЕО**, обозначаемый  $e_{гк}$ . Он отличается от КЕО тем, что не учитывает влияние остекления и отделки в помещении, а также неравномерной яркости небосвода (определяется по закону проекции телесного угла).

# Основные величины, единицы и законы

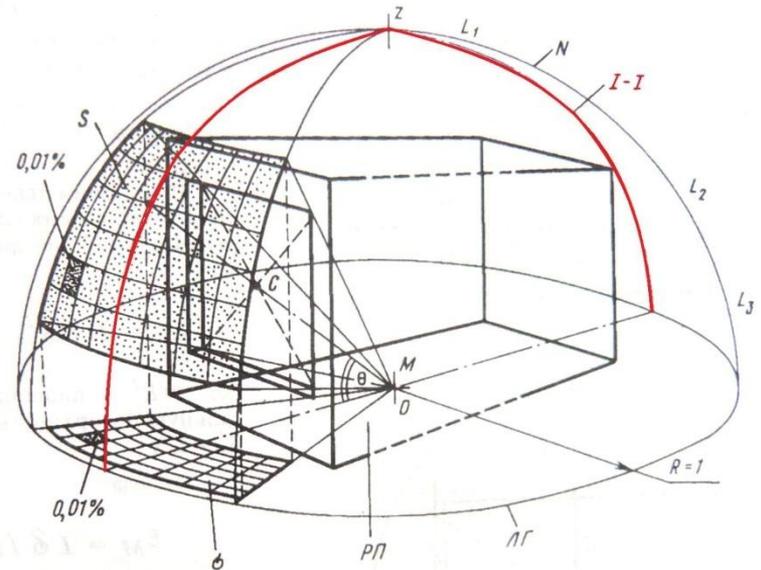
В основу расчета и моделирования естественного освещения помещений положены 2 закона:

## 1. Закон проекции телесного угла

«Освещенность  $E_M$  в какой-либо точке поверхности помещения, создаваемая равномерно светящейся поверхностью неба, прямо пропорциональна яркости неба  $L$  и площади проекции  $\sigma$  телесного угла, в пределах которого из данной точки виден участок неба, на освещаемую рабочую поверхность.»

При этом принято 3 допущения:

1. Яркость неба во всех точках одинакова;
2. Не учитывается влияние отраженного света;
3. Не учитывается остекление светопроема.

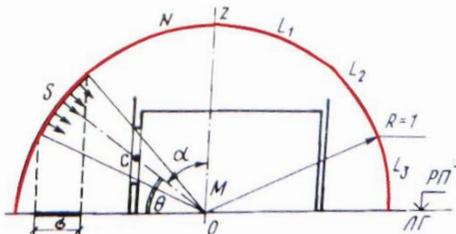


Графическая модель небосвода. Аксонометрия.

$$E_M = L \sigma \quad [\text{лк}]$$

Где  $L$  – яркость неба [кд/м<sup>2</sup>]

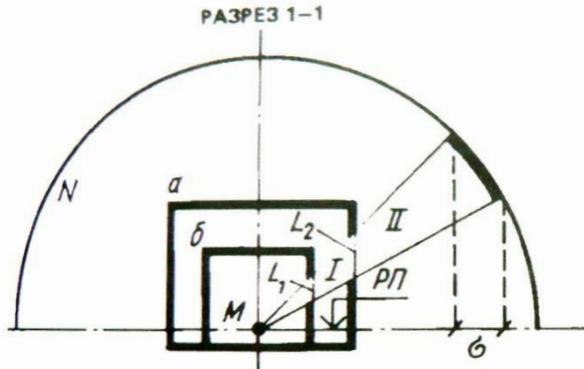
$\sigma$  – площадь поверхности телесного угла [м<sup>2</sup>]



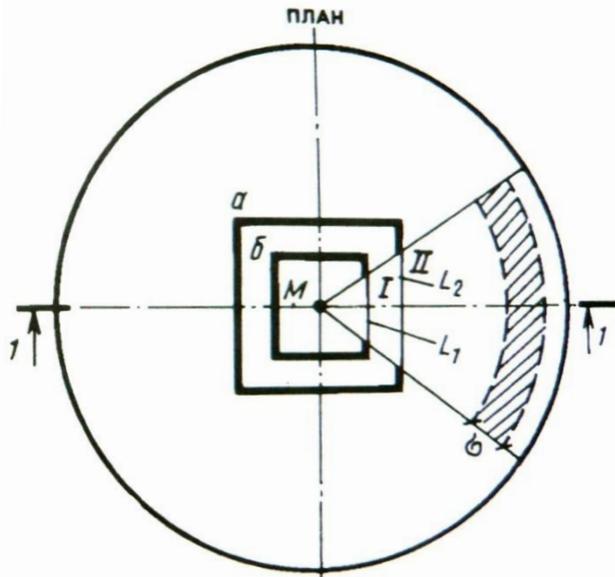
Графическая модель небосвода. Разрез 1-1

# Основные величины, единицы и законы

## 2. Закон светотехнического подобия



Модель помещения в масштабе 1:10 на разрезе



Модель помещения в масштабе 1:20 на плане

Освещенность в точке М помещения создается через окна, обладающие яркостью  $L_1$  и  $L_2$ . Различная яркость может создаваться применением различных сортов стекла.

Однако при различных размерах окон, но с одинаковым освещением, освещенность в точке М создается одним и тем же телесным углом с вершиной в этой точке. Из закона проекции телесного угла  $L_1 = L_2 = L_n = \text{const.}$  Следовательно, освещенность в какой-либо точке помещения зависит не от абсолютных, а от относительных размеров помещения.

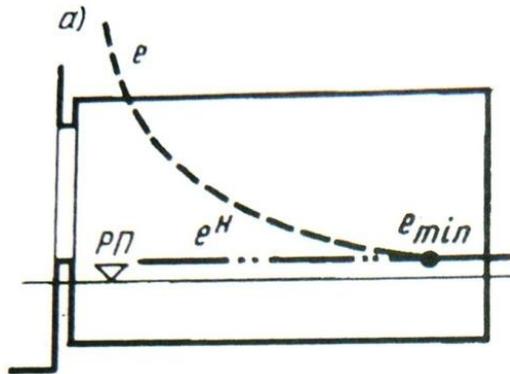
# Классификация освещений



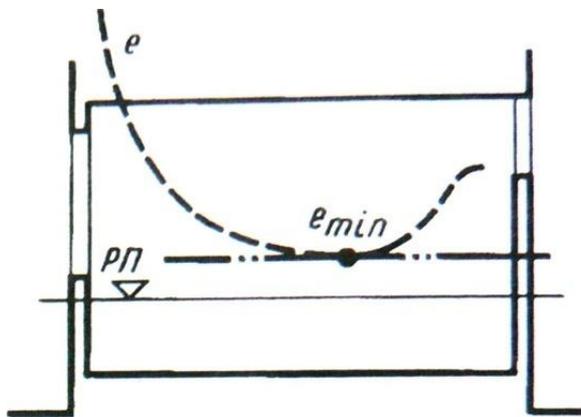
# Естественное освещение

Боковое освещение:

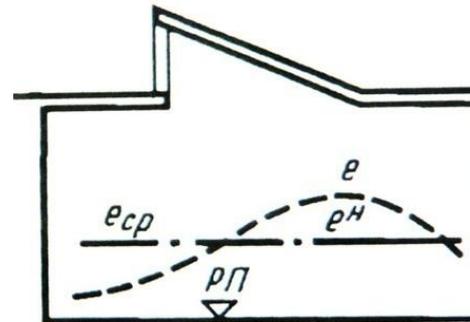
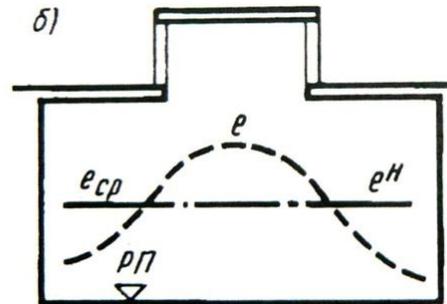
одностороннее



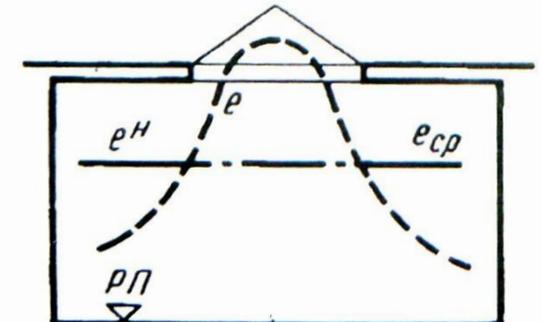
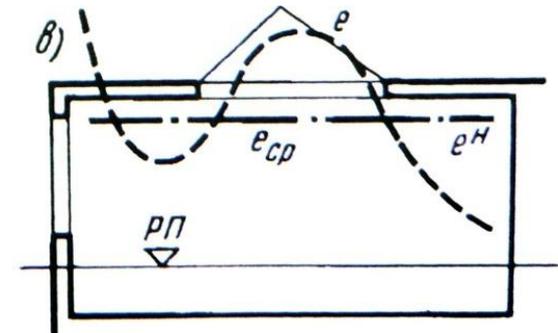
двустороннее



Верхнее  
освещение:



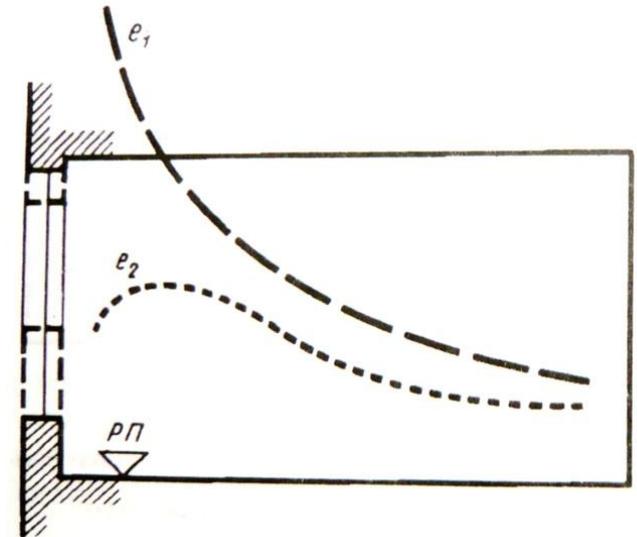
Комбинированное  
освещение:



# Естественное освещение

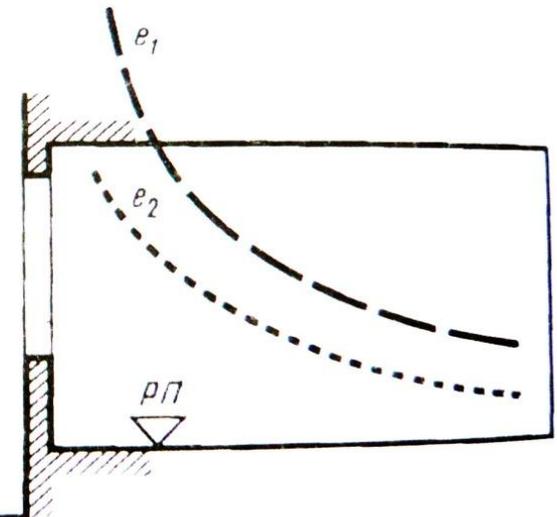
Влияние на естественное освещение в помещениях размеров светопроема

$e_1$  – КЕО при большем окне.  
 $e_2$  – КЕО при меньшем окне.

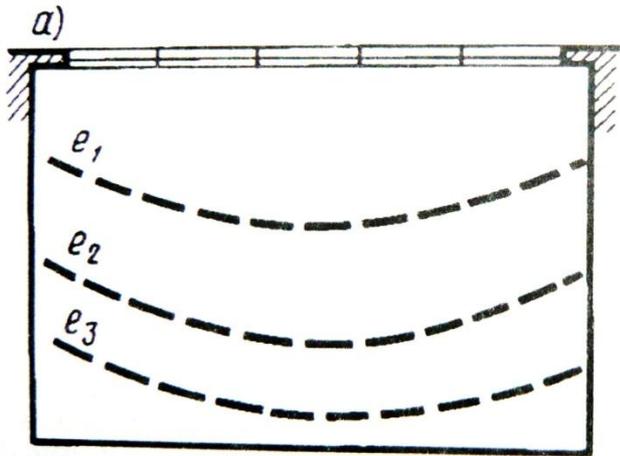


Влияние на естественное освещение в помещениях с внутренней отделкой, характеризуемой коэффициентами и характеристиками отражения потолка, стен, пола и их площадями.

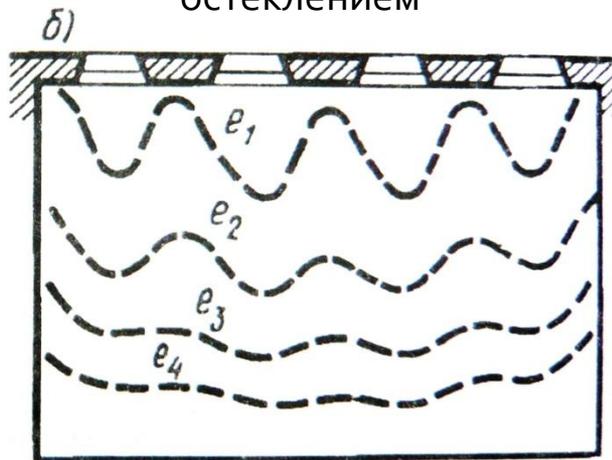
$e_1$  и  $e_2$  - КЕО соответственно при светлой и темной отделке



# Естественное освещение



План помещения с ленточным остеклением



План помещения с высокими узкими окнами

Влияние на естественное освещение в помещениях формы светопроема (прямоугольный – горизонтальный или вертикальный, круглый, треугольный и т.д.) и его обрамления (стены – толстые и тонкие, со скосами и без них).

$e_1 - e_4$  – кривые равных значений КЕО на уровне подоконника

# Расчет коэффициента естественного освещения

## а) при боковом освещении

$$e_p^{\bar{\epsilon}} = \left( \sum_{i=1}^L \epsilon_{\bar{\epsilon}i} g_i + \sum_{j=1}^M \epsilon_{3Дj} b_{\phi j} K_{3Дj} \right) \cdot r_0 \tau_0 / K_3$$

Где L – число участков небосвода, видимых через световой проем из расчетной точки;

- геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет i-го участка неба; где

- число лучей  $\epsilon_{\bar{\epsilon}i} = 0,01(n_1 n_2) n_1 n_2$

$g_i$  - коэффициент, учитывающий неравномерную яркость i-го участка облачного неба МКО;

M – число участков фасадов зданий противостоящей застройке, видимых через световой проем из расчетной точки;

T – число световых проемов в покрытии.

$\epsilon_{3Дj}$  - геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет i-го участка фасадов зданий противостоящей застройки;  $\epsilon_{3Дj} = 0,01(n'_1 n'_2)$

- средняя относительная яркость j-го участка противостоящего здания, расположенного параллельно исследуемому зданию;

$r_0$  - коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;

$K_3$  - коэффициент запаса;

# Расчет коэффициента естественного освещения

## б) при верхнем освещении

$$e_p^в = \left( \sum_{i=1}^T \varepsilon_{Bi} + \varepsilon_{cp} (r_2 k_\phi - 1) \right) \tau_0 / K_3$$

Где  $\varepsilon_{Bi}$  - геометрический КЕО в расчетной точке при верхнем освещении от  $i$ -го проема;

$\varepsilon_{cp}$  - среднее значение геометрического КЕО при верхнем освещении на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза помещения:

$$e_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_{Bi}$$

где  $N$  - число расчетных точек.

$\tau_0$  - общий коэффициент пропускания света, определяемый по формуле  $\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5$

Где  $\tau_1$  - коэффициент светопропускания материала

$\tau_2$  - коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема

$\tau_3$  - коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях

$\tau_4$  - коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах

$\tau_5$  - коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями

## в) при комбинированном освещении

$$e_p^к = e_p^в + e_p^б$$

# Алгоритм расчета естественного освещения помещения

## 1. Определить нормированное значение КЕО

$$e_N = e_n \cdot m_N$$

$e_n$  берется из СНиП 23-05-95\*  
Приложение И

Где  $e_n$  – значение КЕО в процентах при рассеянном свете небосвода

$m_N$  - коэффициент светового климата (таб.4 СНиП 23-05-95\*)

$N$  – номер группы обеспеченности естественным светом (таб.4 СНиП 23-05-95\*)

## 2. Определить расчетное значение КЕО

При боковом освещении: 
$$e_p^b = \left( \sum_{i=1}^L \varepsilon_{\delta i} g_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{3Дj} b_{\phi j} K_{3Дj} \right) r_0 \tau_0 / K_3$$

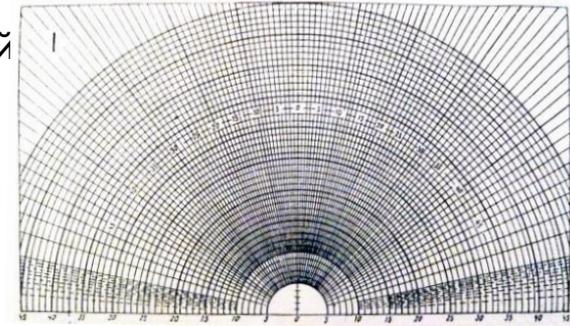
При верхнем освещении: 
$$e_p^e = \left( \sum_{i=1}^T \varepsilon_{B i} + \varepsilon_{cp} (r_2 k_{\phi} - 1) \right) \tau_0 / K_3$$

При комбинированном освещении: 
$$e_p^k = e_p^e + e_p^b$$

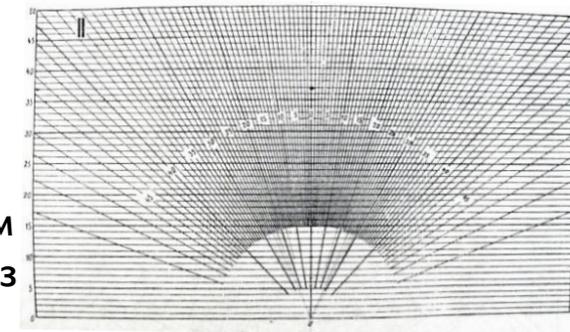
# Алгоритм расчета естественного освещения помещения

Для определения значений КЕО на рабочей плоскости по глубине помещения следует выполнить проверочный расчет по методу А. М. Данилюка.

Здание считается находящимся под полусферой небосвода. Рассматриваемая точка, освещенность которой определяют, располагается в центре полусферы. Полусфера небосвода условно разбивается 100 меридианами и 100 параллелями. Если точки пересечения полученной таким образом сетки соединить радиусами с центром полусферы, то получим 10000 световых пучков. Для определения числа световых пучков А.М.Данилюк провел из центров тяжести всех площадок радиусы к центру полусферы. Полученную систему радиусов он спроектировал на 2 плоскости – вертикальную и горизонтальную и получил 2 графика: Каждый радиус на графиках соответствует одному световому пучку, и для определения освещенности достаточно совместить графики 1 и 2 с разрезом и планом помещения, подсчитать, сколько радиусов проходит через проемы к рассматриваемой точке.



Проекция радиусов на вертикальную плоскость



Проекция радиусов на горизонтальную плоскость

# Алгоритм расчета естественного освещения помещения

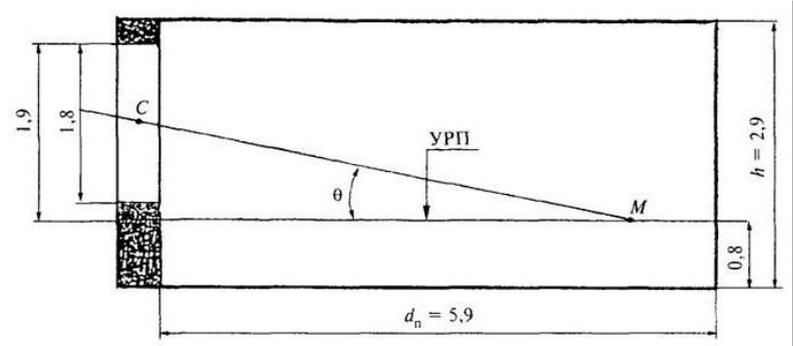
$L$  – количество участков небосвода, видимых через световой проем из расчетной точки;

$T$  – количество световых проемов в покрытии;

$\varepsilon_{\delta i}$  - геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от  $i$  – го участка небосвода, определяется с помощью графиков 1 и 2 из соотношения

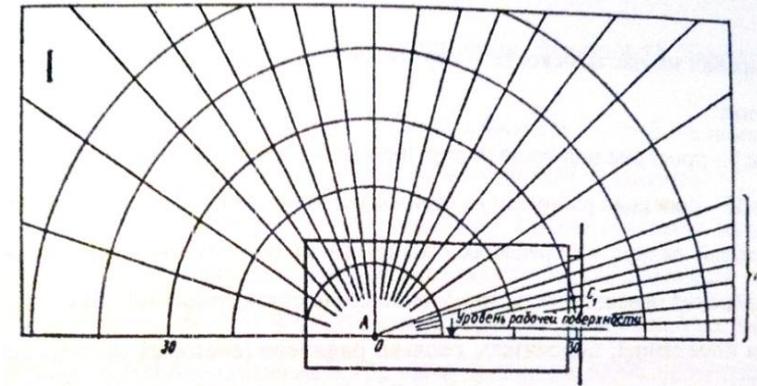
$$\varepsilon_{\delta i} = 0,01(n_1 n_2)$$

$q_i$  – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость  $i$  – го участка облачного неба МКО, определяемый по таблице Б.1 (СП 23-102-2003) в зависимости от угловой высоты середины светопроема над рабочей поверхностью ( $\Theta$  в  $^\circ$ );

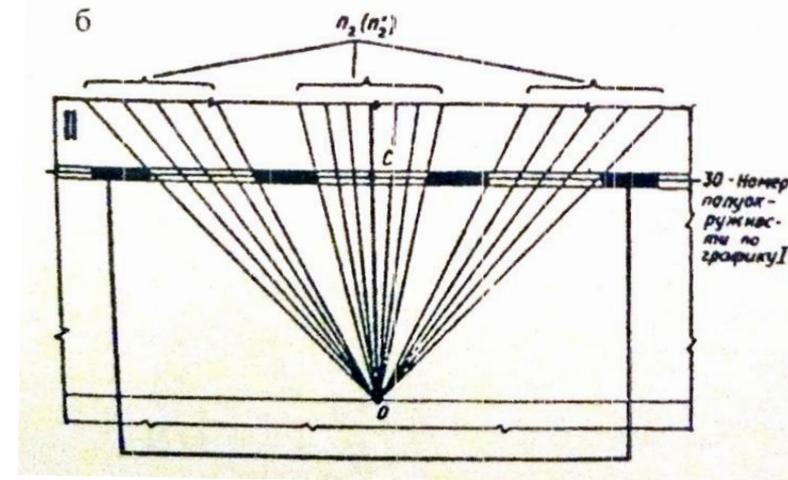


# Алгоритм расчета естественного освещения помещения

Где  $n_1$  - количество «лучей» по графику 1, проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе помещения (полюс  $O$  совмещается с расчетной точкой, а нижняя линия с условной рабочей поверхностью).



$n_2$  - количество «лучей» по графику 2, проходящих от небосвода через световые проемы в расчетную точку на плане помещения



# Алгоритм расчета естественного освещения помещения

$\varepsilon_{зД}$  - **геометрический КЕО** в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий свет, отраженный от  $j$ -го участка фасадов, определяемый с помощью графиков 1 и 2 из соотношения

$$\varepsilon_{зДj} = 0,01(n'_1 n'_2)$$

$n'_1$  и  $n'_2$  определяются по графикам 1 и 2 аналогично  $n_1$  и  $n_2$

Коэффициент запаса  $K_z$  определяется по таблице 3\* (СНиП 23-05-95\*)

Коэффициент светопропускания оконного проема  $\tau_0$  определяется по формуле

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5$$

на основании таблицы Б.7 (СП 23-102-2003)

Для определения коэффициента  $g_0$  используют таблицы Б.4 (для условной рабочей поверхности) и Б.5 (на уровне пола). (СП 23-102-2003)

# Алгоритм расчета естественного освещения помещения

3. Сравнить расчетное значение КЕО  $e_p$  с нормированным  $e_N$ :

$$1. e_p > e_N$$

Необходимо уменьшение размеров светопроемов и дальнейший расчет может проводиться для сравнения вариантов систем естественного освещения с различными размерами светопроемов.

$$2. e_p > 0.8 e_N$$

Необходимо увеличение размеров светопроемов и дальнейший расчет может проводиться для сравнения вариантов систем естественного освещения с различными размерами светопроемов.

$$3. e_p < 0.8 e_N$$

Необходимо увеличение размеров светопроемов и дальнейший расчет может проводиться для сравнения вариантов систем естественного освещения с увеличенными размерами светопроемов с вариантом системы совмещенного освещения без увеличения размеров светопроемов.