


МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)

Кафедра техносферной безопасности

Утверждаю
Зав. кафедрой д-р техн. наук, проф.
 Ю.В. Трофименко
27 апреля 2011 г.

Н.А. ЕВСТИГНЕЕВА, Т.Ю. ГРИГОРЬЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ОСВЕЩЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО
РАЗЛИЧНЫМИ ИСКУССТВЕННЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ СВЕТА

Методические указания
к лабораторной работе по курсам
«Безопасность жизнедеятельности»
и «Основы безопасности труда»

МОСКВА 2011

УДК 628.93.04

ББК 31.294-5

Е 263

Настоящие методические указания содержат основные сведения о современных искусственных источниках света, их устройстве и принципе действия. Приведены основные параметры электрических источников света, достигнутые к настоящему времени. Изложена методика проведения лабораторной работы на установке БЖ 1 (РНПО «Росучприбор»), обеспечивающей возможность изучения параметров искусственного освещения, создаваемого различными электрическими источниками света.

Введение, главы 1, 3 – 6 написаны доцентом, канд. техн. наук *Н.А. Евстигнеевой*, глава 2 – совместно со ст. преподавателем, канд. техн. наук *Т.Ю. Григорьевой*.

Методические указания соответствуют программам курсов «Безопасность жизнедеятельности», «Основы безопасности труда» (модуль «Обеспечение комфортных условий для жизни и деятельности человека») и предназначены для студентов всех специальностей МАДИ.

УДК 628.93.04

ББК 31.294-5

© Н.А. Евстигнеева, Т.Ю. Григорьева, 2011
© Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2011

ВВЕДЕНИЕ

Искусственный свет дополняет и в известной степени заменяет собой недостаточный или отсутствующий естественный свет. По образному выражению академика С.И. Вавилова, *«искусственный свет фактически удлиняет сознательное существование человека и в этом его великое значение»*.

Искусственный свет, создаваемый современными электрическими световыми приборами, достаточно легко регулируется по интенсивности, направленности, цветности, позволяя создавать комфортную световую среду для работы и отдыха.

В настоящее время исключительно важное значение для всего мирового сообщества имеет внедрение энергоэффективных источников света. Это позволит существенно снизить затраты электроэнергии на освещение, а следовательно, сократить как потребление горючих ископаемых, так и загрязнение атмосферы выбросами углекислого газа CO_2 .

Цель настоящей лабораторной работы – закрепление на практике теоретических знаний, полученных студентами при изучении курсов «Безопасность жизнедеятельности», «Основы безопасности труда» о характеристиках освещения, создаваемого различными искусственными источниками света.

В ходе выполнения работы перед студентами ставятся следующие задачи:

- ◆ приобрести практический навык работы с люксметром-пульсометром;
- ◆ исследовать достоинства и недостатки различных электрических источников света;
- ◆ оценить влияние цветового решения интерьера (окраски стен) на коэффициент использования осветительной установки и среднюю освещённость помещения.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Искусственные источники света

Искусственным источником света, или более строго, *источником оптического излучения*, называется устройство, предназначенное для превращения какого-либо вида энергии в оптическое излучение (электромагнитное излучение с длинами волн λ от 1 до 10^6 нм¹). Подавляющее большинство современных источников света относится к категории электрических. По принципу действия их можно разделить на три группы: лампы накаливания (включая галогенные лампы накаливания), разрядные и светодиодные лампы², которые вместе вырабатывают 98...99% всего светового потока (рис.1). Наиболее массовыми источниками света являются осветительные лампы, применяемые для общего освещения³.



Рис. 1. Классификация электрических источников света

Состав искусственных источников света, представленных на отечественном рынке в 2008 г., и прогноз на 2014 г. иллюстрирует гистограмма рис.2.

¹ 1 нм (нанометр) = 10^{-9} м.

² Это самые «молодые», но весьма перспективные источники света (в том числе и для освещения помещений). В настоящее время выпускаются светодиодные лампы практически под все существующие типы цоколей.

³ **Общее освещение** – освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (*общее равномерное освещение*) или применительно к расположению оборудования (*общее локализованное освещение*).

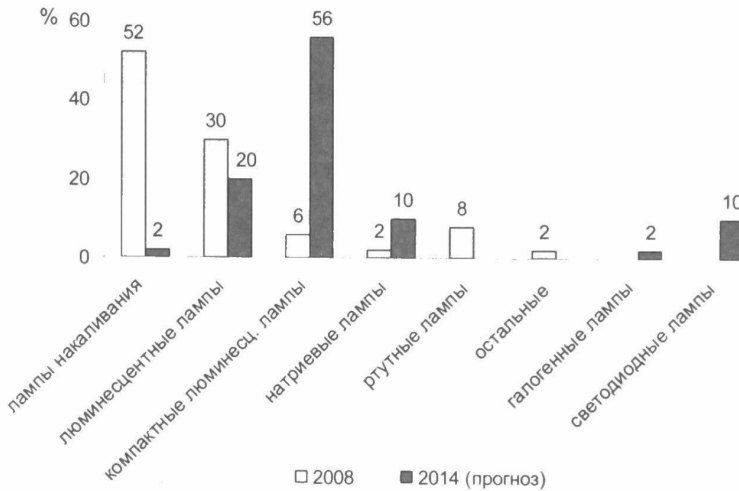


Рис.2. Характеристика рынка искусственных источников света в России [1]

1.1.1. Параметры электрических источников света (ламп)

Излучение лампы характеризуется световым потоком Φ (лм) и его пульсацией⁴, силой света I (кд), светораспределением силы света по направлениям (фотометрическое тело либо кривые силы света), яркостью L (кд/м²), спектром излучения. Цвет излучения дополнительно характеризуется цветовыми параметрами: координатами цветности x и y , цветовой температурой T_c (K)⁵ и индексами цветопередачи – общим R_a ⁶ и специальными R_i . На практике пре-

⁴ **Пульсация светового потока** – непостоянство светового потока Φ во времени. Вызывается переменным током в питающей сети и малой инерционностью процессов, сопровождающих работу лампы.

⁵ **Цветовая температура** T_c (K) – температура абсолютно чёрного тела, при которой оно испускает излучение с той же цветностью (хроматичностью), что и излучение лампы. Источники света, имеющие одинаковую цветность, могут совершенно по-разному передавать цвета освещаемых предметов.

⁶ **Общий индекс цветопередачи** R_a определяется как среднеарифметическое специальных индексов цветопередачи R_i . Все данные, необходимые для расчёта индексов цветопередачи, приведены в ГОСТ 23198-94 «Лампы электрические. Методы измерения спектральных и цветовых характеристик».

имущественно используют T_u и R_a (табл.1).

Таблица 1

Классификация источников света по цветности и цветопередаче [4]

Классификационный признак	Группа источников света
Цветность	тёплые ($T_u < 3300$ К) средние ($3300 \text{ К} \leq T_u \leq 5300$ К) холодные ($T_u > 5300$ К)
Цветопередача	высокого класса ($R_a \geq 85$) среднего класса ($85 > R_a \geq 70$) низкого класса ($R_a < 70$)

Электрический режим определяется мощностью лампы P (Вт), рабочим напряжением на лампе U (В), напряжением питания $U_{пит}$ (В), током I (А), родом тока (постоянный, переменный с частотой f (Гц) и т.д.).

К основным геометрическим параметрам ламп относятся габаритные и присоединительные размеры, положение светового центра, размеры излучающего тела.

К основным конструктивным параметрам – форма и размеры колбы, её оптические свойства (прозрачная, матированная, зеркализованная и т.д.), тип цоколя (резьбовой, штифтовый, фокусирующий, цилиндрический, специальный), конструкция и размеры электродов и пр.

Тепловой режим характеризуется температурой тела накала (для ламп накаливания), колбы, цоколя, вводов, электродов и других узлов, однако особое значение имеют максимальная и минимальная температура конструктивных узлов лампы.

Экономичность ламп определяется световой отдачей η – отношением светового⁷ потока Φ , излучаемого лампой, к её электрической мощности P :

$$\eta = \frac{\Phi}{P}, \frac{\text{лм}}{\text{Вт}} \quad (1)$$

⁷ **Свет** – электромагнитное излучение с длинами волн $\lambda = 380 \dots 780$ нм, воспринимаемое (видимое) человеческим глазом.

Параметры долговечности. Различают:

♦ *полный срок службы* – продолжительность горения ламп от начала эксплуатации или испытания до момента полной или частичной утраты ими работоспособности;

♦ *средний срок службы* – среднеарифметическое значение полного срока службы всех ламп, входящих в партию. За средний срок службы принимают время, в течение которого вышло из строя 50% ламп из партии;

♦ *полезный срок службы* – продолжительность горения ламп от начала эксплуатации или испытания до момента ухода за установленные пределы одного из параметров, определяющих целесообразность использования ламп (например, из-за снижения светового потока Φ ниже определённого предела).

Важным показателем надёжности служит *вероятность безотказной работы ламп в течение заданного времени*, которая часто заменяется *минимальной продолжительностью горения*.

Параметры ламп, особенно показатели долговечности и безотказности, устанавливаются и контролируются, как правило, на основании статистической обработки результатов испытаний выборок из партии ламп данного типа. Полученные результаты распространяются потом на всю партию.

1.1.2. Лампы накаливания (ЛН)

ЛН относятся к тепловым излучателям, свечение которых обусловлено нагреванием⁸. Конструкция современной ЛН представлена на рис.3. Главной частью ЛН является тело накала, которое может быть изготовлено в виде нити, спирали, биспирали, триспирали самых разнообразных форм и размеров. Тело накала нагревается до высокой температуры за счёт протекания через него электрического тока (тепловое действие электрического тока) и испускает электро-

⁸ К тепловым излучателям помимо электрических ЛН относятся простые угольные дуги и все пламенные источники света.

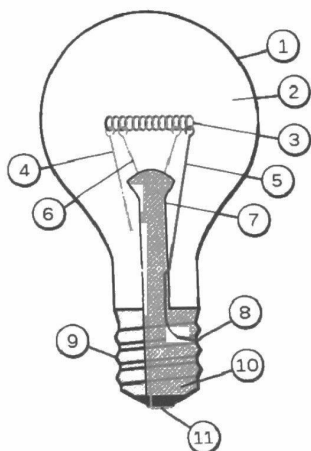


Рис.3. Принципиальная схема ЛН [2]:

- 1 – колба;
- 2 – полость колбы (вакуумированная или наполненная газом);
- 3 – тело накала;
- 4, 5 – электроды (токовые вводы);
- 6 – крючки-держатели тела накала;
- 7 – ножка лампы;
- 8 – внешнее звено токоввода, предохранитель;
- 9 – корпус цоколя;
- 10 – изолятор цоколя (стекло);
- 11 – контакт донышка цоколя

магнитное излучение в соответствии с законом Планка с поправкой на интегральную степень черноты ε тела⁹ (рис.4):

$$E_{\lambda} = \varepsilon \cdot \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{\exp \frac{c_2}{\lambda \cdot T} - 1}, \quad \frac{Вт}{м^3}, \quad (2)$$

где E_{λ} – спектральная интенсивность излучения, $Вт/м^3$;

c_1 – постоянная, $c_1 = 3,742 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$;

λ – длина электромагнитной волны, м;

c_2 – постоянная, $c_2 = 1,439 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$;

T – абсолютная температура тела накала, К.

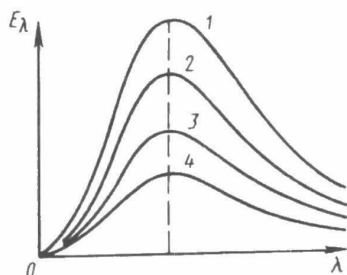


Рис.4. Распределение излучения серых тел по длинам волн:

- 1 – $\varepsilon = 1$ (абсолютно чёрное тело);
- 2...4 – $\varepsilon = 0,8; 0,6; 0,4$ соответственно (серые тела)

⁹ Излучение многих реальных тел приближённо можно рассматривать как излучение *серых тел*.

Функция Планка имеет максимум, положение которого на шкале длин волн зависит от температуры (рис.5).

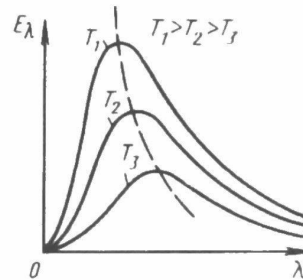


Рис.5. Зависимость спектра излучения серого тела от его температуры

Указанную зависимость устанавливает закон смещения Вина:

$$T \cdot \lambda_{\max} = b, \quad (3)$$

где T – температура источника излучения, К;

λ_{\max} – длина волны, соответствующая максимуму спектральной интенсивности излучения E_λ , м;

b – постоянная Вина, $b = 2,898 \cdot 10^{-3}$ м·К.

Для получения видимого излучения ($\lambda = 380...780$ нм) необходимо, чтобы температура тела накала была порядка нескольких тысяч градусов, в идеале 5770 К (температура поверхности Солнца). Чем ниже температура, тем меньше доля видимого света и тем более «красным» кажется излучение. Идеальная температура в 5770 К недостижима, так как при такой температуре любой известный материал плавится, разрушается и перестает проводить электрический ток.

В современных ЛН применяют материалы с максимальными температурами плавления – вольфрам W (3695 К) и, очень редко, осмий Os (3327 К). При практически достижимых температурах 2400...2800 К только малая доля излучения тела накала лежит в области видимого света (рис.6, табл.2), основная доля приходится на инфракрасное (тепловое) излучение ($\lambda = 780...10^6$ нм). По этой причине в видимом излучении ЛН преобладают оранжево-красные лучи.

Поэтому при освещении ЛН усиливаются «тёплые» цветовые тона (красные, оранжевые, коричневые) и ослабляются «холодные» (зелёные, голубые, фиолетовые), что искажает цветопередачу.

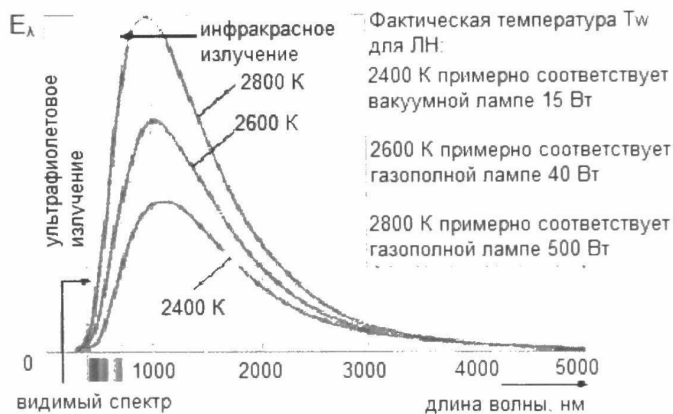


Рис. 6. Спектр излучения ЛН [3]

Таблица 2

Доля видимого излучения в балансе энергии ЛН, % [4]

Вид ЛН			
вакуумная	моноспиральная аргоновая	биспиральная аргоновая	криптоновая и ксеноновая
7	10	12	13

Для обеспечения нормальной работы раскалённого тела накала его необходимо изолировать от кислорода воздуха. По этой причине тело накала размещают либо в безвоздушном пространстве (такие лампы называют *вакуумные*), либо в среде инертных газов (азота N_2 , аргона Ar , криптона Kr , ксенона Xe) или их смесей, не реагирующих с материалом тела накала (*газополные лампы*). В настоящее время только лампы малой мощности (для ламп общего назначения – до 25 Вт) изготавливают в вакуумированной колбе [2]. Повышенное давление в колбе более мощных газополных ламп резко уменьшает скорость испарения вольфрама, благодаря чему не

только увеличивается срок службы лампы, но и есть возможность повысить температуру тела накала, что позволяет увеличить световую отдачу и приблизить спектр излучения к солнечному. К тому же колба газополной лампы не так быстро темнеет за счёт осаждения материала тела накала, как колба вакуумной лампы.

Особой группой ЛН являются галогенные лампы накаливания (ГЛН), которые более подробно рассмотрены в §1.1.3.

Классификация ЛН чаще всего производится по двум признакам: по назначению (областям применения) и конструкции (технологии изготовления).

Классификация ЛН по назначению приведена в *табл.3*. Все ЛН разделяют обычно на лампы общего назначения (группы 1 и 2) и лампы специального назначения (группы 3 – 8).

Таблица 3

Классификация ЛН по функциональному назначению [4]

Группа	Характерные представители
1. Лампы общего освещения	Вакуумные, газополные и галогенные лампы общего освещения
2. Лампы местного освещения	Лампы для освещения рабочих мест
3. Транспортные лампы	Автомобильные, железнодорожные, судовые, самолётные лампы
4. Лампы для сигнализации и индикации	Миниатюрные, сверхминиатюрные, коммутаторные, светофорные, маячные, специальные сигнальные лампы
5. Лампы для оптических систем и приборов	Кинопроекторные, малогабаритные, прожекторные, лампы-фары, зеркальные лампы
6. Метрологические лампы	Светоизмерительные лампы силы света и светового потока, пирометрические лампы, лампы с окнами-фильтрами, лампы «чёрное тело»
7. Лампы для технологических целей	Инфракрасные зеркальные лампы, галогенные лампы инфракрасного излучения, лампы для фотографии и др.
8. Лампы для специальных светотехнических систем и установок	Лампы рудничные; для подводного освещения; для эксплуатации при высоких температурах, давлениях, разрежениях; декоративные; иллюминационные, для ёлочных гирлянд

В основе классификации по конструкции лежит объединение ламп в группы, которые можно изготавливать на однотипном технологическом оборудовании (прежде всего, определяется размером и формой колб, от которых зависят размер и конструкция ножки, тела накала, вводов, тип цоколя, а следовательно, и характер соответствующего технологического оборудования).

Маркировка отечественных ЛН содержит следующие элементы:

X X X - X - X

- Буква (буквы), характеризующая лампу по важнейшим физическим и конструктивным особенностям:**
 - В – вакуумная моноспиральная;
 - Г – газополная аргоновая моноспиральная;
 - Б – аргоновая биспиральная;
 - БК – биспиральная криптоновая;*ряд ламп (особенно специальных) первого элемента в обозначении не имеют*
- Буквенное выражение, определяющее назначение лампы:**
 - А – автомобильная;
 - Ж – железнодорожная;
 - КМ – коммутаторная;
 - МО – местного освещения;
 - ПЖ – прожекторная;
 - С – судовая;
 - СМ – самолётная
 - и т.д.*
- Цифровое выражение, означающее номинальное напряжение лампы (В)**
- Числа, означающие номинальную мощность лампы (Вт) либо силу света (кд), ток (А) или световой поток (лм) – в зависимости от принятой маркировки данного вида ламп, для двухспиральных ламп указываются параметры первой и второй спиралей, соединённых знаком «+»**
- Цифра, указывающая порядковый номер доработки (для ламп, разработанных впервые, четвёртый элемент отсутствует)**

Некоторые специфические особенности маркировки указаны в соответствующих стандартах и технических условиях.

Примеры маркировки ламп:

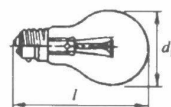
♦БК215-225-100-2 – ЛН биспиральная криптоновая, номинальное напряжение 215...225 В, мощность 100 Вт, вторая доработка;

♦А12-21+ 6 – ЛН автомобильная, номинальное напряжение 12 В, двухспиральная, сила света спиралей 21 и 6 кд.

Номенклатура ЛН общего назначения достаточно стабильна и за последние 15...20 лет не претерпела существенных изменений. В табл.4 приведены усреднённые параметры ЛН, достигнутые к настоящему времени.

Основные параметры ЛН общего назначения с грушевидной прозрачной колбой [4]

Таблица 4



Мощность Р, Вт	Диаметр колбы d_k , мм	Полная длина l , мм	Световой поток Φ , лм	Световая отдача η , лм/Вт
15	60	105	90...120	6,0...8,0
25	60	105	215...230	8,6...9,2
40	60	105	415...430	10,4...10,8
60	60	105	700...750	11,7...12,5
75	60	105	940...960	12,5...12,8
100*	60	105	1340...1380	13,4...13,8
150	65	123	2040...2220	13,6...14,8
200	80	156	2880...3150	14,4...15,7
300	111	240	4780...4850	15,9...16,2
500	111	240	8250...8400	16,5...16,8
750	151	309	13100	17,5
1000	151	309	18610...20000	18,61...20,00

**Примечание.* Согласно [5] с 1 января 2011 г. к обороту на территории РФ не допускаются электрические ЛН мощностью 100 Вт и более, которые могут быть использованы в целях переменного тока в целях освещения.

По массовости ЛН сегодня занимают первое место среди источников света (рис.2). Широта их применения обусловлены относительно низкой стоимостью, удобством в обращении, простотой в обслуживании, разнообразием конструкций, напряжений и мощностей, высоким уровнем механизации производства.

Главными недостатками ЛН являются сравнительно низкая световая отдача ($\eta = 6...20$ лм/Вт для ламп общего назначения; максимальная световая отдача, которая может быть получена при температуре плавления вольфрама, – 50 лм/Вт), невысокий срок службы (средний срок службы ламп общего назначения – 1 тыс.ч)¹⁰, не всегда приемлемая цветопередача и механическая прочность ряда типов специальных ламп. При эксплуатации следует учитывать, что ЛН имеет высокую температуру на цоколе и в некоторых зонах поверхности колбы. Через 30 мин после включения ЛН температура наружной поверхности колбы достигает в зависимости от мощности следующих величин: 25 Вт – 100 °С, 40 Вт – 145 °С, 75 Вт – 250 °С, 100 Вт – 290 °С, 200 Вт – 330 °С. При соприкосновении ламп с текстильными материалами их колба нагревается ещё сильнее. Таким образом, ЛН представляют пожарную опасность¹¹.

В настоящее время в связи с необходимостью экономии электроэнергии во многих странах (в т.ч. и в РФ) введён или планируется ввод запрета на производство, закупку и импорт ЛН, с целью стимулирования замены их на энергосберегающие лампы (компактные люминесцентные лампы, светодиодные лампы и др.).

Справка. С 1 сентября 2009 г. в Евросоюзе в соответствии с директивой 2005/32/EG вступил в силу поэтапный запрет на производство, закупку магази-

¹⁰ *Любопытный факт.* В США в одном из пожарных отделений города Ливермор (штат Калифорния) есть 4-ваттная лампа ручной работы, известная как «Столетняя лампа». Она практически постоянно горит уже 110 лет, с 1901 г. Такой ресурс лампе обеспечила в основном работа на малой мощности, в глубоком недокале, при очень низком КПД.

¹¹ Солома, касающаяся поверхности лампы мощностью 60 Вт, вспыхивает примерно через 67 мин.

нами и импорт ЛН (за исключением специальных ламп). С 2009 г. были запрещены лампы мощностью 100 Вт и более, лампы с матированной колбой 75 Вт и более (с 1 сентября 2010 г.) и др.; ожидается, что к 2012 г. будет запрещён импорт и производство ЛН меньшей мощности. С 2005 г. на Кубе ограничено использование ЛН мощностью более 15 Вт. С 2009 г. ограничения коснулись также Новой Зеландии и Швейцарии, с 2010 г. – Австралии [2].

23 ноября 2009 г. президент РФ Д. А. Медведев подписал принятый ранее Госдумой Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [5]. Согласно ст.10 (часть 8) документа, с 1 января 2011 г. на территории страны не допускаются к обороту электрические ЛН мощностью 100 Вт и более, а также запрещается размещение заказов на поставки ЛН любой мощности для государственных и муниципальных нужд. В целях последовательной реализации требований о сокращении оборота электрических ЛН с 1 января 2013 г. может быть введён запрет на оборот электрических ЛН мощностью 75 Вт и более, а с 1 января 2014 г. – ЛН мощностью 25 Вт и более. В связи с вступившим в силу запретом на продажу ламп мощностью более 100 Вт некоторые производители уже начали выпускать лампы мощностью 95 Вт.

1.1.3. Галогенные лампы накаливания (ГЛН)

ГЛН относят к самостоятельному классу источников света [4]. Принципиальным их отличием от ранее рассмотренных ЛН (§1.1.2) является введение в полость колбы галогенов (в основном, иода I_2 ¹²) или их соединений, что препятствует осаждению вольфрама W на стенках колбы (предотвращает её потемнение).

Галогенная добавка в ЛН с вольфрамовым телом накала вызывает замкнутый химический цикл. Пример такого цикла для иода I_2 схематично представлен на рис. 7.

Атомы вольфрама W , испарившиеся с нагретой до высоких

¹² К недостаткам применения в ГЛН иода I_2 относится его высокая агрессивность к металлическим деталям. Другие галогены (бром Br_2 , хлор Cl_2 , фтор F_2) ещё более агрессивны, поэтому в чистом виде их не применяют. В настоящее время в подавляющем большинстве в ГЛН применяют химические соединения галогенов: бромметан CH_3Br и дибромметан CH_2Br_2 .

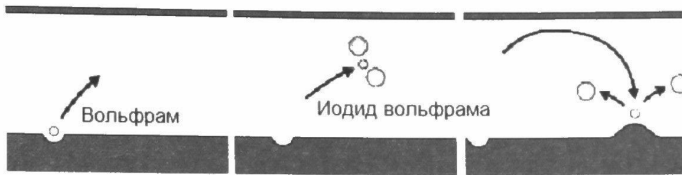


Рис.7. Иодно-вольфрамовый цикл [3]

температур поверхности тела накала, в результате диффузии или конвекции попадают в область с температурой ниже 1200 °С (вблизи стенки колбы). При температурах 300...1200 °С пары иода I^{13} соединяются с атомами W , образуя стабильное соединение – иодид вольфрама WI_2 :



Вместе с тепловым потоком эти соединения снова перемещаются в зону вблизи тела накала, где при температурах 1400...1600 °С молекулы иодида вольфрама WI_2 распадаются:



а атомы вольфрама W оседают на теле накала и других деталях, имеющих температуру выше 1600 °С.

Отметим, что иодно-вольфрамовый цикл препятствует осаждению вольфрама W на поверхности колбы, однако не обеспечивает возвращения его частиц в дефектные участки тела накала (рис.7), в связи с чем механизм перегорания тела накала остаётся таким же, как и в обычных ЛН: тело накала разрушается (перегорает) в наиболее тонком месте, с которого испарилось наибольшее количество вольфрама W .

ГЛН по сравнению с обычными ЛН имеют большую температуру спирали (3000 К), большую световую отдачу η (до 26 лм/Вт), более стабильный по времени световой поток Φ , более высокие тер-

¹³ Заметная диссоциация иода $I_2 = 2I$ наблюдается при температурах выше 700 °С, а также при действии света, хотя процесс имеет место и при комнатных температурах.

мостойкость и механическую прочность (за счёт применения кварцевой колбы), срок службы (до 4 тыс. ч) и меньший размер колбы.

Усреднённые технические характеристики устоявшейся за последние годы номенклатуры ГЛН приведены в *табл.5 – 6*.

Таблица 5

Одноцокольные ГЛН сетевого напряжения 220 В
с прозрачной внешней оболочкой и цоколем Е 27 [4]

Мощность P , Вт	Размеры лампы, мм		Световой поток Φ , лм	Световая отдача η , лм/Вт
	диаметр	полная длина		
40	48	117	480...490	12
60	32	105	820...840	14
	48	117		
75	32	105	1050...1110	14...15
100	32	105	1500...1600	15,0...16,0
	48	117		
150	32	105	2500...2550	16,7...17,0
	48	117		
250	32	105	4200	16,8

Таблица 6

Двухцокольные ГЛН сетевого напряжения 220 В
с диаметром трубки 11...12 мм и цоколем R 7s [4]

Мощность P , Вт	Полная длина, мм	Световой поток Φ , лм	Световая отдача η , лм/Вт
60	74,9	810...840	13...14
100	74,9	1600...1650	16,0...16,5
150	74,9	2250...2600	15,0...17,3
200	114,2	3200...3520	16,0...17,6
300	114,2	5000...5600	16,7...18,7
500	114,2	9500...9900	19,0...19,8
750	185,7	16500...16900	22,0...22,5
1000	185,7	22000...24200	22,0...24,2
1500	250,7	33000...36300	22,0...24,2
2000	327,4	44000...48400	22,0...24,2

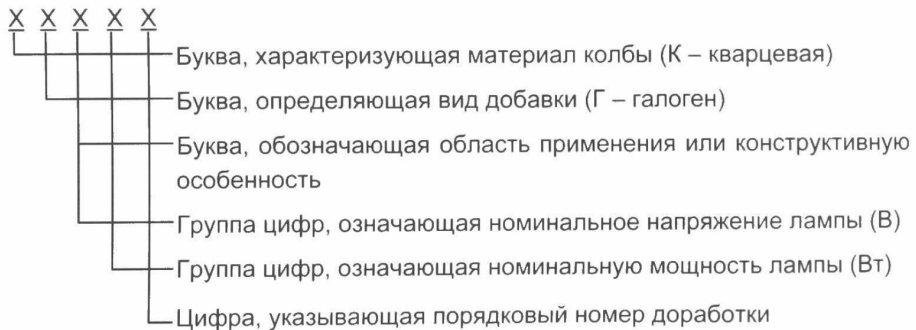
ГЛН применяются для светильников общего освещения, прожекторов, инфракрасного облучения, киносъёмочного и телевизионного освещения, автомобильных фар, аэродромных огней, оптических приборов и др.

По конструктивным признакам ГЛН делятся на две группы:

- ♦ с длинным спиральным телом накала при соотношении длины лампы к диаметру $l/d > 10$ – линейные и трубчатые лампы;
- ♦ с компактным телом накала при отношении $l/d < 8$.

Длинные линейные ГЛН имеют следующие недостатки: их невозможно долго эксплуатировать в наклонном или вертикальном положении, так как при этом прекращается регенеративный цикл. Из-за высокой стоимости кварца и недостаточной технологичности ГЛН пока ещё дороги.

Приняты следующие обозначения ГЛН:



Номенклатура ГЛН содержит лампы сетевого (220 В) и низкого напряжения. Лампы сетевого напряжения выпускаются двухцокольные и одноцокольные. Лампы низкого напряжения используются с трансформатором.

Новым направлением развития ГЛН является так называемые **IRC-галогенные лампы**¹⁴. На внешнюю поверхность колбы таких ламп наносится специальное покрытие (многослойная плёнка), которое пропускает видимый свет, а значительную часть инфракрасного

¹⁴ IRC – Infra-Red-Coating (инфракрасное покрытие).

(теплого) излучения отражает назад, к телу накала, где оно частично поглощается. За счёт этого уменьшаются потери тепла и, как следствие, увеличивается эффективность лампы (табл.7). По данным фирмы OSRAM, освоившей их производство, потребление электроэнергии снижается на 45 % при том же световом потоке Φ , а срок службы увеличивается вдвое (по сравнению с обычной ГЛН).

Таблица 7

Лампы HALOSTAR IRC низкого напряжения (12 В), прозрачные, длина 44 мм, диаметр 12 мм, со штырьковым цоколем GY6,35 [6]

Лампа	Мощность P , Вт	Световой поток Φ , лм	Световая отдача η , лм/Вт	Средний срок службы, ч
64429 IRC	25	500	20	1000
64432 IRC	35	900	26	4000
64440 IRC	50	1250	25	4000
64447 IRC	65	1700	26	4000

1.1.4. Разрядные лампы (РЛ)

Принцип действия РЛ основан на излучении электрического разряда¹⁵ между двумя электродами, запаянными в прозрачную для оптического излучения колбу той или иной формы. Иногда для облегчения зажигания вплавляют дополнительные электроды. Внутреннее пространство колбы после удаления воздуха и тщательного обезгаживания лампы (удаления сорбированных в материале колбы и электродах паров воды и других газов при помощи нагрева под откачкой) наполняется определённым газом (чаще всего инертным) до заданного давления или инертным газом и небольшим количеством

¹⁵ **Электрический разряд в газах** (или газовый разряд) – прохождение электрического тока через газ под действием электрического поля. Электрический разряд в газах сам создаёт в них носителей заряда (свободные электроны и ионы) и обуславливает их концентрацию и распределение в объёме газа. В зависимости от давления, рода газа, процессов на электродах, плотности разрядного тока и др. возникают различные типы разрядов (дуговой, тлеющий, импульсный).

металла с высокой упругостью паров (ртутью *Hg*, натрием *Na* и др.¹⁶). Начиная с 1960-х годов, широкое распространение получили РЛ, в которые, кроме инертного газа и ртути *Hg*, вводят галогениды различных металлов.

Излучение газов и паров в РЛ вызвано возбуждением атомов (или молекул) в электрическом разряде за счёт неупругих соударений с электронами. Возбуждённые атомы за время $10^{-7} \dots 10^{-8}$ с возвращаются в состояние с меньшей энергией, испустив избыток энергии в виде фотонов – электромагнитного излучения с частотой ν :

$$\nu = \frac{W_2 - W_1}{h}, \text{ Гц}, \quad (6)$$

где W_2 и W_1 – соответственно энергии начального (до излучения) и конечного состояний, Дж;

h – постоянная Планка, $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Поскольку атомы каждого химического элемента имеют совершенно определённые, присущие только ему энергии возбуждённых состояний, то и испускать они могут фотоны только определённых частот (или длин волн). В связи с этим спектр излучений состоит из отдельных линий, расположение которых характерно для каждого рода газа или пара. Интенсивность отдельных спектральных линий зависит от условий разряда (давления, тока, диаметра оболочки и т.д.), но при этом всегда имеется определённая совокупность линий, присущих только данному элементу. Характер спектра зависит от структуры внешней оболочки атома. Густота заполнения спектра линиями растёт с увеличением числа электронов на внешней оболочке, то есть по мере перехода от первой к восьмой группе химических элементов периодической таблицы Д.И. Менделеева.

В разряде с большой концентрацией ионизированных атомов (большая плотность тока и высокое давление) значительную интенсивность имеет непрерывный спектр. Таким образом, подби-

¹⁶ Подавляющее большинство РЛ работают в парах ртути *Hg*.

рая газ или пар и условия разряда, можно получать разные спектры излучения с различным распределением интенсивностей.

Преобразование излучения разряда при помощи люминофоров открыло широкие возможности создания РЛ с самыми различными спектрами излучения. Обычно для возбуждения люминофора используется ультрафиолетовое излучение разряда, которое люминофор преобразует (с определёнными потерями) в более длинноволновое излучение, лежащее в ультрафиолетовой или видимой областях спектра.

Классификация РЛ приведена в табл.8.

Таблица 8

Классификация РЛ [4]

Классификационный признак	Вид РЛ
1	2
1. Состав газов или паров, в которых происходит разряд	<ul style="list-style-type: none">• с разрядом в газах• с разрядом в парах металлов• с разрядом в парах металлов и их соединений
2. Основной источник излучения	<ul style="list-style-type: none">• газо- или паросветные (излучение вызвано возбуждением атомов, молекул или рекомбинацией ионов)• фотолюминесцентные или люминесцентные (излучение создают люминофоры, возбуждаемые излучением разряда)• электродосветные (излучение создается электродами, раскалёнными в разряде до высокой температуры) – <i>в настоящее время практически не применяются</i>
3. Рабочее давление	<ul style="list-style-type: none">• низкого давления (от 0,1 до 10^4 Па)• высокого давления (от $3 \cdot 10^4$ до 10^6 Па)• сверхвысокого давления (свыше 10^6 Па)
4. Вид разряда	<ul style="list-style-type: none">• дугового разряда• тлеющего разряда• импульсного разряда

Продолжение табл.8

1	2
5. Область свечения	<ul style="list-style-type: none"> • со столбом в подавляющем большинстве случаев дугового разряда • тлеющего свечения
6. Форма колбы (для РЛ со столбом)	<ul style="list-style-type: none"> • трубчатые (расстояние между электродами в 2 и более раз превышает внутренний диаметр трубки) • капиллярные (внутренний диаметр трубки меньше 4 мм) • шаровые или компактные (расстояние между электродами меньше внутреннего диаметра колбы или равно ему)
7. Способ охлаждения	<ul style="list-style-type: none"> • с естественным охлаждением • с принудительным (воздушным или водяным) охлаждением

В РЛ многих типов разрядную колбу (часто называемую горелкой или излучателем) помещают *во внешнюю колбу*, которая выполняет ряд функций:

- ◆ защищает горелку от повреждения;
- ◆ уменьшает влияние окружающей среды на тепловой режим горелки;
- ◆ предохраняет нагретые вводы и монтаж от окисления;
- ◆ служит поверхностью для нанесения различного рода покрытий, изменяющих спектр излучения, кривую силы света и т.д.

РЛ имеют самую высокую *световую отдачу* η – до 150 лм/Вт, срок службы от 3,5 до 28 тыс. ч, а также могут иметь *разнообразные спектры излучения, широкий диапазон мощности, яркости* и других параметров.

К недостаткам РЛ следует отнести: наличие вредных для биосферы и человека паров ртути *Hg* и натрия *Na*; радиопомехи;

сложный и дорогостоящий пускорегулирующий аппарат¹⁷ (ПРА), включающий в некоторых случаях стартер, дроссели, конденсаторы; длительный период выхода отдельных типов РЛ на номинальный режим; невозможность быстрого вторичного включения лампы при кратковременном отключении питающего напряжения.

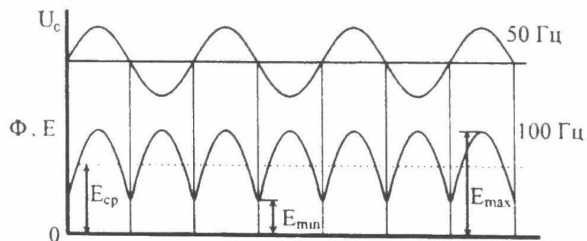
Основным и существенным недостатком РЛ является *глубокая пульсация светового потока*, которая количественно оценивается коэффициентом пульсации освещённости $K_{\text{п}}$ [7]

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2 \cdot E_{\text{cp}}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где E_{max} , E_{min} , E_{cp} – соответственно максимальное, минимальное и среднее значения освещённости за период её колебания, лк.

На *рис.8* изображена синусоида изменения напряжения U_c в сети переменного тока промышленной частоты ($f = 50$ Гц) и примерная осциллограмма светового потока лампы Φ и создаваемая им освещённость E на рабочем месте.

Рис.8. Изменение напряжения U_c в сети электрического тока промышленной частоты, светового потока лампы Φ и создаваемой им освещённости E на рабочем месте



Световой поток РЛ при питании её током промышленной частоты ($f = 50$ Гц) пульсирует с частотой 100 Гц. Пульсация светового потока зрительно не воспринимается (так как частота пульсаций

¹⁷ **Пускорегулирующий аппарат** – это светотехническое изделие, с помощью которого осуществляется питание источника света (ИС) от электрической сети, обеспечивающее необходимые пусковые и рабочие режимы ИС, конструктивно оформленное в виде единого аппарата либо нескольких отдельных блоков.

превышает критическую частоту слияния мельканий, при которой они перестают быть заметными), но неблагоприятно влияет на биоэлектрическую активность мозга, вызывая повышенную утомляемость. Отрицательное воздействие пульсации возрастает с увеличением её глубины; появляется напряжение в глазах, усталость, трудность сосредоточения на сложной работе, головная боль.

Освещение пульсирующим светом особенно опасно при наличии в поле зрения движущихся или вращающихся объектов и может привести к *стробоскопическому эффекту* – явлению искажения зрительного восприятия вращающихся, движущихся или сменяющихся объектов, возникающему *при совпадении кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени*. Искажение зрительного восприятия проявляется в возникновении иллюзии изменения движения объекта или полной остановки движущихся объектов¹⁸. Данный эффект на производстве провоцирует ошибочные действия операторов, приводя к авариям и несчастным случаям. *Исследования показывают, что опасность возникновения стробоскопического эффекта существует даже при $K_n = 10\%$.*

Сглаживание пульсации достигается применением нескольких рядом работающих ламп со сдвигом фаз питающего напряжения (включение ламп в три фазы сети) или существенным повышением частоты переменного тока ($f > 1000$ Гц). Применение электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА) помогает решить проблему ограничения пульсации освещённости. Преобразуя ток питания из 50 Гц в высокочастотный, ЭПРА снижают K_n до величины менее 1%.

Наиболее широкое применение для целей общего освещения получили *люминесцентные лампы*, а также *ртутные лампы высо-*

¹⁸ Если вращающийся белый диск с чёрным сектором освещать вспышками, то сектор будет казаться: неподвижным при $f_{всп} = f_{вращ}$, медленно движущимся в обратную сторону при $f_{всп} > f_{вращ}$, медленно движущимся в ту же сторону при $f_{всп} < f_{вращ}$, где $f_{всп}$ и $f_{вращ}$ – соответственно частоты вспышек и вращения диска.

кого давления типа ДРЛ, металлогалогенные типа ДРИ и натриевые лампы высокого давления (см. рис.2).

Люминесцентные лампы (ЛЛ) представляют собой разрядные источники света, в которых видимый свет излучается в основном за счёт фотолюминесценции люминофоров под воздействием ультрафиолетового излучения электрического разряда в парах ртути Hg^{19} при низком давлении (5...10 Па), которое соответствует температуре жидкой фазы ртути (35...40 °С). Сам электрический разряд также излучает видимый свет, но в значительно меньшей степени.

В настоящее время ЛЛ – наиболее массовые РЛ, применяемые для освещения (см. рис.2). Это объясняется, прежде всего, рядом достоинств ЛЛ:

- ♦ высокой световой отдачей η (до 104 лм/Вт) и большим сроком службы (до 20 тыс. ч). Срок службы разработанных за рубежом безэлектродных индукционных ламп с люминофором, в которых газ возбуждается высокочастотными и сверхвысокочастотными электромагнитными полями, достигает 45...60 тыс. ч, светоотдача η – до 73 лм/Вт;

- ♦ малой себестоимостью изготовления в связи с высокой степенью механизации, простотой конструкции и доступностью сырья и материалов;

- ♦ благоприятным спектром излучения, обеспечивающим высокое качество цветопередачи ($R_a = 50...100$);

- ♦ низкими яркостью и температурой поверхности лампы.

*В осветительной технике самое широкое распространение получили ЛЛ дугового разряда²⁰, зажигаемые от стандартного сетевого напряжения с предварительным подогревом катода. В них для облегчения зажигания дугового разряда к парам ртути Hg добавляют инертный газ (аргон Ar , аргоно-неоновые $Ar-Ne$ и аргоно-криптоновые $Ar-Kr$ смеси). К указанным лампам относятся *прямые трубка-**

¹⁹ Разработаны также безртутные ЛЛ с разрядом в инертных газах [4].

²⁰ Лампы тлеющего разряда применяют для сигнализации и световой рекламы.

тые, фигурные (U-образные, кольцевые) и компактные ЛЛ (рис.9). Наиболее распространёнными являются **прямые трубчатые ЛЛ** белого света диаметром 26 мм (типа Т8) и миниатюрные диаметром 16 мм (типа Т5).

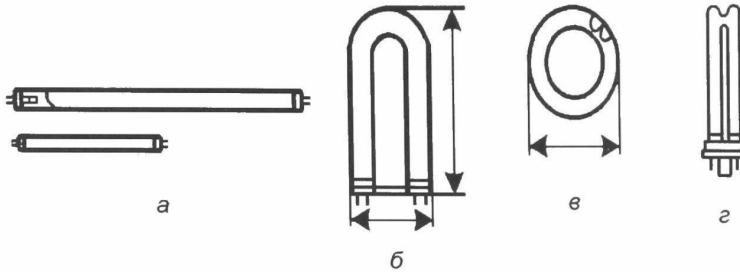


Рис.9. ЛЛ дугового разряда: а – прямые трубчатые; б – U-образные; в – кольцевые; г – компактные

Источником света нового поколения можно считать прямые трубчатые ЛЛ диаметром 16 мм (типа Т5) мощностью 14...80 Вт, которые работают только с ЭПРА, продолжительность горения 16...20 тыс. ч (табл.9).

Таблица 9

Параметры ЛЛ типа Т5 [4]

Мощность P , Вт	Номинальная длина, мм	Световой поток Φ , лм	Световая отдача η , лм/Вт
с максимальной световой отдачей η			
14	549	1100...1350	79...96
21	849	1750...2100	83...100
28	1149	2400...2900	86...104
35	1449	3050...3650	87...104
с повышенным световым потоком Φ			
24	549	1600...2000	67...83
39	849	2850...3330	73...85
49	1449	4100...4900	84...100
54	1149	4250...5000	79...93
80	1449	5700...7000	71...87

Экономия электроэнергии при использовании ЛЛ типа Т5 достигает 25%. Пульсация светового потока практически отсутствует. Количество ртути Hg в лампах типа Т5 резко снижено по сравнению с ЛЛ в колбах диаметром 26 мм (с 30 до 3...5 мг). Максимальное значение световой отдачи η ЛЛ типа Т5 имеет место при температуре окружающей среды не 22...25°C, как для обычных ЛЛ, а при температуре 35°C, что соответствует реальной температуре ламп во многих светильниках. Выпускают два вида указанных ЛЛ: с максимальной световой отдачей η (мощностью 14, 21, 28, 35 Вт) и с повышенным световым потоком Φ (мощностью 24, 39, 49, 54, 80 Вт).

Маркировка отечественных ЛЛ основана на буквенном обозначении конструктивных признаков. Первая буква *Л* – люминесцентная, следующие буквы обозначают цвет излучения: *Б* – белый, *ТБ* – тепло-белый, *ХБ* – холодный, *Д* – дневной, *Е* – естественно белый, *УФ* – ультрафиолетовый, *К, С, З, Г* – красный, синий, зеленый, голубой. Одна или две буквы *Ц* после обозначения цвета означают хорошее или очень хорошее качество цветопередачи. Далее следуют буквы, обозначающие особенности конструкции лампы: *Р* – рефлекторная, *У* – U-образная, *К* – кольцевая, *Б* – быстрого пуска, *А* – амальгамная. Цифры, стоящие после букв, обозначают мощность в Вт.

Следует отметить следующие *особенности эксплуатации ЛЛ*: включение в сеть только с ПРА²¹ и возможность работы только в ограниченном диапазоне температуры окружающей среды (для большинства ЛЛ рабочий диапазон температуры составляет +5...+50°C). Влажность окружающей среды оказывает влияние на напряжение зажигания ЛЛ (напряжение зажигания имеет максимум при относительной влажности 90...100%). В связи с этим ЛЛ применяются в ос-

²¹ Наиболее экономичными и перспективными являются ЭПРА, которые позволяют повысить световую отдачу, увеличить срок службы ЛЛ, исключить пульсацию светового потока и акустические шумы от светильников, обеспечить возможность регулирования светового потока.

новном для освещения помещений общественных, жилых зданий, промышленных предприятий. Положение горения, как правило, горизонтальное, однако нет оснований опасаться и иных размещений стандартных ЛЛ.

Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). Возможность резкого сокращения размеров и создания КЛЛ появилась в начале 1990-х годов в связи с разработкой редкоземельных люминофоров, хорошо противостоящих разрушительному воздействию плазмы в разрядных трубках малого диаметра.

В зависимости от мощности, напряжения питающей сети и других факторов, длина разрядной трубки КЛЛ может быть достаточно большой. Чтобы приблизиться к размерам нормальных осветительных ЛН, прямую разрядную трубку (канал) многократно изгибают или свивают в спираль. По внешнему виду получается лампа с двумя, четырьмя, шестью и т.д. линейными участками. Концы трубок с вваренными в них катодными узлами закрепляют в пластмассовом цоколе той или иной конструкции.²²

Сравнительные характеристики КЛЛ и ЛН приведены в табл.10.

Таблица 10
Сравнительные характеристики КЛЛ и ЛН [4]

ЛН		КЛЛ		Отношение световой отдачи КЛЛ к световой отдаче ЛН
мощность P , Вт	световой поток Φ , лм	мощность P , Вт	световой поток Φ , лм	
25	200	5	200	5,0
40	420	7	400	5,4
60	710	11	600	4,6
75	940	15	900	4,8
100	1360	20	1200	4,4
2 x 60	1460	23	1500	5,4

²² Число параллельных каналов разрядной трубки КЛЛ, очевидно, имеет предел, ограниченный конструктивными (недопустимое увеличение размера лампы в прицокольной зоне) и технологическими возможностями. Сегодня имеются образцы 16-канальных КЛЛ с диаметром трубки 9 мм [4].

КЛЛ выпускаются с хорошей ($R_a = 80...89$) и отличной ($R_a \geq 90$) цветопередачей. Срок службы – 8...15 тыс.ч. Кроме белых КЛЛ с различной цветовой температурой T_c , выпускаются цветные и ультрафиолетовые лампы (одни из них предназначены для медицинских целей, другие для фотополимеризации пластмасс, клеев и т.п.). Можно считать, что в настоящий момент номенклатура КЛЛ в основном стабилизировалась, хотя и продолжает расширяться [4]:

♦ КЛЛ с выносным ПРА и специальными цоколями (группа А) предназначены для использования в разработанных для них светильниках;

♦ КЛЛ со встроенным ПРА и резьбовыми (байонетными) цоколями (группа Б) предназначены для прямой замены ЛН.

Одним из направлений миниатюризации КЛЛ, предназначенных для прямой замены ЛН, является разработка так называемых *спиральных ламп* (рис.10, табл.11). По форме кривой силы света в двух основных плоскостях эти лампы максимально приближаются к ЛН. Из-за уменьшенной длины такие КЛЛ вписываются в габариты существующих бытовых светильников различного назначения.



Рис.10. Лампа Navigator NCL-SF10 [8]

Отметим *особенности эксплуатации КЛЛ*. Они значительно более критичны к температуре окружающего воздуха $t_{окр}$, чем обычные линейные ЛЛ. Максимум светового потока Φ_{max} у КЛЛ обычно соответствует $t_{окр} = +15...+25^\circ\text{C}$ (в зависимости от типа и положения горения) и устанавливается за 1,5...2 мин с момента включения [4]. Значения $t_{окр}$ для открытой КЛЛ (вне светильника) равно температуре воздуха в помещении; при эксплуатации лампы в светильнике $t_{окр}$ может отличаться от температуры воздуха в помещении на 15...20 $^\circ\text{C}$ в большую сторону. Работа КЛЛ принципиально возможна в любом положении горения (вертикальном, горизонтальном, наклонном).

Таблица 11

Характеристики ламп Navigator NCL-SF10 (диаметр трубки $d = 7$ мм, диаметр лампы – 34 мм, срок службы – 10 тыс. ч) [8]

Лампа	Мощность P , Вт	Цветовая температура T_c , К	Световой поток Φ , лм	Световая отдача η , лм/Вт	Тип цоколя	Длина лампы l , мм
NCL-SF10-07-827 NCL-SF10-07-840	7	2700 4200	392 378	56 54	E14	84
NCL-SF10-09-827 NCL-SF10-09-840 NCL-SF10-09-860	9	2700 4200 6400	507 486 468	56 54 52	E14	91
NCL-SF10-11-827 NCL-SF10-11-840 NCL-SF10-11-860	11	2700 4200 6400	616 594 572	56 54 52	E14, E27	98
NCL-SF10-15-827 NCL-SF10-15-840 NCL-SF10-15-860	15	2700 4200 6400	975 945 915	65 63 61	E14, E27	110

Ртутные лампы высокого давления (РтЛВД) получили широкое распространение, поскольку при помощи ртутного разряда удаётся создавать весьма эффективные источники в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной областях спектра различной мощности, достаточно компактные, со сроком службы в десятки тысяч часов, обладающие весьма высокими яркостями.

РтЛВД представляют собой трубку, большей частью из кварцевого стекла, по концам которой впаяны вольфрамовые электроды. Внутри трубки после тщательного обезгаживания вводится строго дозированное количество ртути Hg и спектрально чистый аргон Ar при давлении 1,5...3 кПа. Аргон Ar служит для облегчения зажигания разряда и защиты электродов от распыления в начальной стадии разгорания лампы, так как при комнатной температуре давление паров ртути очень низкое (около 1 Па). В отдельных типах ламп кварцевая разрядная трубка помещается во внешнюю колбу. Лампы включают в сеть с соответствующими ПРА.

После зажигания дугового разряда происходит нагревание раз-

рядной трубки и испарение ртути Hg . Давление её паров повышается, вместе с тем изменяются все характеристики разряда: растут напряжение на лампе U и мощность P , разряд стягивается в яркий светящийся шнур по оси трубки, растут поток излучения Φ и КПД.

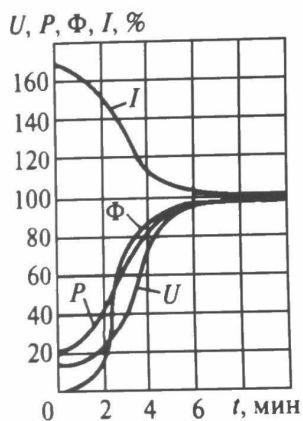


Рис. 11. Типичные кривые разгорания РтЛВД [4]

Этот процесс продолжается в течение 5...7 мин, пока не испарится вся ртуть Hg , после чего все характеристики стабилизируются (рис.11).

Существенным недостатком РтЛВД является *плохая цветопередача*, что ограничивает их область применения медициной, сельским хозяйством, измерительной, светокопировальной техникой. Для наружного освещения, освещения помещений промышленных предприятий высотой 3...5 м, не требующих высокого качества цветопередачи, применяют

ртутно-кварцевые лампы высокого давления с улучшенной цветопередачей (лампы типа ДРЛ). Условное обозначение ламп: Д – дуговая, Р – ртутная, Л – люминесцентная. Цифры после букв соответствуют мощности ламп в Вт, далее в скобках – «красное отношение»²³, цифра через дефис – номер разработки.

Лампы типа ДРЛ представляют собой ртутную горелку в виде трубки из прозрачного кварцевого стекла, смонтированную в колбе из тугоплавкого стекла (рис.12). Для облегчения зажигания разряда горелка кроме двух основных электродов снабжена ещё одним или двумя (так называемыми зажигающими) электродами. Внутренняя поверхность внешней колбы покрыта тонким слоем порошкообразного люминофора. Колба снабжена резьбовым цоколем.

²³ «Красное отношение» – доля светового потока в красной области спектра ($\lambda = 600...780$ нм) к общему световому потоку лампы, %. Им оценивается цвет излучения ламп типа ДРЛ.

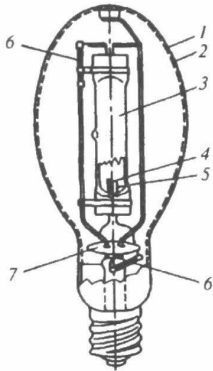


Рис.12. Лампа типа ДРЛ мощностью 400 Вт (конструкция другой мощности аналогична):

- 1 – внешняя стеклянная колба;
- 2 – слой люминофора;
- 3 – разрядная трубка из прозрачного кварцевого стекла;
- 4 – рабочий электрод;
- 5 – зажигающий электрод;
- 6 – ограничительные резисторы в цепи зажигающих электродов;
- 7 – экран

Принцип действия основан на преобразовании ультрафиолетового излучения ртутного разряда высокого давления, составляющего около 40% всего потока излучения, при помощи люминофора в недостающее излучение в красной части спектра. Качество исправления цветопередачи ламп типа ДРЛ определяется относительным содержанием красного излучения ($\lambda = 600...780$ нм). Однако указанное качество у ламп типа ДРЛ намного хуже, чем, например, у ЛЛ (табл. 12).

Таблица 12

Основные параметры ламп типа ДРЛ с эллипсоидной внешней оболочкой, покрытой люминофором [4]

Мощность лампы, P, Вт	Размеры, мм		Тип цоколя	Лампы		
	диаметр колбы	длина лампы		стандартные	с улучшенной цветопередачей*	с особо улучшенной цветопередачей**
				$R_a = 40...59$ $T_c \sim 4000$ К	$R_a = 40...59$ $T_c \leq 3300$ К	$R_a = 60...69$ $T_c \sim 3300$ К, 4200 К
Световой поток Φ , лм						
50	55...56	130	E27	1800	1900...2000	1600...2000
80	70...71	156...166	E27	3700...3800	3600...4000	3000...4000
125	75...76	170...178	E27	5900...6300	6200...6700	5700...6800
250	90...91	226...228	E40	12700...13000	13500...14200	–
400	120...122	290...292	E40	22000...23500	24000...24200	–
700	140...152	330...357	E40	38500...42000	–	–
1000	165...167	390...411	E40	58000...59000	–	–

Примечание к табл. 12. * – красное отношение около 10%; ** – красное отношение 12...15%.

Положение горения допускается любое. Однако при горизонтальном положении дуга в горелке из-за конвекционных потоков слегка выгибается кверху, что приводит к небольшому снижению мощности и световой отдаче. Срок службы при этом из-за перегрева кварцевого стекла в верхней части горелки несколько снижается.

Рабочая температура центральной части внешней колбы – от 220 до 280° С. *Температура горелки* достигает 700...750° С.

Температура окружающей среды $t_{окр}$ влияет на напряжение зажигания. При отрицательных $t_{окр}$ давление паров ртути *Hg* становится настолько малым, что зажигание разряда происходит в чистом аргоне *Ar* и требуется более высокое напряжение, чем при наличии паров ртути *Hg*. Для надёжного зажигания ламп в условиях низких $t_{окр}$ (ниже - 30°С) необходимо применять импульсное зажигающее устройство. На рабочие характеристики ламп благодаря наличию внешних колб $t_{окр}$ оказывает незначительное влияние: при изменении $t_{окр}$ от + 20 до - 30°С световой поток Φ падает на 5%. Излишнее повышение $t_{окр}$, например, при работе в жарких цехах, в закрытых световых приборах, вызывает перегрев внешней колбы и цоколя, что в условиях повышенной влажности и вредных испарений ускоряет окисление и коррозию металлических деталей (возможен также отвал цоколя, если он прикреплён к колбе при помощи мастики).

Пульсация светового потока происходит с двойной частотой сети (см. *рис.8*). При работе в сети с частотой $f = 50$ Гц в схеме со стандартным дросселем коэффициент пульсации K_n лампы составляет 63...74%. При этой частоте пульсации на глаз незаметны, но при наличии вращающихся деталей машин они могут вызвать опасный стробоскопический эффект. Пульсации суммарного потока могут быть уменьшены при включении ламп в разные фазы трёхфазной сети.

Срок службы – 12...20 тыс. ч, который с увеличением числа включений уменьшается. В процессе работы лампы происходит постепенное снижение светового потока Φ и «красного отношения». На *рис.13* приведена усредненная кривая спада светового потока Φ

ламп типа ДРЛ, типичная для всех РтЛВД. Скорость спада у мало-мощных (100...125 Вт) и мощных (1000...2000 Вт) ламп больше, чем у ламп мощностью 250 и 400 Вт.

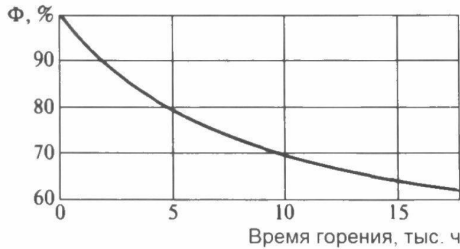


Рис.13. Относительное снижение светового потока Φ ламп типа ДРЛ 400 в процессе горения в схеме с индуктивным балластом [4]

В настоящее время ДРЛ ещё остаются довольно широко распространённым источником света в уличных и промышленных осветительных установках. Однако мировая практика показывает, что доля производства ДРЛ в общей массе источников света высокой интенсивности постоянно снижается из-за малой световой отдачи и плохой цветопередачи, также пропорционально снижается и спрос на них. ДРЛ все чаще заменяют на металлогалогенные или натриевые лампы высокого давления.

Металлогалогенные лампы (МГЛ) появились в начале 1960-х годов. Светящимся телом МГЛ является плазма дугового электрического разряда. Газовая среда наполнения разрядной колбы (горелки): инертный газ (как правило, аргон Ar), ртуть Hg и галогениды некоторых металлов (соединения с йодом I , бромом Br , хлором Cl)²⁴.

Принцип действия МГЛ основан на том, что галогениды многих металлов испаряются легче, чем сами металлы, и не разрушают кварцевое²⁵ стекло горелки. В холодном состоянии галогениды в виде тонкой плёнки конденсируются на стенках колбы. После зажигания разряда, когда достигается рабочая температура горелки, галогениды металлов частично переходят в парообразное состояние.

²⁴ В МГЛ общего освещения применяют следующие составы галогенидов: 1) иодиды натрия NaI , таллия TlI и индия InI ; 2) иодиды натрия NaI , скандия ScI_3 и тория ThI_4 .

²⁵ Изготавливают также МГЛ с горелкой из высокотемпературной керамики.

Попадая в центральную зону разряда с температурой в несколько тысяч градусов Кельвина, молекулы галогенидов диссоциируют на галоген и металл. Атомы металла возбуждаются и излучают характерные для них спектры. Диффундируя за пределы разрядного канала и попадая в зону с более низкой температурой вблизи стенок горелки, они воссоединяются с галогенами, образуя галогениды, которые вновь испаряются.

Описанный замкнутый цикл обеспечивает два принципиальных преимущества:

- ♦ в разряде создаётся достаточная концентрация атомов металлов, дающих требуемый спектр излучения, потому что при рабочей температуре кварцевой горелки 800...900°С давление паров галогенидов многих металлов значительно выше, чем самих металлов, таких как таллий *Tl*, индий *In*, скандий *Sc* и др.;

- ♦ появляется возможность вводить в разряд щелочные (натрий *Na*, литий *Li*, цезий *Cs*) и другие агрессивные металлы (например, кадмий *Cd*, цинк *Zn*), которые в чистом виде вызывают весьма быстрое разрушение кварцевого стекла при температурах выше 300...400°С, а в виде галогенидов не вызывают такого разрушения. Применение галогенидов резко увеличило число химических элементов, используемых для генерации излучения, что позволило создать МГЛ с весьма разнообразными спектрами, особенно в случае использования смеси галогенидов. Пары ртути *Hg* играют роль буфера, обеспечивая высокую температуру в разряде, высокий градиент потенциала, малые тепловые потери и др.

Основные характеристики современных МГЛ: светоотдача η – до 100...120 лм/Вт, высокое качество цветопередачи, срок службы – до 10...12 тыс. ч и более, малое время разгорания и перезажигания, компактность.

Для общего освещения применяют МГЛ *типа ДРИ*. Условное обозначение ламп: Д – дуговая, Р – ртутная, И – с излучающими добавками, число после букв – номинальная мощность в Вт, цифры

после дефиса – номер разработки или модификации.

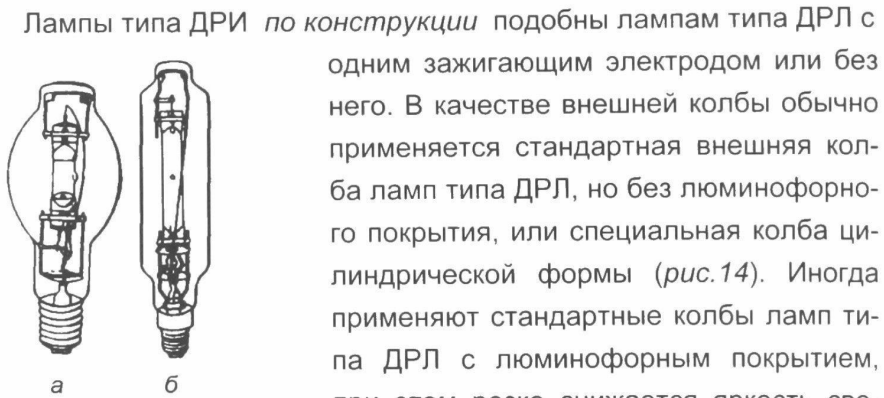


Рис.14. Общий вид ДРИ: а – лампа 400 Вт в эллипсоидальной прозрачной колбе; б – лампа 2000 Вт в цилиндрической прозрачной колбе [4]

Лампы типа ДРИ по конструкции подобны лампам типа ДРЛ с одним зажигающим электродом или без него. В качестве внешней колбы обычно применяется стандартная внешняя колба ламп типа ДРЛ, но без люминофорного покрытия, или специальная колба цилиндрической формы (рис.14). Иногда применяют стандартные колбы ламп типа ДРЛ с люминофорным покрытием, при этом резко снижается яркость светящего тела (например, с 700 до 11 кд/см² у МГЛ мощностью 400 Вт). Эти лампы можно использовать в световых приборах для ламп типа ДРЛ. Основные параметры МГЛ приведены в табл.13.

Положение горения значительно влияет на параметры ламп типа ДРИ, особенно с добавками иодидов натрия *NaI*, таллия *TlI* и индия *InI*. Обычно световой поток Φ в горизонтальном положении на 15...18% ниже, чем в вертикальном; цветовая температура T_c , наоборот, повышается. При изменении положения горения все параметры стабилизируются спустя несколько часов работы. Трубчатые лампы мощностью больше 1000 Вт ввиду тяжёлого теплового режима рассчитаны на одно определённое положение горения. Некоторые типы МГЛ выпускаются в нескольких модификациях, каждая из которых рассчитана на одно определенное положение горения, так как при этом удается оптимизировать тепловой режим горелки и повысить световую отдачу и срок службы МГЛ.

Температура окружающей среды $t_{окр}$ влияет на параметры МГЛ типа ДРИ так же, как и в лампах типа ДРЛ. При использовании импульсного зажигающего устройства (ИЗУ) повышение напряже-

Таблица 13

Параметры МГЛ с кварцевой горелкой [4]

Мощность лампы P , Вт	Размеры, мм		Тип цоколя	Световой поток Φ , клм		
	диаметр d	полная длина l		$T_u \sim 3000$ K $R_a = 80$	$T_u \geq 4000$ K $R_a = 60 \dots 69$	$T_u > 5000$ K $R_a = 90 \dots 100$
<i>с эллипсоидной прозрачной внешней оболочкой</i>						
70	54...55	138...144	E27	4,7...6,3	5,2...5,4	–
100	54...55	138...144	E27	8,5...9,2	7,8	–
150	54...55	138...144	E27	12,0...13,5	11,4...12,5	–
250	90...91	227	E40	–	22,5	–
400	120	285	E40	–	42,0	–
<i>с эллипсоидной светорассеивающей внешней оболочкой (с люминофорным слоем)</i>						
70	54...71	38...156	E27	4,9...6,0	4,9...5,2	–
100	54...75	138...186	E27	8,0...8,7	7,3	–
150	54...91	138...230	E27, E40	12,0...13,5	10,5...12,2	–
250	90...91	226...227	E40	23,5...24,5	19,0...19,5	–
400	120...122	284...290	E40	40,0	35,0...40,0	24,0...31,0
<i>с цилиндрической прозрачной внешней колбой</i>						
250	46...47	220...257	E40	–	19,0...21,0	19,0...20,0
400	46...47	260...286	E40	–	35,0...39,0	35,0
1000	66...76	340...382	E40	–	85,0	80,0
2000	100...102	430	E40	–	189,0...240,0	180,0

ния зажигания с понижением $t_{окр}$ не влияет на зажигание, так как ИЗУ даёт импульс напряжения с запасом.

Напряжение сети U_c оказывает на характеристики ламп типа ДРИ более сильное влияние, чем на ДРЛ. С ростом U_c цветовая температура T_u падает.

Пульсация светового потока в МГЛ типа ДРИ существенно ниже, чем в лампах типа ДРЛ, и составляет около 30%.

Срок службы ламп типа ДРИ составляет 7,5...12 тыс. ч. Снижение светового потока Φ в процессе эксплуатации больше, чем у ДРЛ.

Натриевые лампы высокого давления (НЛВД) обладают самой высокой световой отдачей η среди известных разрядных ламп и незначительным снижением светового потока Φ при дли-

тельном сроке службы. Недостатком ламп являются низкое качество цветопередачи и глубокая пульсация излучения. Широко применяются в разных системах освещения, особенно в наружном освещении. Их создание стало возможным только в 1960-х годах после разработки и освоения технологии производства светопропускающего высокотемпературного материала для разрядной трубки, устойчивого к длительному воздействию агрессивных паров натрия *Na*.

НалВД содержат смесь паров натрия *Na* и ртути *Hg* при высоком давлении²⁶, а также ксенон *Xe* (для уменьшения напряжения зажигания иногда используют смесь *Ne* + 0,5% *Ar*, однако при этом на 25% снижается световая отдача η лампы). Основным рабочим веществом (излучение, электроны, ионы) является натрий *Na*; ртуть *Hg* вводится в качестве буферного газа для повышения температуры разряда, градиента потенциала в столбе разряда и снижения тепловых потерь. Сегодня фирма *Philips* освоила выпуск безртутных ламп.

НалВД представляет собой цилиндрическую разрядную трубку, смонтированную в вакуумированной внешней колбе (рис. 15). Раз-

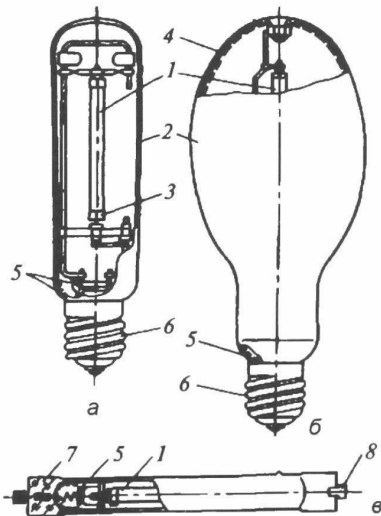


Рис. 15. Общий вид НалВД [4]:

- а – в прозрачной колбе;
- б – в светорассеивающей;
- в – в софитном исполнении;
- 1 – разрядная трубка (горелка);
- 2 – стеклянная внешняя колба;
- 3 – теплоотражающий экран;
- 4 – светорассеивающее покрытие;
- 5 – газопоглотитель;
- 6 – цоколь резьбовой;
- 7 – кварцевая внешняя колба;
- 8 – цоколь специальный

²⁶ Рабочее давление паров натрия 4...14 кПа, соотношение парциальных давлений паров натрия и ртути 1:10...1:20.

рядная трубка (горелка) изготавливается из особо чистого оксида алюминия Al_2O_3 в виде диффузно пропускающей свет поликристаллической керамики²⁷(поликор, люкор) либо в виде прозрачного трубчатого кристалла (лейкосапфир). Эти материалы устойчивы к длительному воздействию паров натрия Na при температуре до $1600^\circ C$, механически прочные, имеют общий коэффициент пропускания видимого излучения 90...95%. Натрий Na и ртуть Hg вводятся в НаЛВД в виде амальгамы (сплава) с атомным содержанием натрия Na 65...75%. Внешняя колба выполняется либо из стекла вольфрамовой группы (лампы с цилиндрической и эллипсоидной внешней колбой), либо из кварца (лампы софитного исполнения). Внешняя колба вакуумирована, давление в колбе (не выше 0,01 Па) поддерживается в течение всего срока службы при помощи газопоглотителя.

Зажигание осуществляется специальным устройством, подающим на лампу высоковольтный высокочастотный импульс с амплитудой 2...4 кВ. Время разгорания лампы – 5...7 мин и определяется скоростью нагрева лампы и испарения натрия Na и ртути Hg . По мере разгорания спектр излучения меняется от монохроматического жёлтого до нормального уширенного, соответствующего установившимся рабочим параметрам. Время повторного зажигания погасшей лампы определяется временем остывания разрядной трубки до температуры, при которой подаваемые импульсы напряжения достаточны для повторного зажигания разряда, и составляет 2...3 мин.

В отечественной номенклатуре существует ряд типов НаЛВД:

♦ДНаТ – дуговая, натриевая, с трубчатой (или эллипсоидной) прозрачной колбой;

♦ДНаС – дуговая, натриевая, с эллипсоидной колбой, светорассеивающая (на колбу ДРЛ нанесён люминофорный слой);

♦ДНаМт – дуговая, натриевая, с эллипсоидной колбой, мати-

²⁷ Для диффузного пропускания характерно равномерное распределение пропущенного светового потока во всех направлениях внутри телесного угла $2\cdot\pi$.

рованная (на колбу ДРЛ нанесён диффузно рассеивающий слой белого пигмента);

♦ДНаЗ – дуговая, натриевая, с зеркализированной колбой.

Основные характеристики современных НЛВД: светоотдача η – 66...150 лм/Вт (табл.14); срок службы – 12...28 тыс. ч, причём при непрерывном горении срок службы на 30% больше, чем при циклическом (10-часовом). Лампы отличает высокая стабильность светового потока Φ в течение срока службы: спад потока – не более 15...20% за 10 тыс. ч горения. Цвет излучения имеет золотисто-белый оттенок, $T_c = 1900...2100$ К, $R_a \approx 23$. Цветовая температура и индекс цветопередачи могут быть повышены за счёт увеличения давления паров натрия Na и, частично, небольшого увеличения

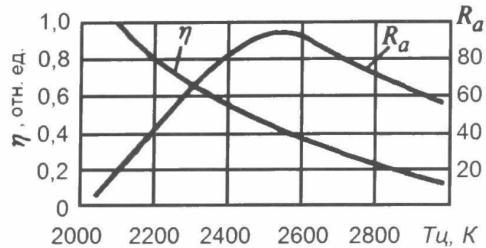
Таблица 14

Параметры НЛВД различных типов ламп [4]

Мощность лампы P, Вт	Полная длина l, мм	Тип цоколя	Световой поток Φ , клм		
			Лампы		
			стандартные	с повышенной световой отдачей	с улучшенной цветопередачей
<i>с эллипсоидной светорассеивающей внешней колбой</i>					
50	156	E27	3,3...3,5	–	–
70	156	E27	5,6...5,8	–	–
100	186...211	E40	9,2	10,0	–
150	226	E40	14,0	17,0	12,5
250	226	E40	26,0	32,0	22,0
400	282...290	E40	47,0	54,0	37,0
1000	372...400	E40	120,0...128,0	–	–
<i>с цилиндрической прозрачной внешней колбой</i>					
50	156	E27	3,4	4,4	–
70	156	E27	6,0	6,5	–
100	211	E40	9,6	10,0	–
150	211...227	E40	15,0	17,5	13,0
250	227...260	E40	27,0	33,0	23,0
400	285	E40	50,0	56,0	38,0
600	285	E40	–	90,0	–
750	292	E40	–	112,0	–
1000	372...400	E40	130,0	–	–

диаметра разрядной трубки, но при этом неизбежно происходит заметное снижение световой отдачи (рис.16) и срока службы. Среди

Рис.16. Зависимость световой отдачи η и общего индекса цветопередачи R_a от цветовой температуры T_u излучения натриевого разряда высокого давления [4]



НалВД с улучшенными цветопередающими свойствами установились два типа ламп [4]:

- ♦ с $R_a \sim 60...70$, $T_u = 2200$ К и световой отдачей η на 15...20% ниже по сравнению со стандартными НалВД соответствующей мощности;

- ♦ с $R_a \sim 85$, $T_u = 2500...2800$ К и ещё более низкими световой отдачей η (около 50 лм/Вт) и сроком службы.

Положение горения НалВД – любое.

Напряжение сети U_c оказывает довольно заметное влияние на световые и электрические параметры ламп (рис.17). Длительная эксплуатация НалВД при отклонениях U_c более чем на 5% от номинального значения приводит к сокращению службы ламп.

Температура окружающей среды $t_{окр}$ слабо влияет на характеристики НалВД, они могут работать при $t_{окр}$ от - 60 до + 40°С. Перегрев НалВД недопустим, максимальная температура внешней стеклянной колбы 350...400°С, а цоколя 150...200°С.

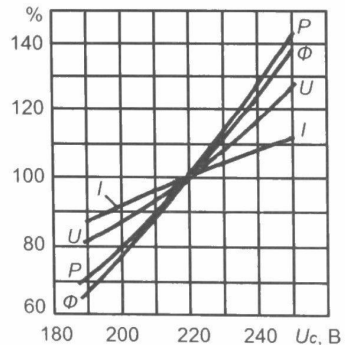


Рис.17. Зависимость мощности P , светового потока Φ , напряжения на лампе U , тока I от напряжения сети U_c [4]

Пульсация светового потока при работе НалВД на переменном токе промышленной частоты значительна (около 70%).

1.1.5. Светодиодные лампы (СДЛ)

Светодиодное освещение – одно из перспективных направлений искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов (светоизлучающих диодов) в качестве источников света. Использование СДЛ в освещении уже занимает 6% мирового рынка (по данным 2006 г.).

СДЛ – наиболее «молодые» источники света, принципиально отличающиеся от тепловых или разрядных излучателей. Развитие светодиодного освещения непосредственно связано с технологической эволюцией светодиодов (СД).

СД – полупроводниковый прибор, излучающий свет при пропускании через него электрического тока. Генерация света в СД происходит за счёт энергии, выделяемой при рекомбинации носителей тока – электронов и дырок – на границе полупроводниковых материалов с разным характером проводимости. Характер проводимости определяется не только самим материалом, но и легирующими веществами, вводимыми в основной материал. Материал, у которого в результате легирования проводимость определяется в основном избытком электронов, называется «полупроводником типа n », материал с недостатком электронов (то есть с избытком положительно заряженных ионов, так называемых «дырок») называется «полупроводником типа p » (рис. 18).

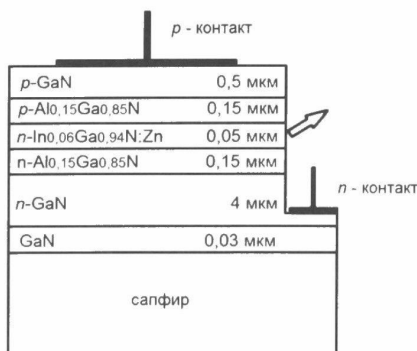
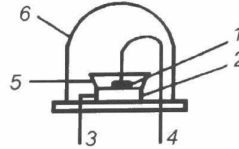


Рис. 18. Структура кристалла СД [4]

На границе таких материалов образуется $p-n$ -переход. При подаче напряжения прямой полярности («минус» – к материалу с электронной проводимостью n , «плюс» – к материалу с дырочной проводимостью p) через переход пойдёт ток, а при рекомбинации электронов и дырок будет выделяться энергия.

Типовая конструкция наиболее массовых СД приведена на *рис.19*. Излучение генерируется в кристалле *1* и в *p-n* – переходе

Рис.19. Типовая конструкция СД:
1 – кристалл; 2 – кристаллодержатель;
3, 4 – электроды, 5 – отражатель,
6 – корпус [4]



между кристаллом *1* и кристаллодержателем *2*, к которым через электроды *3* и *4* подводится напряжение соответствующей полярности. С помощью отражателя *5* боковое излучение направляется вдоль оптической оси СД. Кристалл *1*, кристаллодержатель *2*, электроды *3*, *4*, отражатель *5* залиты прозрачным полимером с максимально высоким коэффициентом преломления (эпоксидной смолой или поликарбонатом) с образованием корпуса *6*. Купол выполняет функцию линзы, фокусирующей излучаемый поток в определённом телесном угле.

Историческая справка. Впервые свечение на границе металла и полупроводникового материала (карбида кремния *SiC*) наблюдал русский инженер О.В. Лосев в 1923 г. Позднее (в 1939 г.) он дал физическое объяснение этому явлению. Считается, что первый в мире практически применимый СД, излучающий в видимом (красном) диапазоне спектра, разработал в 1962 г. Ник Холоньяк (США). В конце 1960-х гг. появились СД с зелёным, а затем с жёлтым цветом излучения. В 1994 г. были созданы СД с синим цветом излучения ($\lambda = 470$ нм). Появление белых СД с люминофорами²⁸ в 1996 г. превратило СД из индикаторных элементов в источники света в прямом смысле этого понятия. Сегодня

²⁸ Белое излучение получили за счет преобразования синего света ($\lambda = 470$ нм) в более длинноволновое с помощью люминофоров. Сегодня белое излучение СД получают либо с помощью люминофоров, преобразующих коротковолновое излучение (включая ультрафиолетовое) в более длинноволновое, либо за счёт аддитивного смешивания при помощи оптической системы (например, линз) излучения от плотно размещённых на матрице красных, голубых и зелёных СД. Наиболее простой и дешёвый – введение люминофора, излучающего жёлтый свет, в состав полимерного корпуса синих СД [4].

цветность излучения СД – практически любая. По оценкам специалистов, к 2020 г. световая отдача η белых СД может достигнуть 200 лм/Вт, а её теоретический предел – 300 лм/Вт [4].

Бурное развитие производства СД и их широкое внедрение в светотехнику обусловлено рядом их несомненных достоинств [4]:

- ◆ исключительно высокой надёжностью;
- ◆ большим сроком службы (до 100 тыс. ч);
- ◆ малыми габаритами;
- ◆ отсутствием необходимости во внешних оптических элементах (линзах, рассеивателях, отражателях) для большинства случаев применения;
- ◆ высоким коэффициентом использования светового потока (близким к 100%);
- ◆ высокой устойчивостью к механическим нагрузкам (ударам, вибрациям, линейным ускорениям);
- ◆ способностью работать в широком диапазоне температур (от - 55 до + 85°С);
- ◆ электрической безопасностью (не требуются высокие напряжения);
- ◆ экологичностью (отсутствие ртути *Hg* и других вредных веществ) и, следовательно, лёгкостью утилизации;
- ◆ низкой инерционностью;
- ◆ простотой схем включения и управления.

Основным недостатком СД является их малая единичная мощность. Сегодня рядом фирм, в том числе и российских, производятся многокристалльные СД (так называемые «светодиодные лампы»), в которых для увеличения мощности на одной подложке смонтировано несколько кристаллов, соединённых последовательно²⁹ или последовательно-параллельно (рис.20). Однако при увеличении мощности СДЛ возникает необходимость в отводе тепла от них, по-

²⁹ Последовательное включение большого числа элементов резко снижает их надёжность.

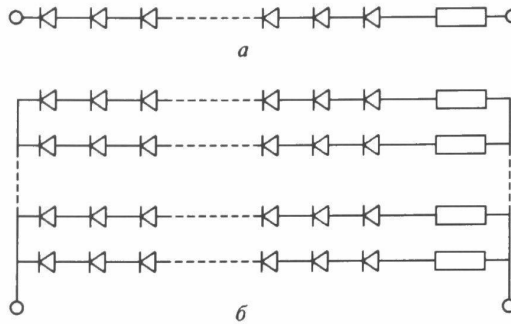


Рис.20. Варианты группового включения СД:
а – последовательное, б – последовательно-
параллельное [4]

сколькo с ростом температуры световая отдача η снижается. В связи с этим появились светодиодные светильники с собственными радиаторами в виде фланцев, крепёжных винтов и др.

На практике СДЛ подключают только к источнику *постоянного напряжения* (8, 12, 24, 36, 48 В), поскольку при включении в сеть переменного тока промышленной частоты ($f = 50$ Гц) с напряжением 220 В в отличие от ЛЛ и других РЛ частота пульсаций СДЛ составит не 100, а 50 Гц. Кроме того, глубина пульсаций светового потока при питании СДЛ переменным током равна 100%. Большинство фирм-производителей СДЛ производит и блоки питания для них либо изготавливает СДЛ со встроенными блоками питания. Такие блоки представляют собой преобразователи сетевого напряжения (например, 220 В, 50 Гц) в постоянное напряжение, от которых питаются параллельно-последовательные цепочки СД.

Если совсем недавно основной областью применения СД были светосигнальные устройства (сигналы торможения и габаритные огни автомобилей, уличные и железнодорожные светофоры, знаки безопасности), то сегодня выпускают СДЛ как для наружного освещения (светильники, прожекторы), так и для освещения помещений промышленных, административно-бытовых, общественных и жилых зданий (рис.21 – 24).

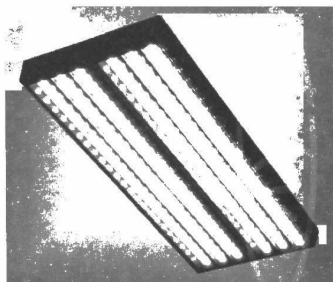


Рис.21. Уличный светодиодный светильник УСС-150М, предназначен для замены светильников с использованием ламп типа ДРЛ400: потребляемая мощность – 150 Вт; мощность СДЛ – 145 Вт; встроенный блок питания; световой поток – 11500 лм; размеры: 820 x 350 x 65 мм, масса – не более 17 кг; температура эксплуатации: – 63...+40° С; срок службы – не менее 100 тыс.ч [9]

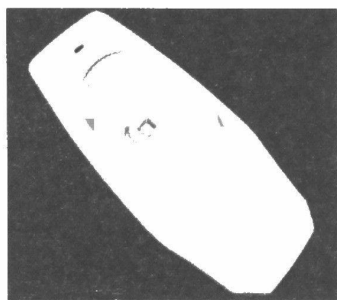


Рис.22. Прожектор уличного освещения JB720LD100W,; мощность СДЛ – 100 Вт; встроенный блок питания; световой поток – 8000 лм; размеры: 720 x 324 / 228 x 172 мм, масса – 9,56 кг; температура эксплуатации: – 40...+60° С; $Ra > 80$; срок службы – свыше 50 тыс. ч [10]

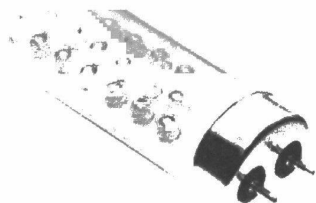


Рис.23. СДЛ G13 T8. Модель УНИПРО-120, предназначена для замены прямых трубчатых ЛЛ типа Т8: количество светодиодов – 280; мощность матрицы – 17 Вт; встроенный блок питания; световой поток – 1750 лм; размеры: Ø 26 x 1200 мм, цоколь G13, масса – 500 г; температура эксплуатации: – 20...+40° С; срок службы – свыше 50 тыс.ч [11]

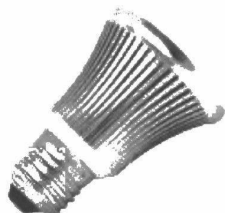


Рис.24. СДЛ. Модель ЛМС-7-9, предназначена для замены ЛН и КЛЛ: количество светодиодов – 9; мощность матрицы – 9 Вт; встроенный блок питания; световой поток – 900 лм; цветовая температура: 5500 К; цоколь E27, размеры: Ø 64,6 x 102 мм, срок службы – до 100 тыс.ч [12]

1.2. Нормируемые параметры искусственного освещения

Для оценки совершенства искусственного освещения в соответствии с действующими строительными нормами и правилами СНиП 23-05-95* предусмотрены светотехнические параметры количественного и качественного характера.

К нормируемым количественным параметрам относится **освещённость E** на рабочем месте – плотность светового потока на освещаемой поверхности; измеряется в *люксах* (лк). Определяется как отношение светового потока $d\Phi$ (лм), равномерно падающего на освещаемую поверхность, к её площади dS (m^2):

$$E = \frac{d\Phi}{dS}, \text{ лк.} \quad (8)$$

Световой поток Φ , падающий на поверхность, частично отражается³⁰ от неё. Способность поверхности отражать падающий на неё световой поток Φ характеризуется *коэффициентом отражения* ρ , определяемый соотношением отражённого $\Phi_{отр}$ и падающего Φ потоков:

$$\rho = \frac{\Phi_{отр}}{\Phi}. \quad (9)$$

Коэффициент отражения ρ во многом определяется цветом поверхности (табл. 15).

Таблица 15

Значения коэффициента отражения ρ

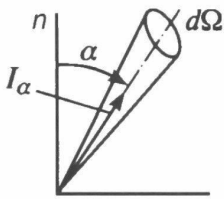
Цвет поверхности	Коэффициент отражения ρ	Цвет поверхности	Коэффициент отражения ρ
1	2	3	4
Белый	0,90	Серый светлый	0,75
Жёлтый светлый	0,75	Серый средний	0,55
Жёлтый средний	0,65	Серый тёмный	0,30

³⁰ **Отражением** называется возвращение излучения объектом без изменения длин волн λ составляющих его монохроматических излучений.

Продолжение табл.15

1	2	3	4
Зелёный светлый	0,65	Синий светлый	0,55
Зелёный средний	0,52	Синий тёмный	0,13
Зелёный тёмный	0,10	Коричневый тёмный	0,10
		Чёрный	0,07

Световой поток $d\Phi_{omp}$, отражённый поверхностью в направлении α , распространяется и равномерно распределяется в пределах некоторого телесного угла $d\Omega$. При этом пространственная



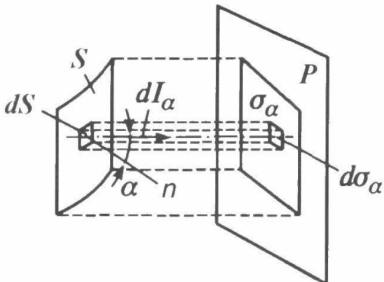
плотность отражённого светового потока или сила света поверхности в направлении α (рис.25)

$$I_\alpha = \frac{d\Phi_{omp}}{d\Omega}, \text{ кд}. \quad (10)$$

Рис.25. К определению силы света [4]

За направление I_α принимают ось телесного угла $d\Omega$, ориентированную углом α к нормали n . Единица измерения I_α кандела (кд).

Величина силы света в направлении α , отнесённая к площади



отражающей поверхности на плоскость, перпендикулярную направлению α , называют яркостью поверхности в направлении α (рис.26)

$$L_\alpha = \frac{dI_\alpha}{dS \cdot \cos \alpha}, \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}; \quad (11)$$

Рис.26. К определению яркости поверхности [4]

$$\bar{L}_\alpha = \frac{I_\alpha}{\sigma_\alpha}, \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}, \quad (12)$$

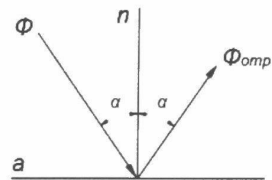
где L_α, \bar{L}_α – яркости участка поверхности площадью dS и поверхности площадью S в направлении α соответственно, $\text{кд}/\text{м}^2$;

dI_α, I_α – силы света поверхностей площадью dS и площадью S в направлении α соответственно, кд;

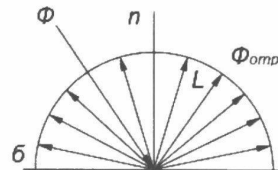
σ_α – площадь проекции поверхности площадью S на плоскость, перпендикулярную направлению α , m^2 .

Различают следующие виды отражений (рис.27):

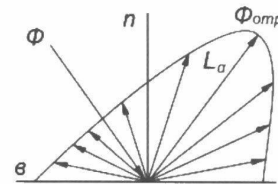
♦ *направленное (зеркальное)* без рассеяния отражённого светового потока, подчиняется законам геометрической оптики. Характерно для гладких и полированных поверхностей, неровности которых малы относительно длины падающего света;



♦ *равномерно-диффузное*, при котором отражённый световой поток рассеивается так, что его яркость во всех направлениях полупространства одинакова. Характерно для матовых и шероховатых поверхностей с беспорядочными микронеровностями, размеры которых соизмеримы с длиной волны падающего света или превышают её;



♦ *направленно-рассеянное*, при котором яркость отражающей поверхности различна в разных направлениях, максимальная яркость наблюдается в направлении зеркального отражения. Направленно-рассеянным отражением обладают глянцевая бумага, матированный (травленный) металл, крашенные поверхности;



♦ *смешанное*, при котором наблюдается частично зеркальное, частично направленно-рассеянное отражение. Смешанное отражение создают фарфоровая эмаль и слабо матированные поверхности.

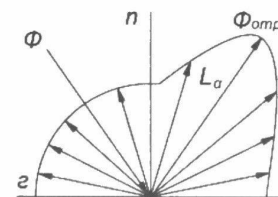


Рис.27. Виды отражений света: а – направленное, б – равномерно-диффузное; в – направленно-рассеянное; г – смешанное [13]

Светлая окраска потолка, стен, мебели, оборудования способствует увеличению освещённости E на рабочих местах за счёт луч-

шего отражения и созданию более равномерного распределения яркостей в поле зрения. В этом случае увеличивается коэффициент использования осветительной установки $KПД_{ОУ}$, который зависит от типа источника света и светильника, геометрии помещения, коэффициентов отражения и параметров шероховатости окружающих поверхностей и приближённо может быть рассчитан как [14]

$$KПД_{ОУ} = \frac{\Phi_{пол}}{\Phi_{сум}}, \quad (13)$$

где $\Phi_{пол}$ – световой поток, обеспечивающий горизонтальную освещённость по всей площади помещения, лм;

$\Phi_{сум}$ – суммарный стандартный световой поток применённых ламп, лм.

$$\Phi_{пол} = \bar{E} \cdot F_n, \quad лм, \quad (14)$$

где \bar{E} – среднее значение освещённости по площади помещения, лк;

F_n – площадь помещения, м².

К нормируемым качественным параметрам относится **коэффициент пульсации освещённости K_n , %** – критерий относительной глубины колебаний освещённости в результате изменения во времени светового потока Φ ламп при питании их переменным током, рассчитывается по формуле (7).

1.3. Измерение нормируемых параметров искусственного освещения

Для измерения освещённости E , создаваемой различными источниками света, применяют приборы, называемые **люксметрами** (от лат. *lux* – свет и ...метр).

Простейший люксметр состоит из *селенового фотоэлемента* и соединённого с ним *стрелочного микроамперметра* со шкалами, проградуированными в люксах. Действие прибора основано на явлении фотоэлектрического эффекта. Световой поток Φ , попадая на фотоэлемент, вызывает протекание фототока через микроам-

перметр. Разные шкалы микроамперметра соответствуют различным диапазонам измеряемой освещённости; переход от одного диапазона к другому осуществляют с помощью переключателя, изменяющего сопротивление электрической цепи. Для увеличения пределов измерения люксметр снабжён *поглотителями* с различной кратностью уменьшения светового потока. Измерение высокого уровня освещённости производится с наложенным на фотоэлемент поглотителем. Освещённость E определяется как произведение показания люксметра на коэффициент кратности поглотителя, с учётом диапазона измерений.

Кривые относительной спектральной чувствительности селенового фотоэлемента и среднего человеческого глаза неодинаковы; поэтому показания люксметра зависят от спектрального состава излучения. Обычно приборы градуируются для ламп накаливания, и при измерении простыми люксметрами освещённости, создаваемой излучением иного спектрального состава, применяют поправочные коэффициенты. *Погрешность измерений простейшими люксметрами* – не менее 10% от измеряемой величины.

Люксметры более высокого класса оснащаются корректирующими светофильтрами, в сочетании с которыми спектральная чувствительность фотоэлемента приближается к чувствительности глаза; насадкой для уменьшения ошибок при измерении освещённости, создаваемой косо падающим светом; контрольной приставкой для проверки чувствительности прибора. *Точность измерений лучшими люксметрами* – порядка 1%.

Имеются модели люксметров с приспособлениями для измерения коэффициента пульсации освещённости K_p . **Люксметр-пульсометр** определяет максимальное E_{max} , минимальное E_{min} и среднее значения E_{cp} освещённости пульсирующего излучения и рассчитывает значение коэффициента пульсаций K_p . Отсчёт освещённости E (лк) и коэффициента пульсации K_p (%) ведётся одновременно по цифровому табло индикаторного блока прибора.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Лабораторная установка БЖ 1

Лабораторная установка БЖ 1 обеспечивает возможность изучения эффективности и качества освещения, создаваемого различными электрическими источниками света (рис.28).

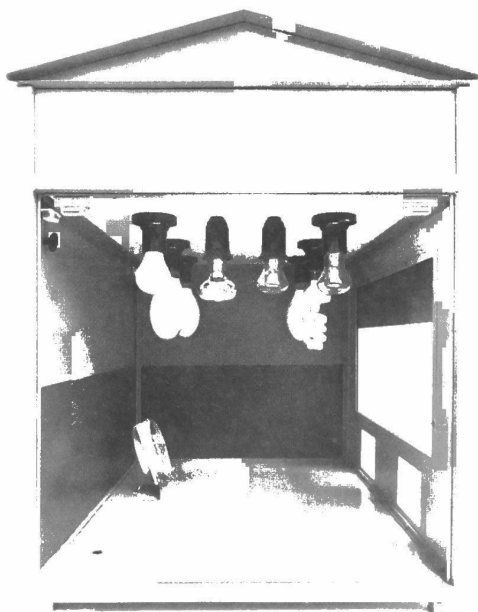


Рис.28. Лабораторная установка БЖ 1

Установка представляет собой модель прямоугольного помещения с площадью пола $S_n = 0,418 \text{ м}^2$. В передней части установки имеется прозрачная несъемная стенка. Боковые и задняя стенки – съемные, фиксируются в проёмах каркаса магнитными защёлками. Эти стенки окрашены с одной стороны в светлые тона, с другой – в более тёмные, что позволяет моделировать различные цветовые решения стенок помещения.

В верхней части передней стенки установки – на панели (далее – панель управления) размещены (рис.29):

- ◆ выключатель питания установки;
- ◆ органы управления вентилятором, расположенным внутри модели помещения на полу;
- ◆ выключатели ламп.

Вентилятор с регулируемой частотой вращения крыльчатки служит для демонстрации стробоскопического эффекта и регулирования температурного режима внутри установки.



Рис.29. Панель управления лабораторной установки БЖ 1

В нижней части передней стенки установки выполнены два прямоугольных отверстия, через которые вводится фотометрическая головка люксметра-пульсометра для замеров освещённости E и коэффициента пульсации освещённости K_p .

На потолке модели помещения смонтировано восемь ламп различной конструкции (табл.16). Схема размещения ламп представлена на рис.30.

Таблица 16

Параметры источников света (ламп) установки БЖ 1

Источник света	Тип лампы	Мощность P , Вт	Начальный световой поток Φ_n , лм	Выключатель
ЛН	ЛН с прозрачной колбой	60	730	ЛІ
	ЛН с матированной колбой	60	620	ЛІІ
	Зеркальная ЛН типа Spot	60	$I = 765$ кд, угол излучения 30°	ЛІІІ
СД	СДЛ	4,5	240	ЛІІІІ
РЛ	КЛЛ	20	1250	ЛЛ
	ДРЛ	125	6300	ДРЛІ
	ДРЛ	125	6300	ДРЛІІ
	ДРЛ	125	6300	ДРЛІІІ

Примечание. Лампы ДРЛ присоединены к разным фазам (А, В, С) сети переменного тока.

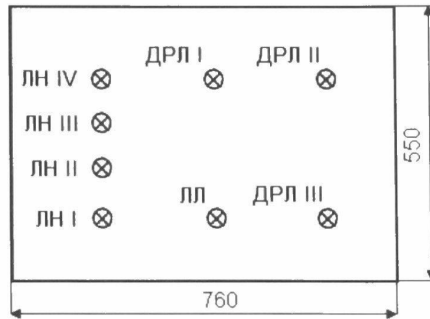


Рис.30. Схема размещения ламп

2.2. Контрольно-измерительные приборы

Для проведения работы по исследованию параметров искусственного освещения в моделируемых на установке БЖ 1 помещениях используют следующие приборы:

- ♦ люксметр-пульсометр «АРГУС-07»;
- ♦ хронометр или секундомер;
- ♦ мерная линейка.

Люксметр-пульсометр «АРГУС-07» (рис.31) предназначен для измерения:



Рис.31. Люксметр-пульсометр «АРГУС-07»

♦ освещённости E (лк), создаваемой различными источниками света;

♦ коэффициента пульсации освещённости K_n (%), создаваемой искусственными источниками света при питании их от сети переменного тока.

Источники света могут быть расположены произвольно относительно фотометрической головки люксметра-пульсометра.

Принцип работы прибора основан на преобразовании потока видимого излучения в пропорциональный непрерывный электриче-

ский сигнал, который затем преобразуется аналого-цифровым преобразователем в цифровой код, индицируемый на цифровом табло индикаторного блока. В качестве первичного преобразователя излучения в люксметре-пульсометре «АРГУС-07» применяется установленный в его фотометрической головке *полупроводниковый кремниевый фотодиод* с системой светофильтров, формирующих спектральную чувствительность, приближающуюся к чувствительности глаза. Прибор определяет максимальное E_{max} , минимальное E_{min} и среднее E_{cp} значение освещённости пульсирующего излучения и рассчитывает коэффициент пульсации K_p . Технические характеристики люксметра-пульсометра «АРГУС-07» представлены в *табл. 17*.

Таблица 17

Технические характеристики люксметра-пульсометра «АРГУС-07»

Характеристика	«АРГУС-07»
Диапазон измерения освещённости	1...2·10 ⁴ лк
Спектральный диапазон	380...800 нм
Коэффициент пульсации освещённости	1...100%
Время установления рабочего режима	2 с
Рабочая температура воздуха при эксплуатации люксметра	+5...+35°C
Относительная влажность	0...90 %
Предел допускаемой основной относительной погрешности при измерении:	
♦ освещённости	8 %
♦ коэффициента пульсации	10%
Питание	2 батарейки АА («пальчиковые») номинальным напряжением по 1,5 В
Размеры:	
♦ индикаторный блок	125 мм x 68 мм x 30 мм;
♦ фотометрическая головка	Ø48 мм x 30 мм
Масса:	
♦ индикаторный блок	150 г
♦ фотометрическая головка	100 г

2.3. Основные требования при работе с люксметром-пульсометром

1. Фотометрическая головка люксметра-пульсометра должна размещаться на горизонтальной плоскости.
2. На входную диафрагму фотометрической головки не должны падать случайные тени.
3. Измерительный прибор не должен располагаться вблизи источников сильных магнитных полей; не допускается его установка на металлические поверхности.

2.4. Требования безопасности при выполнении работы

1. К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством установки БЖ 1 и мерами безопасности при проведении лабораторной работы.
2. К установке подведены три фазы переменного электрического тока ($U_{\text{фазы}} = 220 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$), при проведении работы необходимо соблюдать правила электробезопасности.
3. Для предотвращения перегрева установки при работе ламп необходимо выполнять исследование при включённом вентиляторе.
4. Запрещается касаться патронов и ламп в ходе выполнения работы.
5. Измерения люксметром-пульсометром производить только через предназначенные для этого отверстия в нижней части передней стенки установки.
6. Замену съёмных стенок модели помещения следует производить при выключенном питании установки.

2.5. Подготовка к проведению работы

В соответствии с требованиями ГОСТ 24940-96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещённости» [15] произвести разметку контрольных точек на полу макета помещения для определе-

ния средней освещённости \bar{E} ³¹.

1. Измерить высоту подвеса лампы накаливания, управляемую выключателем ЛН1, над уровнем пола h , м – расстояние от поверхности пола до светового центра лампы (рис.32).

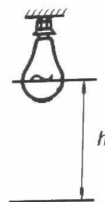


Рис.32. К определению высоты подвеса ЛН

2. Рассчитать индекс помещения по формуле

$$i' = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}, \quad (15)$$

где a, b – ширина и длина помещения соответственно, м (принимается по схеме рис.30).

3. Установить по табл.18 минимальное количество контрольных точек измерения N_1 для определения средней освещённости квадрата наибольшей площадью S_k , который может быть выделен в модели помещения

$$S_k = a^2, \text{ м}^2. \quad (16)$$

Таблица 18

Минимальное количество контрольных точек N_1 для определения средней освещённости квадратного помещения [15]

Индекс помещения i'	Число точек измерения N_1
Менее 1	4
От 1 до 2 включительно	9
Св. 2 до 3 включительно	16
Св.3	25

4. Рассчитать минимальное количество точек N для определения средней освещённости модели прямоугольного помещения по формуле

$$N = N_1 \cdot \frac{S_{\Pi}}{S_k} = N_1 \cdot \frac{b}{a}, \quad (16)$$

где S_{Π} – площадь пола модели помещения, м².

³¹ **Средняя освещённость** – освещённость, усреднённая по площади освещаемого помещения.

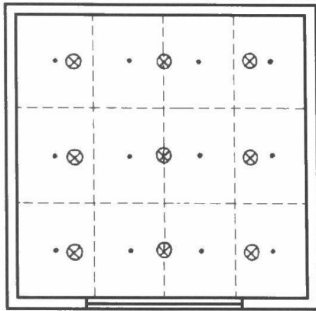


Рис.33. Размещение контрольных точек [15]:

- – контрольная точка;
- ⊗ – лампа

В случае совпадения сеток число контрольных точек целесообразно увеличить (рис.33).

8. На период выполнения работы (измерений) выключить электрические источники системы общего освещения помещения лаборатории.

2.6. Порядок выполнения работы

2.6.1. Исследование эффективности источников света (ламп)

1. Установить съёмные стенки модели помещения светлой стороной вовнутрь модели, воспроизводя светлую окраску стен помещения.

2. Подключить лабораторную установку к сети переменного тока.

3. Включить установку (перевести выключатель «Сеть», размещённого на панели управления, в верхнее положение).

4. Включить вентилятор (перевести соответствующий переключатель на панели управления установки в верхнее положение).

5. Внести через прямоугольное отверстие в нижней части передней стенки установки фотометрическую головку люксметра-пульсометра.

5. Начертить на миллиметровой бумаге план модели помещения. Нанести на него сетку размещения ламп.

6. План помещения разбить не менее чем на N равных, по возможности квадратных, частей.

7. Контрольные точки разместить в центре каждого «квадрата» на плане модели помещения. При этом сетка контрольных точек не должна совпадать с сеткой размещения ламп.

6. Включить люксметр-пульсометр (переключатель, находящийся на корпусе индикаторного блока прибора, установить в положение «ОН»).

7. Расположить фотометрическую головку люксметра-пульсометра (входной диафрагмой вверх) горизонтально на полу модели помещения непосредственно под исследуемой лампой.

8. Включить *одновременно*:

- ♦ исследуемую лампу с помощью соответствующего выключателя, расположенного на панели управления установки БЖ 1;
- ♦ секундомер.

9. Произвести измерения освещённости E на уровне пола через 2 с, 10 с, 30 с, 1 мин, 2 мин, 3 мин с момента включения лампы до стабилизации измеряемого параметра (до выхода лампы на рабочий режим).

10. Результаты измерений E , лк в период разгорания лампы внести в *табл. 19*.

11. Рассчитать и внести в *табл. 19* значения освещённости в период разгорания лампы E , % (принять за 100% значение E , лк при установившемся рабочем режиме лампы).

12. Значение E , лк при установившемся рабочем режиме лампы внести в *табл. 20*.

13. Измерить коэффициент пульсации освещённости K_p , %.

14. Результат измерения внести в *табл. 20*.

15. Определить *удельную освещённость*

$$E_{y\partial} = \frac{E}{P}, \frac{\text{лк}}{\text{Вт}}, \quad (17)$$

где P – электрическая мощность лампы, Вт.

16. Результаты расчёта внести в *табл. 20*.

17. Выключить исследуемую лампу.

18. Повторить п.п. 7...17 для всех ламп.

Таблица 19

Результаты измерений освещённости E на уровне пола модели помещения в период разгорания ламп

Тип лампы	Выключатель	E	Время τ с момента включения лампы					
			2 с	10 с	30 с	1 мин	2 мин	3 мин
ЛН	ЛІ	лк						
		%						
ЛН	ЛІІ	лк						
		%						
ЛН	ЛІІІ	лк						
		%						
СДЛ	ЛІV	лк						
		%						
КЛЛ	ЛЛ	лк						
		%						
ДРЛ	ДРЛІ	лк						
		%						
ДРЛ	ДРЛІІ	лк						
		%						
ДРЛ	ДРЛІІІ	лк						
		%						

Таблица 20

Определение фактических параметров искусственного освещения, создаваемого лампами, и оценка энергетической эффективности ламп

Тип лампы	Выключатель	Мощность лампы $P, Вт$	Измеренные параметры искусственного освещения		Удельная освещённость, $E_{уд}, лк/Вт$
			освещённость $E, лк$	коэффициент пульсации освещённости $K_p, \%$	
ЛН	ЛНІ				
ЛН	ЛНІІ				
ЛН	ЛНІІІ				
СДЛ	ЛНІV				
КЛЛ	ЛЛ				
ДРЛ	ДРЛІ				
ДРЛ	ДРЛІІ				
ДРЛ	ДРЛІІІ				

19. Построить на миллиметровой бумаге:

- ♦ кривые разгорания ламп $E(\%) = f(\tau)$;
- ♦ гистограмму удельных освещённостей $E_{\gamma 0}$, лк/Вт.

20. Сделать выводы.

2.6.2. Исследование стробоскопического эффекта, создаваемого РЛ

1. Установить фотометрическую головку люксметра-пульсометра горизонтально на полу модели помещения в точке, равноудалённой от трёх ламп типа ДРЛ (см. *рис.30*).

2. Включить одну лампу типа ДРЛ (питание от фазы А) при помощи выключателя ДРЛ I, расположенного на панели управления установки.

3. После выхода ДРЛ на рабочий режим регулятором частоты вращения крыльчатки вентилятора (регулятор расположен на панели управления лабораторной установки) добиться возникновения стробоскопического эффекта: иллюзии вращения периферийной части вентилятора в одну сторону, а центральной части – в противоположную.

4. Произвести измерение коэффициента пульсации освещённости K_p , % и внести его значение в *табл.21*.

5. Дополнительно включить вторую лампу ДРЛ (питание от фазы В, выключатель ДРЛ II).

6. После выхода включённой лампы на рабочий режим визуально убедиться в наличии (отсутствии) стробоскопического эффекта.

7. Произвести измерение коэффициента пульсации освещённости K_p , % и внести его значение в *табл.21*.

8. Дополнительно включить третью лампу типа ДРЛ (питание от фазы С, выключатель ДРЛ III).

9. Выполнить п.п. 6 – 7.

10. Выключить разрядные лампы.

11. Сделать выводы.

Таблица 21

Исследование стробоскопического эффекта, создаваемого РЛ

Тип лампы	Число работающих ламп	Выключатели	Наличие стробоскопического эффекта (+/-)	Коэффициент пульсации освещённости, $K_p, \%$
ДРЛ	1	ДРЛ I	+	
	2	ДРЛ I, ДРЛ II		
	3	ДРЛ I, ДРЛ II, ДРЛ III		

2.6.3. Исследование влияния цветовой окраски стен на коэффициент использования осветительной установки и среднюю освещённость модели помещения

1. Включить одну ЛН (выключатель Л I).
2. После выхода лампы на рабочий режим измерить освещённость E на уровне пола в N контрольных точках.
3. Результаты измерений внести в *табл.22*.
4. Определить среднее значение фактической освещённости модели помещения как среднеарифметическое значение измеренных освещённостей в контрольных точках по формуле

$$\bar{E} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N E_j, \quad (18)$$

где E_j – измеренное значение освещённости в j -й контрольной точке, лк;
 N – число точек измерения.

5. Результат расчёта внести в *табл.22*.
6. Выключить лампу.

Таблица 22

Исследование влияния цветовой окраски стен модели помещения

на коэффициент использования осветительной установки и среднюю освещённость модели помещения

Тип лампы	Выключатель	Цветовая окраска стен	Освещённость, лк					Относительные показатели		
			измеренная в контрольных точках					Средняя освещённость E	кратность средней освещённости k	эффективность светлой окраски стен, $\mathcal{E}_{св}$, %
			E_1	E_2	...	E_N				
ЛН	ЛНІ	Светлая								
		Тёмная								
	ЛНІІІ	Светлая								
		Тёмная								
СДЛ	ЛНІІІІ	Светлая								
		Тёмная								
	ЛНІV	Светлая								
		Тёмная								
КПЛ	ЛЛ	Светлая								
		Тёмная								
ДРЛ	ДРЛІ	Светлая								
		Тёмная								

7. Повторить п.п. 1 – 6 поочерёдно для ламп:

- ♦ ЛН (выключатель ЛНИ);
- ♦ ЛН (выключатель ЛНИИ);
- ♦ СДЛ (выключатель ЛНИV);
- ♦ КЛЛ (выключатель ЛЛ);
- ♦ ДРЛ (выключатель ДРЛI).

8. Выключить вентилятор (перевести соответствующий переключатель на верхней стенке установки в нижнее положение).

9. Выключить питание лабораторной установки, переведя выключатель «Сеть» на панели управления в нижнее положение.

10. Отключить установку от сети переменного тока.

11. Перемонтировать боковые и заднюю съёмные стенки модели помещения обратной (тёмной) стороной вовнутрь.

12. Подключить установку к сети переменного тока.

13. Включить питание установки (перевести выключатель «Сеть» на панели управления в верхнее положение).

14. Включить вентилятор (перевести соответствующий переключатель на панели управления в верхнее положение).

15. Повторить п.п. 1...7 для новых условий.

16. Выключить люксметр-пульсометр (перевести переключатель в положение «OFF»).

17. Выключить вентилятор (перевести соответствующий переключатель на верхней стенке установки в нижнее положение).

18. Выключить питание лабораторной установки, переведя выключатель «Сеть» на панели управления в нижнее положение.

19. Отключить установку от сети переменного тока.

20. Определить для исследованных ламп:

♦ *кратность коэффициента использования осветительной установки (лампы) или кратность средней освещённости модели помещения*

$$k = \frac{KПД_{ОУ}^{св}}{KПД_{ОУ}^{тём}} = \frac{\bar{E}_{св}}{\bar{E}_{тём}}, \quad (19)$$

где $KПД_{ОУ}^{св}$ – коэффициент использования осветительной установки при светлой окраске стен, лк, определяется по формуле (12);

$KПД_{ОУ}^{тём}$ – коэффициент использования осветительной установки при тёмной окраске стен, лк, определяется по формуле (12);

$\bar{E}_{св}$ – средняя освещённость модели помещения при светлой окраске стен, лк;

$\bar{E}_{тём}$ – средняя освещённость модели помещения при тёмной окраске стен, лк.

♦ *эффективность светлой окраски стен* модели помещения

$$\mathcal{E}_{св} = \frac{KПД_{ОУ}^{св} - KПД_{ОУ}^{тём}}{KПД_{ОУ}^{тём}} \cdot 100\% = \frac{\bar{E}_{св} - \bar{E}_{тём}}{\bar{E}_{тём}} \cdot 100\% . \quad (20)$$

21. Результаты расчётов внести в *табл.22*.

22. Построить на миллиметровой бумаге для исследованных ламп:

♦ гистограмму кратности средней освещённости модели помещения k ;

♦ гистограмму эффективности светлой окраски стен модели помещения $\mathcal{E}_{св}$, % .

23. Сделать выводы.

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет выполняется в тетради или на отдельных листах и должен содержать следующее.

1. Титульный лист по форме 1 (*рис.34*).
2. Изложение цели работы.
3. Порядок выполнения работы (в виде блок-схемы).
4. Выполненный на миллиметровой бумаге план модели помещения с указанием размещения ламп.
5. Шаблоны *табл.19 – 22*.
6. Результаты измерений, сведённые в *табл.19 – 22*. Все не-

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)



Кафедра техносферной безопасности

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

по курсу _____

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ОСВЕЩЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО РАЗЛИЧНЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

Студент: _____
(Ф.И.О.)

Преподаватель: _____
(Ф.И.О.)

Отметка о допуске _____ дата подпись преподавателя

Отметка о выполнении _____ дата подпись преподавателя

Отметка о защите _____ дата подпись преподавателя

Москва 20__ год

обходимые расчёты должны быть проведены в соответствии с правилами приближённых вычислений.

7. Выполненные на миллиметровой бумаге:

- ♦ кривые разгорания исследованных ламп $E(\%) = f(\tau)$;
- ♦ гистограммы:
 - удельных освещённостей $E_{уд}$;
 - кратности средней освещённости модели помещения k ;
 - эффективности светлой окраски стен модели помещения $\mathcal{E}_{св}$.

8. Выводы.

4. УСЛОВИЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Наличие оформленных п. 1...5 отчета.
2. Успешное прохождение теста, определяющего подготовленность к выполнению работы.

5. УСЛОВИЕ ДОПУСКА К ЗАЩИТЕ РАБОТЫ

Наличие полностью оформленного отчета с отметками преподавателя о допуске и выполнении работы.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначены искусственные источники света?
2. Приведите классификацию электрических источников света по принципу действия.
3. Назовите основные параметры электрических источников света.
4. Какой должна быть температура тела накала ЛН для того, чтобы спектр его излучения соответствовал солнечному?
5. На какую область оптического спектра приходится основная доля излучения ЛН?
6. В чём суть иодно-вольфрамового цикла?
7. С какой целью на внешнюю поверхность ГЛН наносят ин-

фракрасное покрытие?

8. Сопоставьте световую отдачу и срок службы ЛН и ГЛН общего назначения.

9. Перечислите функции внешней колбы РЛ.

10. Что такое стробоскопический эффект и в чём его опасность?

11. Каковы причины пульсации светового потока, излучаемого РЛ?

12. Каким образом можно уменьшить пульсацию светового потока от РЛ?

13. Перечислите достоинства и недостатки ЛЛ.

14. Почему возможность создания КЛЛ появилась только в начале 1990-х годов?

15. С какой целью были разработаны спиральные КЛЛ?

16. Назовите особенности эксплуатации КЛЛ.

17. Каким существенным недостатком, ограничивающим область их применения, обладают РтЛВД?

18. Что такое «красное отношение» и для характеристики какого типа ламп используется?

19. На чём основан принцип действия МГЛ?

20. Какой тип МГЛ применяют для общего освещения?

21. Как влияет положение горения ламп типа ДРИ на их параметры?

22. РЛ какого вида обладают максимальной светоотдачей и незначительным снижением светового потока при длительной эксплуатации?

23. Назовите основной недостаток СД.

24. Каково назначение встроенного блока питания СДЛ?

25. На чём основан принцип действия люксметра-пульсометра?

26. С какой целью в люксметрах применяют корректирующие фильтры?

ЛИТЕРАТУРА

1. Балкаров, А.В. Новые задачи организации электрического освещения/ А.В. Балкаров, М.В. Саяпин // Материалы III Общероссийской студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум 2011» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rae.ru/forum2011/15/2061>, свободный.

2. Лампа накаливания // Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CB%CE%CD>, свободный.

3. Типы ламп // Сайт фирмы «ВЕМАС» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://vemas.com.ua/index.php?lang_id=1&menu_id=143, свободный.

4. Справочная книга по светотехнике; под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 952 с.

5. Федеральный закон РФ от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – Вступил в силу 27.11.2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html>, свободный.

6. Галогенные лампы OSRAM HALOSTAR IRC // Интернет-магазин «Лампа28» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.lampa28.ru/osram/Halostar_IRC.htm, свободный.

7. СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение. – Введены 1996-01-01. – Внесено изменение № 1, утвержденное постановлением Госстроя России от 29 мая 2003 г. № 44 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.niiot.ru/doc/doc116/doc.htm>, свободный.

8. Компактные люминесцентные энергосберегающие лампы Navigator серии NCL // Сайт компании «Navigator» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.navigator-light.ru>, свободный.

9. Уличное и промышленное освещение // Сайт компании ЗАО «ЭлПромЭнерго» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://>

www.ledperm.ru/page7, свободный.

10. Светодиодное освещение нового поколения // Сайт компании LED Technology [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ledtechspb.ru>, свободный.

11. Светодиодная лампа УНИПРО // Сайт светотехнического завода «Светорезерв» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.svetorezerv.ru/contents/index/4>, свободный.

12. Светодиодные лампы серии ЛМС энергосберегающие // Сайт светотехнического завода «Светорезерв» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.svetorezerv.ru/contents/index/28>, свободный.

13. Прядько, А. Светотехнические характеристики поверхностей материалов / А. Прядько // Журнал «625». – 2004. – №7 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rus.625-net.ru/archive/0704/svetotech.htm>, свободный.

14. Смирнов, С.Г. Искусственное освещение (БЖ 1м): методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»/ С.Г. Смирнов // Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». – 2005. - № 4. – С.7 – 11.

15. ГОСТ 24940-96. Здания и сооружения. Методы измерения освещённости. – Введён 1997-01-01 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gostexpert.ru/gost/gost-24940-96>, свободный.

ОБЩИЕ СОКРАЩЕНИЯ

- ГЛН – галогенная лампа накаливания
- ГОСТ – государственный стандарт
- ДРИ – дуговая ртутная лампа с излучающими добавками
- ДРЛ – дуговая ртутная люминесцентная лампа
- ИЗУ – импульсное зажигающее устройство
- КЛЛ – компактная люминесцентная лампа
- ЛЛ – люминесцентная лампа
- ЛН – лампа накаливания
- МГЛ – металлогалогенная лампа
- НалВД – натриевая лампа высокого давления
- ПРА – пускорегулирующий аппарат
- РЛ – разрядная лампа
- РтЛВД – ртутная лампа высокого давления
- СД – светоизлучающие диоды или светодиоды
- СДЛ – светодиодная лампа
- СНиП – строительные нормы и правила
- ЭПРА – электронный пускорегулирующий аппарат

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Основные теоретические положения.	4
1.1. Искусственные источники света	4
1.1.1. Параметры электрических источников света (ламп)	5
1.1.2. Лампы накаливания (ЛН)	7
1.1.3. Галогенные лампы накаливания (ГЛН)	15
1.1.4. Разрядные лампы (РЛ)	19
1.1.5. Светодиодные лампы (СДЛ)	42
1.2. Нормируемые параметры искусственного освещения	47
1.3. Измерение нормируемых параметров искусственного освещения	50
2. Методика проведения работы	52
2.1. Лабораторная установка БЖ 1	52
2.2. Контрольно-измерительные приборы	54
2.3. Основные требования при работе с люксметром-пульсометром	56
2.4. Требования безопасности при выполнении работы	56
2.5. Подготовка к проведению работы	56
2.6. Порядок выполнения работы	58
3. Требования к оформлению отчета	65
4. Условия допуска к выполнению работы	67
5. Условие допуска к защите работы	67
6. Контрольные вопросы	67
Литература.	69
Общие сокращения	71

Редактор *Ю.К. Фетисова*

Компьютерный набор *Н.А. Евстигнеевой, Т.Ю. Григорьевой*

Вёрстка *Н.А. Евстигнеевой*

Подписано в печать 27.04.2011 г.

Печать офсетная

Тираж 300 экз.

Усл. печ. л. 4,5

Заказ

Формат 60x84/16

Уч.-изд. л. 3,6