

# **Лекция 5. Естественное и искусственное освещение**

# Восприятие световых

## характеристик человеком

Психофизиологическое восприятие освещенности  $L$  зрительным анализатором человека подчиняется закону Вебера – Фехнера:

$$L = L_0 + k \lg \frac{E}{E_0}$$

□ где  $L$  – световые ощущения человека;  $E, E_0$  – освещенность объекта и порог восприятия освещенности зрительным анализатором человека соответственно, лк;  $L_0$  – граничные значения интенсивности ощущения света.

Минимальная яркость светового пятна, которую способен воспринять глаз на абсолютно черном фоне при полной световой адаптации, называется **абсолютным порогом чувствительности**. Для человека эта величина составляет  $(2,1-5,7) \cdot 10^{-17}$  Дж.

Минимальная обнаруживаемая разность между яркостью освещенного фона и яркостью светового пятна называется **разностным порогом чувствительности**. Отношение минимальной обнаруживаемой разности к яркости освещенного фона наз. **дифференциальным порогом**.

## Соотношение между двумя видами величин

### Соотношение энергетических и световых величин

Энергетические величины		Световые величины	
Наименование	Единица	Наименование	Единица
Поток излучения	Ватт (Вт)	Световой поток	Люмен (лм)
Энергия излучения	Джоуль (Дж)	Световая энергия	Люмен-секунда (лм·с)
Сила излучения	Ватт на стерадиан (Вт/ср)	Сила света	Кандела (кд)
Плотность облучения	Ватт на квадратный метр (Вт/м <sup>2</sup> )	Освещенность	Люкс (лк)
Энергетическая светимость	Ватт на квадратный метр (Вт/м <sup>2</sup> )	Светимость	Люмен с квадратного метра (лм/м <sup>2</sup> )
Энергетическая экспозиция	Джоуль на квадратный метр (Дж/м <sup>2</sup> )	Экспозиция	Люкс-секунда (лк·с)
Энергетическая яркость поверхности	Ватт на стерадиан и квадратный метр (Вт/ср·м <sup>2</sup> )	Яркость поверхности	Кандела с квадратного метра (кд/м <sup>2</sup> )

- Степень усталости глаз зависит от напряженности процессов, сопровождающих зрительное восприятие предметов. К таким процессам относятся **аккомодация, конвергенция и адаптация.**
  
- **Аккомодация** – это способность глаза приспособливаться к ясному видению предметов, находящихся от него на различном расстоянии, посредством изменения кривизны хрусталика. Чрезмерная усталость мышц, управляющих зрачком, приводит к появлению близорукости или дальнозоркости.
  
- **Конвергенция** – это способность глаз при рассмотрении близких предметов принимать положение, при котором зрительные лучи пересекаются на фокусируемом предмете. Расстояние, на котором можно четко видеть предмет без напряжения, равно 30–40 см.
  
- **Адаптация** – это изменение чувствительности глаза в зависимости от воздействия на него раздражителей, например при изменении яркости, или освещенности.

- Основными величинами, характеризующими свет, являются **световой поток, сила света, освещенность и яркость**. Они являются **количественными** характеристиками освещения.
- Световой поток ( $\Phi$ ) – это мощность лучистой энергии, оцениваемой по световому ощущению человеческого глаза. За единицу светового потока принят 1 люмен (лм).
- За короткое время уровень естественного освещения рабочего места может сильно изменяться, поэтому он нормируется коэффициентом естественной освещенности (КЕО), показывающим, какую часть наружной освещенности  $E_n$ , создаваемой светом полностью открытого небо-свода на горизонтальной плоскости, составляет освещенность в данной точке внутри помещения  $E_v$ :

$$e = E_v / E_n$$

- *Световой поток* является эффективным потоком и определяется действием на селективный приемник, спектральная чувствительность которого нормализована функциями относительной спектральной световой эффективности  $u(\lambda)$  – для дневного зрения и  $u'(\lambda)$  – для ночного зрения.
- *Сила света*  $I_{св}$ , кд – пространственная плотность светового потока в заданном направлении:

$$I_{св} = d\Phi / d\Omega$$

где  $\Omega$  – телесный угол, определяемый отношением площади сферической поверхности, заключенной внутри конуса телесного угла с вершиной в центре сферы, к квадрату радиуса этой сферы.

*Освещенность*  $E_{св}$ , лк, равна отношению светового потока к площади освещаемой поверхности  $S$ , на которую он падает и равномерно по ней распределяется:

$$E_{св} = d\Phi / dS$$

□ В России слепящая и дискомфортная блескости оцениваются показателями дискомфорта и ослепленности

□ Показатель дискомфорта ПД – критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения:

$$P_d = \frac{L_{свб} \beta^{0,5}}{I_n L_{ад}^{0,5}}$$

□ где  $L_{свб}$  и  $L_{ад}$  – соответственно яркости блеского источника и адаптации, кд/м<sup>2</sup>; ( $\beta$  – угловой размер блеского источника, ср;  $I_n$  – индекс позиции блеского источника относительно линии зрения.

*Показатель ослепленности Посл* – критерий оценки слепящего действия осветительной системы, *Контраст* объекта различения с фоном *Ко.ф.* определяется отношением абсолютной величины разности между яркостями объекта и фона к яркости фона.

□ *Коэффициент естественной освещенности КЕО, %* – отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода.

□ *Коэффициент пульсации  $K_n$ , %* – относительное периодическое изменение светового потока или освещенности во времени:

$$K_n = \frac{\Phi_{e\max} - \Phi_{e\min}}{2\Phi_{e\text{ср}}} \cdot 100 = \frac{E_{e\max} - E_{e\min}}{2E_{e\text{ср}}} \cdot 100$$

где  $\Phi_{e\max}$  ( $E_{e\max}$ ) и  $\Phi_{e\min}$  ( $E_{e\min}$ ) – максимальное и минимальное значения потока излучения (освещенности) за один период  $\tau$ ;

$\Phi_{e\text{ср}}$  ( $E_{e\text{ср}}$ ) – средние значения потока излучения (освещенности) за полный период.

□ *Цветовая температура  $T_c$*  – температура излучателя Планка, при которой его излучение имеет ту же цветность, что и излучение рассматриваемого объекта. Восприятие цвета, создаваемое освещением, зависит не только от цвета светового потока, но и от общего уровня яркости.

**□ Производственные помещения могут иметь следующие виды естественного освещения:**

□ а) боковое освещение, которое осуществляется при помощи световых проемов в ограждающих конструкциях здания:

□ - одностороннее боковое освещение, когда световые проемы располагаются на одной стороне ограждающих конструкций здания;

□ - двустороннее боковое освещение, когда световые проемы располагаются на двух сторонах ограждающих конструкций здания;

□ б) верхнее освещение, которое осуществляется при помощи верхних световых проемов в перекрытии, фонарей и через световые проемы в местах перепадов высот смежных зданий;

□ в) комбинированное освещение, которое представляет собой совокупность верхнего и бокового освещения.

□ Существуют два метода определения коэффициента естественной освещенности – **расчетный и экспериментальный.**

□ **Расчетный метод** применяется на стадии проектирования производственных помещений и при выборе расстановки станков, оборудования и т.д. При боковом освещении КЕО определяется по формуле

$$e_{\sigma}^{\text{б}} = (\varepsilon_{\text{с}}q + \varepsilon_{\text{зд}}R)r_1\tau_0 / K_3$$

□ где  $e_{\sigma}^{\text{б}}$  – геометрический КЕО в расчетной точке, учитывающий прямой свет неба;  $q$  – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба;  $\varepsilon_{\text{зд}}$  – геометрический КЕО в расчетной точке, учитывающий свет, отраженный от противостоящих зданий;  $R$  – коэффициент, учитывающий относительную яркость противостоящего здания;  $r_1$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию;  $\tau_0$  – общий коэффициент светопропускания,

□ При экспериментальном методе производятся измерения освещенности в расчетной точке внутри производственного помещения и одновременно наружной освещенности, горизонтальной поверхности, освещаемой всем небосводом.

Для измерения освещенности применяют люксометры Ю-116, Ю-117, Ю-16. Принцип действия люксометров основан на явлении фотоэлектрического эффекта. При освещении фотоэлемента в замкнутой цепи, состоящей из фотоэлемента и измерителя, возникает ток, который отклоняет стрелку измерителя. Величина тока и, следовательно, отклонение стрелки измерителя пропорциональны освещенности рабочей поверхности фотоэлемента.

□ Люксометр Ю-116 предназначен для измерения освещенности, создаваемой естественным и искусственным светом, источники которого расположены произвольно относительно светоприемника люксометра.. Люксометр предназначен для эксплуатации при температуре окружающего воздуха от -10 до +35 °С и относительной влажности до 80 % при (20±5) °С.

**Искусственное освещение** в помещениях принимается тогда, когда **естественный свет** недостаточен или отсутствует. Искусственное освещение подразделяют на **рабочее, аварийное, охранное и дежурное**. Оно проектируется двух видов: **общее (равномерное или локализованное)** и **комбинированное**.

Вид освещения	Характеристика	Нормирование
Рабочее	Освещение для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта	Нормы освещенности приведены в прил. 3
Аварийное: а) освещение безопасности	Предусматривается в случаях, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать: взрыв; пожар; отравление людей; длительное нарушение технологического процесса и т.д.	Должно создавать наименьшую освещенность на рабочих поверхностях в размере 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий
б) эвакуационное	Предусматривается в местах, опасных для прохода людей, в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей и т.д.	Должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов (или на земле) и на ступенях лестниц: в помещениях – 0,5 лк, а на открытых территориях – 0,2 лк
Охранное	Должно предусматриваться вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время	Освещенность должна быть не менее 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости
Дежурное	Включается только во внерабочее время	Не нормируется

Система освещения	Характеристика
Общее освещение: а) равномерное	Предназначено для освещения всего помещения Светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно
б) локализованное	Светильники размещаются применительно к расположению оборудования
Комбинированное	Освещение, при котором к общему освещению добавляется местное, создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах

- Искусственное освещение в производственных помещениях осуществляется с помощью светильной аппаратуры – светильников. Светильник состоит из лампы, являющейся источником света, и осветительной арматуры, с помощью которой световой поток перераспределяется в нужном направлении.
- Возможности источников света определяются такими основными характеристиками, как: **электрическая мощность лампы  $P$  (Вт); номинальное напряжение питания  $U$  (В); световой поток, излучаемый лампой  $\Phi$  (лм), или максимальная сила света  $J$  (кд); световая отдача, т.е. отношение светового потока лампы к ее электрической мощности; срок службы лампы и спектральный состав света.**

□ **Лампы накаливания** представляют собой источник света видимого излучения, возникающего при нагреве нити накала до температуры свечения. Широкое применение в промышленности получили лампы таких типов, как вакуумные (НВ), газонаполненные биспиральные (НБ), биспиральные с криптоксеноновым наполнением (НБК), зеркальные с диффузно отражающим слоем и др. Весьма перспективными являются галоидные лампы – лампы накаливания с йодным циклом, имеющие лучший спектральный состав света и более высокие экономические характеристики по сравнению с другими лампами накаливания.

- **К достоинствам ламп накаливания** относятся удобство в эксплуатации, простота в изготовлении, отсутствие дополнительных пусковых устройств для включения в сеть, надежность работы при колебании напряжения в сети и различных состояниях окружающей среды. Они компактны, световой поток их к концу срока службы снижается незначительно (приблизительно на 15 %).
- **Недостатками ламп накаливания** являются низкая световая отдача (не более 20 лм/Вт), ограниченный срок службы (до 2,5 тыс. ч), преобладание излучения в желто-красной части спектра, что сильно отличает их спектральный состав от солнечного света, низкий КПД, равный 10–13 %.

- Газоразрядные лампы представляют собой источники света видимого излучения, вызываемого электрическим разрядом в атмосфере некоторых инертных газов и паров металлов и их смесей при различных давлениях с использованием в отдельных типах ламп люминофоров – специальных составов, которые преобразуют невидимое ультрафиолетовое излучение в видимый свет. Различают газоразрядные лампы низкого (люминесцентные) и высокого давления.
- Наибольшее распространение среди газоразрядных ламп получили люминесцентные низкого давления мощностью 8–150 Вт, имеющие цилиндрическую форму и разные по цветности излучения в зависимости от состава люминофора.

□ По спектральному составу видимого света **люминесцентные лампы** делятся на несколько типов: дневного света (ЛД), дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ), белого цвета (ЛБ), холодного белого (ЛХБ) и теплого белого цвета (ЛТБ). Находят применение для освещения производственных помещений и газоразрядные лампы высокого давления: дуговые ртутные (ДРЛ), галогенные (ДРИ), дуговые ксеноновые трубчатые (ДКсТ), натриевые (ДНаТ)

□ **Основными преимуществами газоразрядных ламп** перед лампами накаливания являются:

- - высокая световая отдача (до 110 лм/Вт);
- - большой срок службы (10000–14000ч);
- - световой поток ламп по спектральному составу близок к естественному освещению.

□ **К недостаткам газоразрядных ламп относятся:**

- - пульсация светового потока с частотой вдвое большей частоты питающего лампы переменного тока, что может привести к появлению стробоскопического эффекта, заключающегося в искажении зрительного восприятия;
- - длительный период разгорания;
- - наличие специальных пускорегулирующих аппаратов, облегчающих зажигание ламп и стабилизацию их работы;
- - зависимость работоспособности от температуры окружающей среды (рабочий диапазон температур – 10...30 °С);
- - повышенная чувствительность к снижению напряжения питающей сети;
- - снижение светового потока к концу срока службы на 50 % и более;
- - создание радиопомех, исключение которых требует специальных устройств.

**□ К искусственному освещению предъявляют следующие требования:**

- - освещенность рабочего места должна соответствовать отраслевым нормам искусственного освещения;
- - освещенность должна быть равномерной во времени и по площади;
- - на рабочем месте необходимо обеспечить равномерное распределение яркости;
- - в поле зрения должны отсутствовать прямая и отраженная блескость, а также резкие тени;
- - при организации освещения необходимо учитывать спектральный состав света;
- - осветительная установка не должна быть источником опасности и вредности.

- Для расчета общего равномерного освещения производственных помещений применяют метод коэффициента использования светового потока. При расчете этим методом учитывается прямой свет от светильника и свет, отраженный от стен и потолка.
- Световой поток одной лампы  $\Phi_l$  (лм) определяется по формуле

$$\Phi_l = \frac{ESKZ}{N\eta}$$

- где  $E$  – нормируемая освещенность, лк;  $S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;  $K$  – коэффициент запаса, учитывающего старение лампы, запыление и загрязнение светильника;  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения, (его значения не должно превышать для работ I–III разряда при люминесцентных лампах – 1,3, при других источниках света – 1,5; для работ IV–VII разрядов – 1,5 и 2,0 соответственно);  $N$  – число светильников;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока. Он зависит от индекса помещения  $i$ , высоты подвеса светильников  $H_{св}$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$ , потолка  $\rho_p$  и пола  $\rho_r$ . Коэффициенты отражения оцениваются субъективно.

- Индекс помещений  $i$  определяется по формуле

$$i = AB / H_{св} (A + B)$$

- где  $A$  и  $B$  – длина и ширина помещения, м;  $H_{св}$  – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью определяется из выражения  $i = AB / H_{св} (A + B)$ , где  $H$  – общая высота помещения, м;  $h_{св}$  – высота от светильника до потолка, м;  $h$  – высота от пола до освещаемой рабочей поверхности, м.
- Высота рабочей поверхности принимается 0,8 м.
- При расчете определяют значение наименьшей освещенности  $E$  по ГОСТ 2239–79 и ГОСТ 6825–91, задаются типом и числом светильников  $N$ , по справочным таблицам находят значения коэффициентов  $KЗ$  и  $\eta$ , по формуле (5.1) подсчитывают световой поток  $\Phi$  и по таблицам подбирают ближайшую стандартную лампу, обеспечивающую этот поток