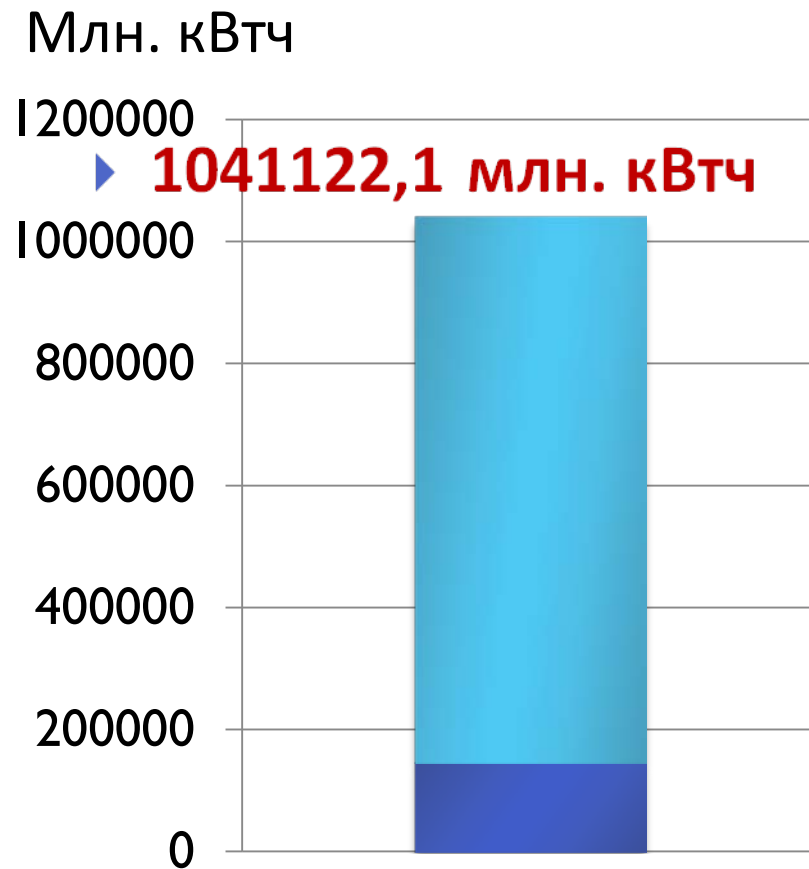


Энергосбережение в системах освещения

Лекция №7 – Практика №15

Потребление ЭЭ на цели освещения в России

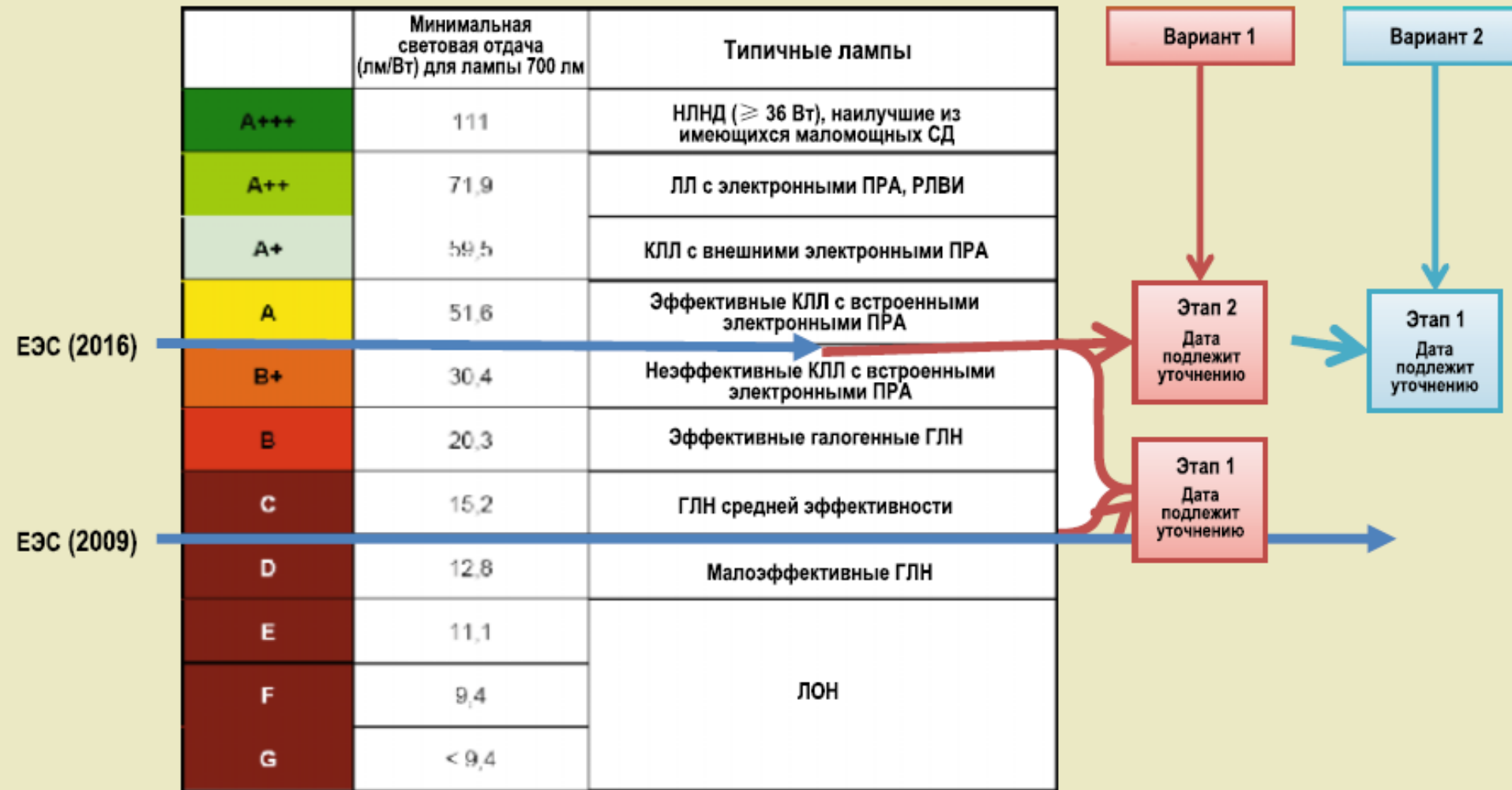
- В мире на освещение расходуется от 12 до 25% от вырабатываемой ЭЭ.
- Доля ЭЭ на освещение:
 - Офисное помещение – 40%;
 - Учебные заведения - 49%;
 - Магазин розничной торговли – 55%;
 - Складские помещения – 90%.



Потребление ЭЭ в России
в 2011 году



Варианты введения стандартов минимальных уровней энергоэффективности



Выигрыш России от перехода на энергосберегающее освещение



Расчет осветительных установок методом коэффициента использования

- ▶ Световой поток каждого светильника:


$$\Phi = \frac{E_{\text{норм}} \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot U_{\text{оу}}}$$

- ▶ $E_{\text{норм}}$ – определенная нормами СНиП минимальная освещенность на рабочей поверхности, лк;
- ▶ K_3 – коэффициент запаса;
- ▶ S – освещаемая площадь, кв. м;
- ▶ $z = E_{\text{ср}} / E_{\text{min}}$ – коэффициент неравномерности освещенности:



-
- ▶ $z=1,15$ – для ЛН и ДРЛ;
 - ▶ $z=1,1$ – для ЛЛ при расположении светильников в линию;
 - ▶ $z=1$ – для ЛЛ при отраженном свете;
 - ▶ n – число светильников (намеченное для расчета);
 - ▶ U_{oy} – коэффициент использования осветительных установок.
-



-
- ▶ U_{oy} - зависит от светораспределения светильников и их размещения в помещении, размеров освещаемого помещения и отражающих свойств его поверхностей, отражающих свойств рабочей поверхности.
-
- 

-
- ▶ Соотношение размеров освещаемого помещения и высота подвеса светильников в нем характеризуются индексом помещения

$$i_n = \frac{AB}{h_p \cdot (A + B)}$$

- ▶ A – длина помещения;
 - ▶ B – ширина помещения;
 - ▶ h_p – расчетная высота подвеса светильников.
-



Коэффициенты отражения поверхностей помещения (приблизительные значения)

ρ_{Π} – ПОТОЛКА, $\rho_{\text{С}}$ – СТЕНЫ

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения, %
Потолок, побеленные стены с окнами, закрытыми шторами	70
Побеленные стены при незавешенных окнах, побеленный потолок в сырых помещениях, чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50
Бетонный потолок в грязных помещениях, деревянный потолок, стены, оклеенный светлыми обоями	30
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли, сплошное остекление без штор, красный кирпич, стены с темными обоями	10

Коэффициенты использования световых потоков для светильников любого типа


Светильники	Потолочные						Подвесные							
	70		50		30	70		50		30				
$\rho_{п}, \%$	50		30		10	50		30		10				
$\rho_{с}, \%$	30	10	30	10	10	10	30	10	30	10				
$\rho_{р}, \%$	30	10	30	10	10	10	30	10	30	10	10			
Значение $i_{п}$	Коэффициент использования, %													
	0,5	26	25	20	19	17	13	6	19	18	15	14	11	9
0,6	30	28	24	23	20	16	8	21	22	18	18	14	11	5
0,7	34	32	28	27	22	19	10	27	26	22	21	16	13	6
0,8	38	36	31	30	24	21	11	31	29	25	25	18	16	7
0,9	40	38	34	33	26	23	12	34	32	28	28	20	18	8
1,0	43	41	37	35	28	25	13	37	35	32	30	22	20	9
1,1	46	43	39	37	30	26	14	40	37	34	33	24	21	11
1,25	49	46	42	40	32	28	15	43	41	38	36	26	24	12
1,5	54	49	47	44	34	31	17	48	44	42	40	29	26	14
1,75	57	52	51	47	36	33	18	52	48	46	43	31	29	15
2,0	60	54	54	50	38	35	19	55	50	50	46	33	31	16
2,25	62	56	57	52	39	37	20	58	52	53	49	35	33	17
2,5	64	58	59	54	40	38	21	60	54	55	51	36	34	18
3,0	68	60	63	57	42	40	22	64	57	59	54	39	36	20
3,5	70	62	66	59	43	41	23	67	60	62	56	40	39	21
4,0	72	64	68	61	45	42	24	69	61	65	58	42	40	22
5,0	75	66	72	64	46	44	25	73	64	69	62	44	42	24

Число светильников в ряду

$$n = \Phi_{\text{л}} / \Phi_1$$

- ▶ Суммарную длину всех светильников ряда сопоставляют с длиной помещения. Возможны варианты:
- ▶ 1. Суммарная длина светильников превышает длину помещения: применяются более мощные лампы, увеличивается число рядов, komponуются сдвоенные, строенные и т.д. группы светильников.



-
- ▶ 2. Суммарная длина светильников равна длине помещения – устанавливается непрерывный ряд светильников.
 - ▶ 3. Суммарная длина светильников меньше длины помещения – принимается ряд с равномерно-распределенными светильниками (λ не должна превышать 0,5 расчетной высоты).
-
- 

Расчет освещенности методом удельной мощности

- ▶ Удельная мощность осветительной установки, Вт/кв. м

$$W = P_{\text{л}} n / S, \quad \text{Ф. 1}$$

- ▶ $P_{\text{л}}$, Вт – мощность одной лампы, n – число ламп, S , кв. м – площадь помещения.

$$\Phi_{\text{л}} = n P_{\text{л}} = \frac{E_{\text{норм}} K_3 S z}{n U_{\text{о.у}}}$$



$$P_{\text{л}} = \frac{E_{\text{норм}} K_3 S z}{n U_{\text{о.у}} H}$$

- ▶ Подставляя полученное выражение для $P_{\text{л}}$ в ф.1 находим выражение для удельной мощности

$$W = \frac{E_{\text{норм}} K_3 z}{U_{\text{о.у}} H}$$

- ▶ Удельная мощность нормируется МГСН 2.01-99
-
- 

Напряжение осветительных сетей

▶ **Общее освещение**

- ▶ 380/220 В переменного тока – при заземленной нейтрали
- ▶ 220 В – при изолированной нейтрали

▶ **Местное освещение**

- ▶ Без повышенной опасности не выше 220 В
- ▶ С повышенной опасностью не выше 50 В

▶ **Ручные переносные светильники**

- ▶ С повышенной опасностью не выше 50 В
- ▶ В особо неблагоприятных условиях не выше 12 В



Источники питания

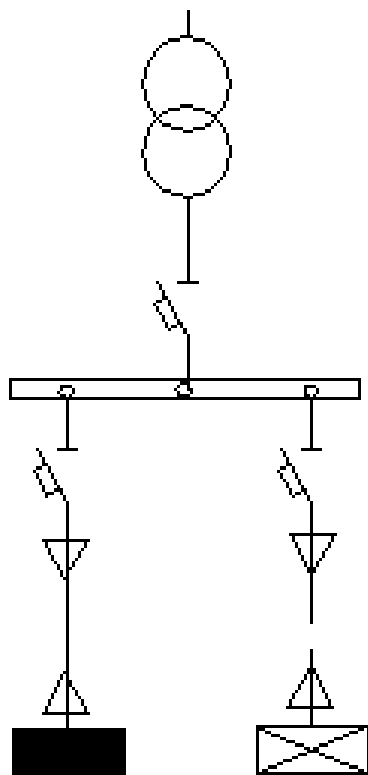
▶ Принципы выполнения

- ▶ **Раздельное выполнение силовых и осветительных сетей**
- ▶ **Питание от общих трансформаторов**
 - ▶ Типовая схема питания
- ▶ **Питание от отдельных трансформаторов**
 - ▶ Для обеспечения требуемого качества напряжения
 - ▶ При напряжении силовых сетей 660/380 В



Варианты питания рабочего и аварийного освещения

- ▶ Питание от одной секции РУ
 - ▶ Эвакуационное освещение в помещениях с естественным светом

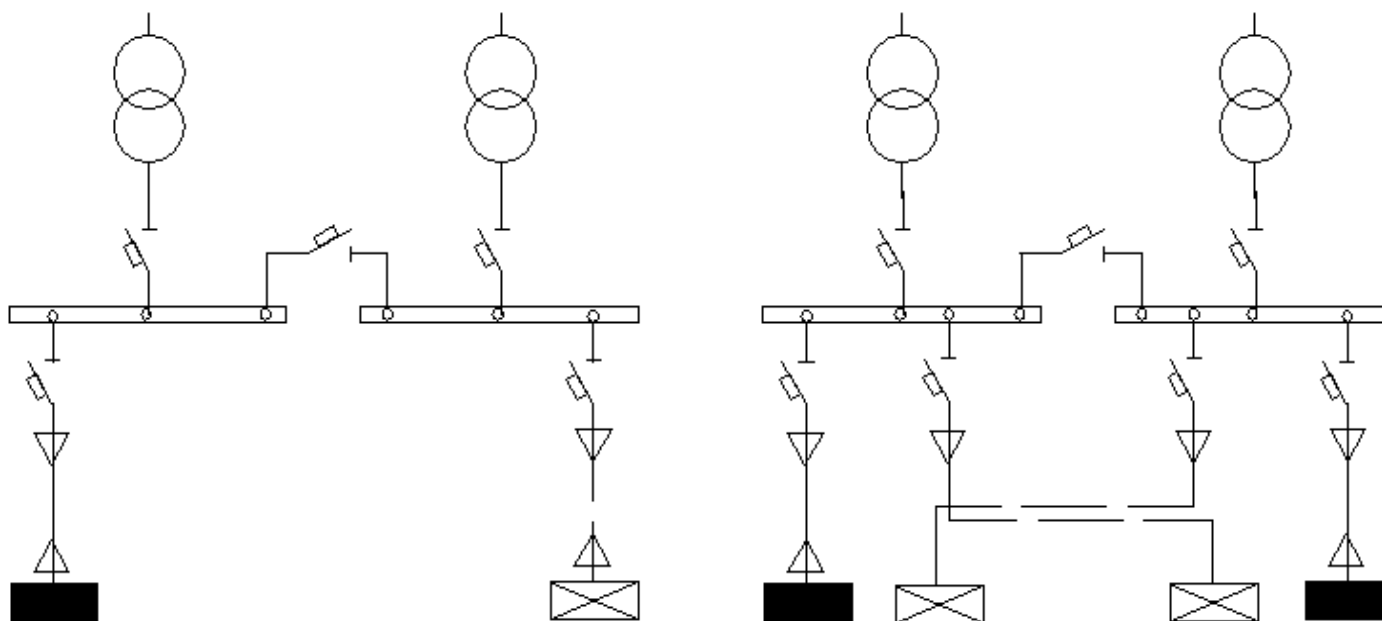


- ▶ Сети аварийного и общего освещения выполняются отдельно!

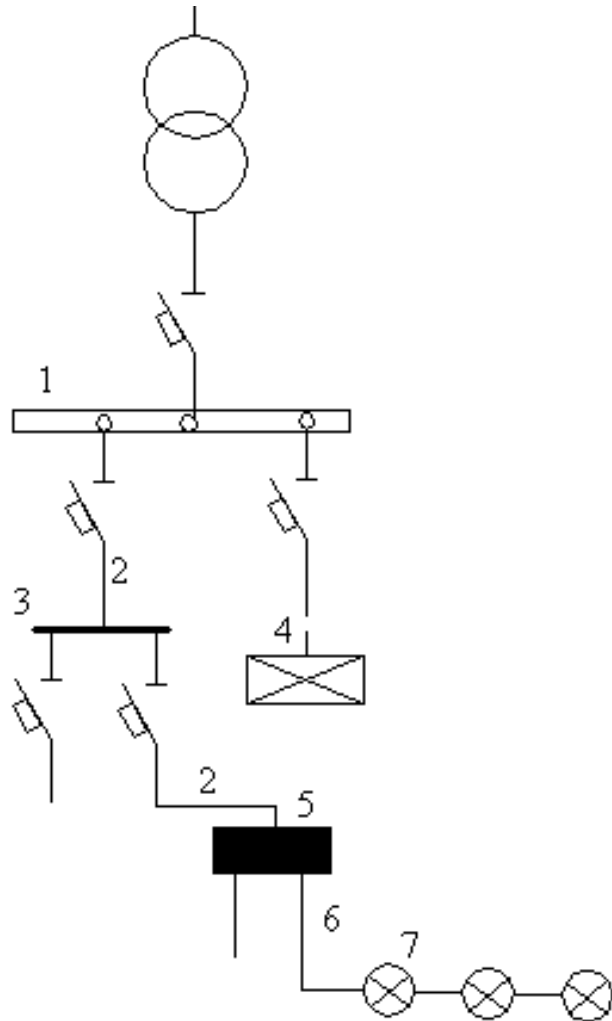


Варианты питания рабочего и аварийного освещения

- ▶ Питание от разных секций РУ (независимые источники)
 - ▶ Аварийное освещение безопасности
 - ▶ Эвакуационное освещение в помещениях без естественного света



Структура осветительной сети



1. РУ ТП
2. Питающая сеть
3. Магистральный щиток
4. Щиток аварийного освещения
5. Групповой щиток (щиток рабочего освещения)
6. Групповая сеть
7. Источники света



Структура осветительной сети

▶ **Питающая сеть**

- ▶ Линии от ТП или других точек питания до групповых щитков

▶ **Групповая сеть**

- ▶ Линии от групповых щитков до светильников

▶ **Магистральный щит**

- ▶ Распределение эл/энергии между групповыми щитками
- ▶ Обеспечение гибкости сети
- ▶ Уменьшение стоимости РУ



Структура осветительной сети

▶ Групповые щитки

▶ Назначение

- ▶ Питание осветительных приборов
- ▶ Размещение аппаратов защиты и управления

▶ Размещение в помещении

- ▶ в центре нагрузки для уменьшения протяженности групповой сети
- ▶ в местах, легкодоступных для обслуживающего персонала



Схемы осветительных сетей.

Питающие сети

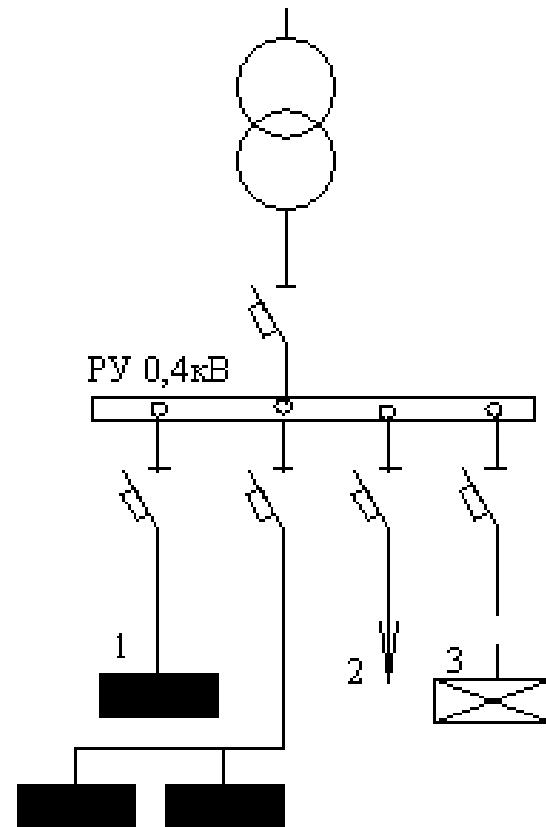
▶ **Принципы выполнения**

- ▶ Использование радиальных и магистральных схем
- ▶ Учет компоновки помещения
- ▶ Учет требований по надежности питания, качеству напряжения и удобству эксплуатации



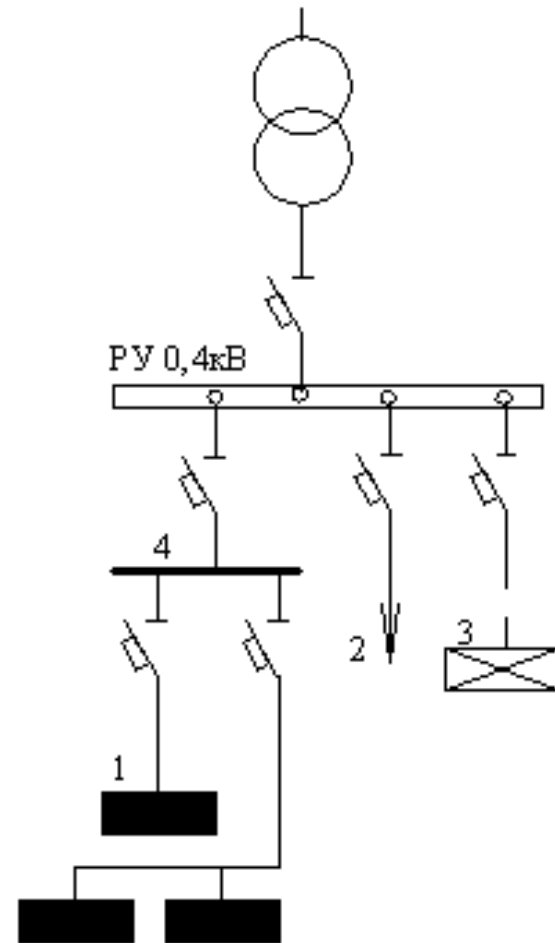
Схемы осветительных сетей. Питающие сети

- ▶ Питание от РУ подстанции
 1. Групповой щиток
 2. Силовые ЭП
 3. Щиток аварийного освещения



Схемы осветительных сетей. Питающие сети

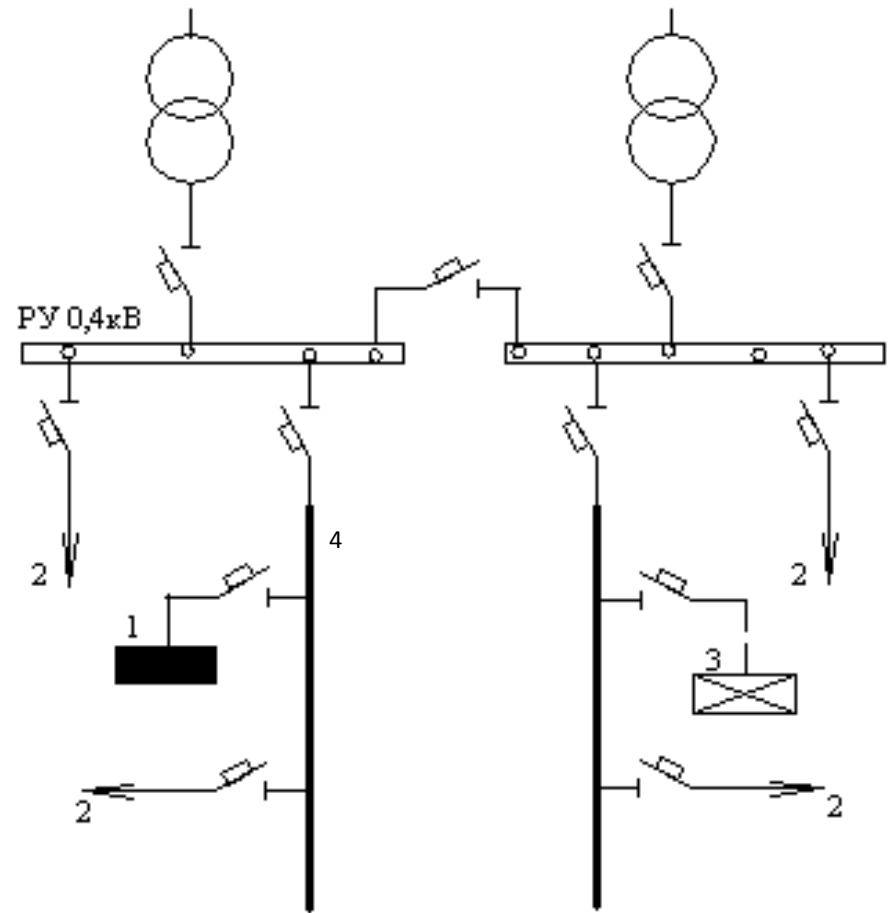
- ▶ Питание через магистральный щиток
 1. Групповой щиток
 2. Силовые ЭП
 3. Щиток аварийного освещения
 4. Магистральный щит



Схемы осветительных сетей. Питающие сети

▶ Питание при схеме блок трансформатор- магистраль

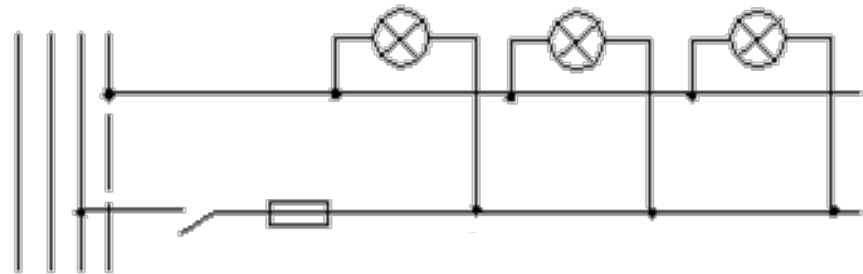
1. Групповой щиток
2. Силовые ЭП
3. Щиток аварийного освещения
4. Шинные магистрали



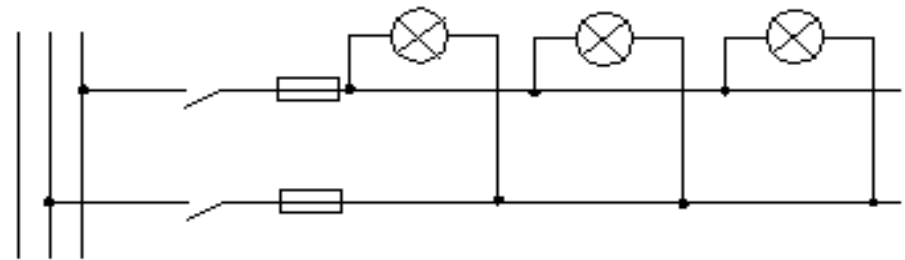
Схемы осветительных сетей.

Групповые сети

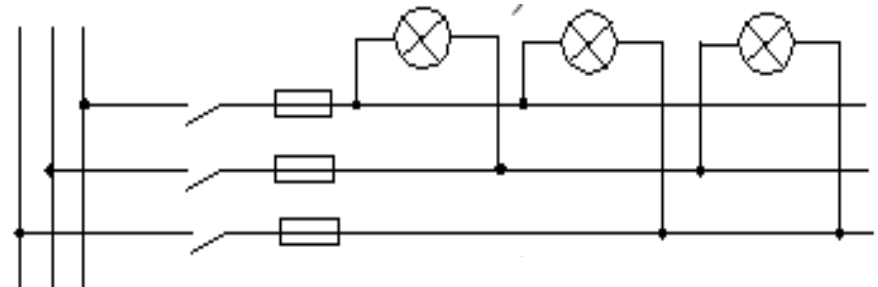
- ▶ Двухпроводная однофазная



- ▶ Двухпроводная двухфазная



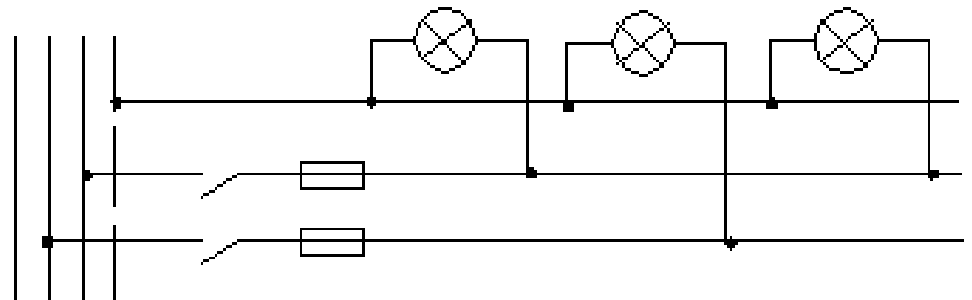
- ▶ Трехпроводная трехфазная



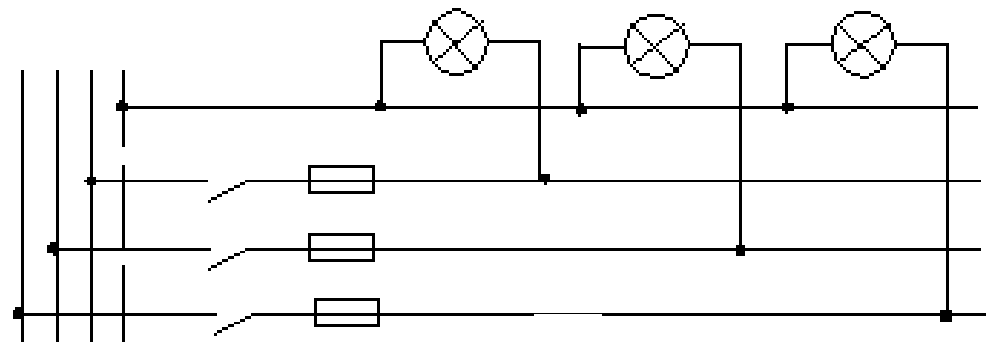
Схемы осветительных сетей.

Групповые сети

- ▶ Трехпроводная двухфазная с нулевым проводом



- ▶ Четырехпроводная трехфазная с нулевым проводом



Особенности групповых сетей

- ▶ **Распределение светильников по группам**
 - ▶ Не более 20 для ламп накаливания, ДРЛ, ДНаТ, ДРИ
 - ▶ 60-100 для люминесцентных ламп
- ▶ **Распределение светильников по фазам**
 - ▶ А-В-С-А-В-С (наиболее распространенная схема)
 - ▶ А-В-С-С-В-А
 - ▶ А-А-В-В-С-С



Материал проводников

- ▶ Медь
 - ▶ Меньшее удельное сопротивление
 - ▶ Высокая механическая прочность
 - ▶ Лучшая стойкость к воздействиям среды
 - ▶ Высокая стоимость
 - ▶ Область применения
 - ▶ Помещения с агрессивными средами
 - ▶ Взрывоопасные помещения
 - ▶ В условиях вибрации
 - ▶ Жилые здания



Материал проводников

▶ Алюминий

- ▶ Больше удельное сопротивление
- ▶ Подверженность воздействию среды
- ▶ Меньшая стоимость
- ▶ Область применения
 - ▶ Все виды помещений, за исключением случаев, в которых предусмотрено применение медных проводников



Виды проводников

- ▶ Незащищенные изолированные провода
 - ▶ АПВ (АПР) – 1-жильный провод с поливинилхлоридной (резиновой) изоляцией, универсальный. АПР с хлопчатобумажной оплеткой
 - ▶ АПРТО – аналогичен АПР, с усиленной изоляцией для прокладки в стальных трубах
 - ▶ АРТВ – 2-4-жильный с несущим тросом
 - ▶ АППВ – 2-3-жильный, плоский
- ▶ Защищенные провода
 - ▶ АПРФ – 1-3-жильный в металлической оболочке для открытой прокладки



Виды проводников

▶ Кабели

- ▶ АВВГ, АВРГ, АНРГ - 2-5-жильные небронированные кабели с поливинилхлоридной, резиновой и найритовой изоляцией

▶ Осветительные шинопроводы

- ▶ ШОС – жесткая конструкция с 4-мя медными или алюминиевыми жилами, состоящая из отдельных секций



Способы прокладки сетей

▶ Условия выбора

- ▶ Среда в помещении
- ▶ Особенности строительной части
- ▶ Архитектурно-художественные требования
- ▶ Экономичность

▶ Виды прокладки

- ▶ Открытая
- ▶ Скрытая



Открытая прокладка

▶ Выполнение

- ▶ По поверхностям стен и потолка (АПРФ, АНРГ, АВВГ, АВРГ)
- ▶ В виниловых и стальных трубах (АПВ, АПРТО). Стальные – для взрывоопасных помещений
- ▶ Тросовые проводки (АНРГ, АВВГ, АВРГ на струне)
- ▶ Осветительные шинопроводы (ШОС)

▶ Область применения

- ▶ Производственные помещения
 - ▶ Вспомогательные помещения (чердаки, подвалы)
-

Скрытая прокладка

▶ Выполнение

- ▶ В каналах и пустотах строительных конструкций
- ▶ В штукатурке
- ▶ В специальных бороздах
- ▶ Плинтусная (АПВ, АППВ)

▶ Область применения

- ▶ Общественные здания
- ▶ Административно-бытовые здания
- ▶ Жилые здания



Расчет нагрузки электроосвещения

- ▶ Расчет производится методом коэффициента спроса

$$P_p = nPK_c\alpha$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi$$

n – количество ламп

P – мощность одной лампы

K_c – коэффициент спроса

α – коэффициент, учитывающий потери в ПРА
(ДРЛ - 1,1, ЛЛ - 1,2-1,3)

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности
(ЛН – 0, ДРЛ – 0,33)



Коэффициент спроса

Наименование	K_c
Групповые сети	1
Аварийное освещение, наружное освещение	1
Небольшие производственные здания	0,95
Административные здания	0,9
Крупные производственные здания	0,8
Склады	0,6



Выбор сечений проводников по нагреву

$$I_p \leq I_{\partial\partial}$$

- ▶ для однофазной сети
- ▶ для двухфазной сети
- ▶ для трехфазной сети

$$I_p = \frac{P_p}{U_\phi \cos \varphi}$$

$$I_p = \frac{P_p}{2U_\phi \cos \varphi}$$

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_l \cos \varphi}$$

где $I_{\partial\partial}$ – длительно допустимый ток проводника
 P_p – мощность нагрузки одной, двух или трех фаз
 $\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки,
 U_l, U_ϕ – линейное и фазное напряжения сети



Выбор сечения нулевых рабочих проводников

- ▶ **Равное сечению фазных проводников**
 - ▶ Участки сети с газоразрядными лампами с компенсированными ПРА
 - ▶ При защите трехфазных сетей предохранителями или однополюсными автоматами
- ▶ **Не менее половины сечения фазных проводников**
 - (не менее 16 мм^2 для медных проводов)
 - (не менее 25 мм^2 для алюминиевых проводов)
- ▶ Участки сети с газоразрядными лампами с некомпенсированными ПРА



Выбор сечений проводников по потере напряжения

- ▶ Потеря напряжения до самого удаленного светильника

$$\Delta U_{\partial} = U_{xx} - U_{\min} - \Delta U_T$$

ΔU_{∂} – располагаемая потеря напряжения

U_{xx} – номинальное напряжение при холостом ходе трансформатора (105%)

U_{\min} – допустимая величина напряжения у самого удаленного светильника (97,5%)

ΔU_T – потеря напряжения в трансформаторе



Защита осветительных сетей

- ▶ Средства защиты

- ▶ Плавкие предохранители
- ▶ Автоматические выключатели

- ▶ Выполнение

- ▶ Все сети защищаются от токов КЗ
- ▶ Сети, защищаемые от перегрузки
 - ▶ Внутри помещений при открыто проложенных проводниках с горючей изоляцией
 - ▶ Сети в жилых, общественных и бытовых помещениях
 - ▶ Сети во взрыво- и пожароопасных зонах



Выбор защитных аппаратов

▶ Условия выбора

- ▶ Отстройка от токов в нормальном режиме
- ▶ Отстройка от пусковых токов

$$I_{з.ап.} = KI_p$$

где $I_{з.ап.}$ – ток защитного аппарата

K – коэффициент, учитывающий пусковой ток источника света (1,0-1,4)

I_p – расчетный ток линии.



Выбор защитных аппаратов

- ▶ Проверка соотношения

$$\frac{I_{з.ап.}}{I_{\partial\partial}} \leq K$$

где K – кратность, зависящая от типа аппарата защиты, вида сети, а также изоляции проводника



Кратность для сетей, защищаемых только от токов КЗ

- ▶ 300% для плавкой вставки предохранителя
- ▶ 450% для автомата только с максимальным расцепителем (отсечкой)
- ▶ 100% (125%) для автомата с нерегулируемым (регулируемым) зависимым расцепителем (независимо, есть отсечка или нет)



Кратность для сетей, защищаемых от перегрузки

- ▶ 80% (100%) для предохранителя или автомата с отсечкой – для проводников с поливинилхлоридной, резиновой изоляцией (с бумажной изоляцией)
- ▶ 100% для автомата с нерегулируемым зависимым расцепителем – для проводников всех марок
- ▶ 100% (125%) для автомата с регулируемым зависимым расцепителем – для проводников с поливинилхлоридной, резиновой изоляцией (с бумажной изоляцией)



Проверка на действие токов однофазного КЗ

- ▶ Рассчитывается ток однофазного КЗ для наиболее удаленной точки сети

$$I_{отс} \leq I_{кз}^{(1)}$$

где $I_{отс}$ – ток срабатывания максимального расцепителя автомата

$$I_{кз}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_T}{3} + Z_{\Pi}}$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение сети

Z_T – сопротивление трансформатора

Z_{Π} – сопротивление пели фаза-нуль



Вопросы к экзамену

1. Методы расчета электрического освещения: метод удельной мощности, метод коэффициента использования, точечный метод
2. Напряжения, источники питания осветительных установок. Питание аварийного освещения. Общая структура питания осветительных установок.
3. Особенности и схемы питающих и групповых сетей электрического освещения. Выполнение осветительных сетей.
4. Расчет электрической нагрузки освещения. Выбор сечения проводников по нагреву и потере напряжения. Выбора защитно-коммутационной аппаратуры



Основные светотехнические единицы и соотношения

- ▶ $V(\lambda)$ – нормализованная функция относительной спектральной световой эффективности излучения (относительная спектральная чувствительность глаза);
- ▶ φ_λ – спектральная плотность лучистого потока, Вт;
- ▶ ω – телесный угол, измеряемый отношением площади S , которую он вырезает на поверхности сферы, описанной из его вершины, к квадрату радиуса r этой сферы:

$$\omega = \frac{S}{r^2}.$$

Световая отдача, лм/Вт

- ▶ Люмен (лм) – единица измерения светового потока. Лампа накаливания мощностью 60 Вт создает световой поток, равный приблизительно 800 лм

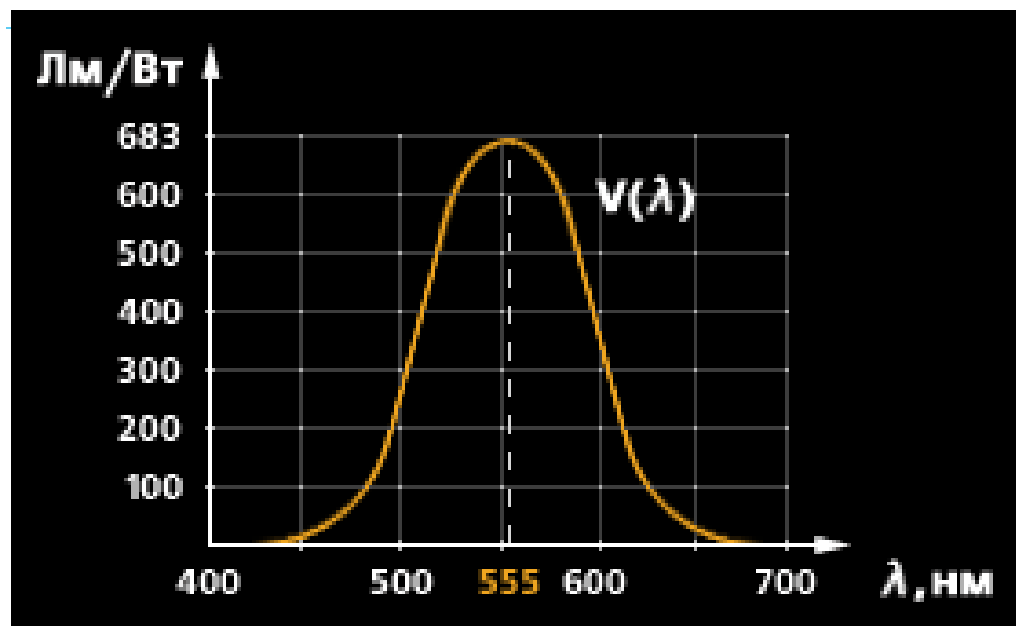


Рисунок – Кривая «видности»

Чувствительность среднестатистического человеческого глаза, зависит от длины волны излучения и имеет максимум в желто-зеленой части спектра (555 нм). При идеальном (без потерь) преобразовании электроэнергии в свет кривая видности как раз и покажет максимальную световую отдачу источника света заданного цвета излучения. Так, для 555 нм мы получим «абсолютный рекорд» световой эффективности — 683 Лм/Вт, а, скажем, для 630 нм (красный цвет) — всего 180 Лм/Вт.

▶ [<http://www.tepsvet.ru/hightech/review.html>]

-
- ▶ S_1 – площадь светящейся поверхности, кв. м;
 - ▶ S_2 – площадь освещаемой поверхности, кв. м;
 - ▶ E_1 – освещенность элемента, освещаемого источником света (ИС) под углом 90° к нормали светящей поверхности, лк.

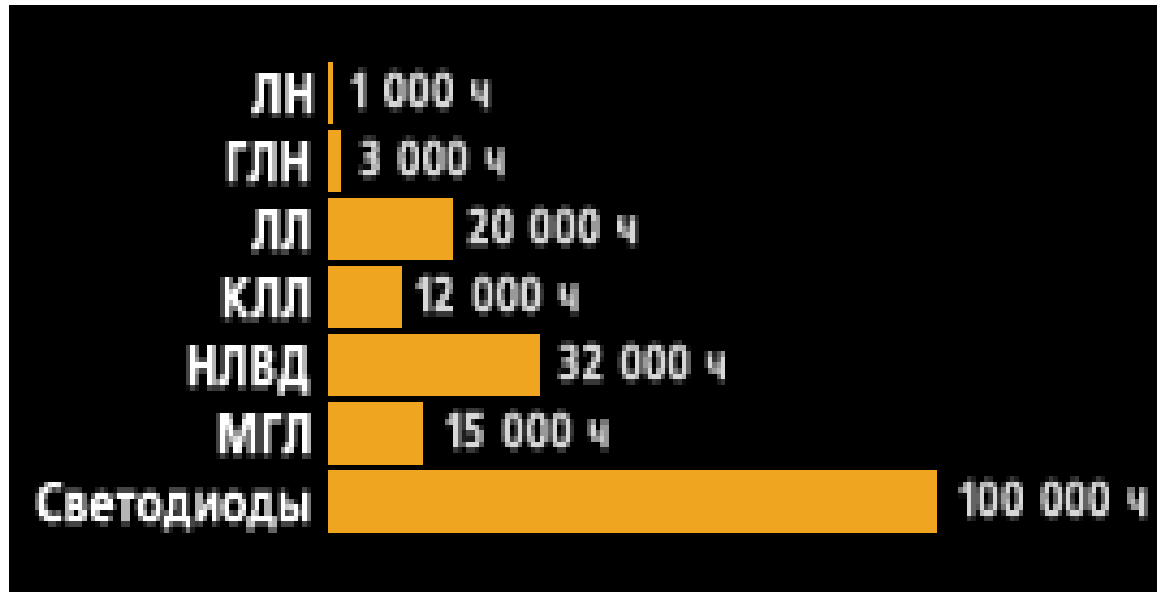


Основные понятия светотехники

Понятие	Определяющее уравнение	Ед. изм.
Сила света	$I = d\Phi / d\omega$	Кандела (кд)
Световой поток	$\Phi = 680 \int_0^{\infty} \varphi_{\lambda} V(\lambda) d\lambda$	Люмен (лм)
Освещенность	$E = d\Phi / dS_2$	Люкс (лк)
Светимость	$E = d\Phi / dS_1$	Люкс (лк)
Яркость	$L = dE_1 / d\omega$	кд/кв. м
Световая отдача	$H = \Phi / P$	лм/Вт



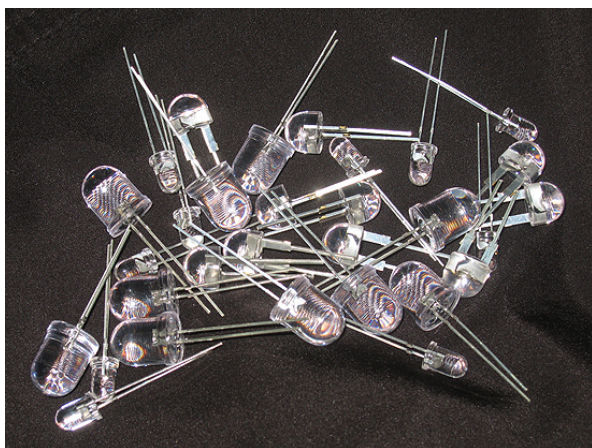
Срок эксплуатации



- ▶ Лампы перегорают;
- ▶ Световой поток уменьшается со сроком эксплуатации (полный и полезный срок службы).

Светодиоды

- ▶ - полупроводниковые источники света.



История создания

Год	Этапы	световой поток
1962	Первый красный светодиод был создан Ником Холоньяком (компания General Electric). Первые зеленые и желтые светодиоды	0,01 лм
1971	Первые синие светодиоды	
1972	Красные светодиоды	1 лм
1984	Первые сверхяркие красные светодиоды	
1993	Суджи Накамура создал первый сверхяркий синий светодиод	
1994	Зеленые светодиоды высокой яркости	
1996	Первый белый светодиод	
1998	Источники света RGB	
2000	Белый свет, созданный с помощью синего светодиода с люминоформным покрытием	
2003 -	Рост популярности светодиодов	

Прогноз структуры рынка светодиодов в России

