

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

М.В. Шевченко, А.В. Калинин

«Светотехника и электротехнология»

**Источники оптического излучения**

Учебное пособие

Благовещенск

Издательство ДальГАУ

2013

**УДК 628.9 (075.8)**

Шевченко М.В. Источники оптического излучения: Учебное пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Светотехника и электротехнология» / М.В. Шевченко, А.В. Калинин. - Благовещенск: ДальГАУ, 2013. – 170 с.

Учебное пособие составлено в соответствии с программой курса «Светотехника и электротехнология». Учебное пособие рекомендовано для студентов очной, заочной и заочной (сокращенной) форм обучения по направлениям 110800.62 – «Агроинженерия» и 140400.62 – «Электроэнергетика и электротехника».

**Рецензенты:**

Виноградов А.В., кандидат технических наук, доцент, завкафедрой электроснабжения ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет».

Бородин М.В., ст. преподаватель кафедры электроснабжения ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет».

Солдатов В.А., доктор технических наук, профессор, завкафедрой информационных технологий в энергетике ФГБОУ ВПО Костромская ГСХА

Фалилеев Н.А., кандидат технических наук, доцент, завкафедрой электропривода и электротехнологий ФГБОУ ВПО Костромская ГСХА

Учебное пособие рассмотрено и утверждено методическим советом электроэнергетического факультета и рекомендовано к изданию.

Протокол № \_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

Издательство ДальГАУ

2013

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие составлено в соответствии с программой дисциплины «Светотехника» для студентов, обучающихся по направлению 110800.62 – Агроинженерия и направлению 140400.62 – Электроэнергетика и электротехника.

Представленный материал содержит общие сведения, методические указания к выполнению лабораторных работ, а также перечень необходимой литературы ко всем работам и справочный материал.

В пособии изложены сведения по светотехническому оборудованию, дополняющие лекционный материал дисциплины. При выполнении лабораторных работ рассматриваются следующие вопросы:

- измерение освещенности объективным методом;
- исследование светотехнических и электрических характеристик ламп накаливания;
- исследование светотехнических и электрических характеристик люминесцентных ламп;
- исследование режимов работы газоразрядных ламп низкого давления с балластными сопротивлениями;
- исследование светотехнических и электрических характеристик ламп высокого давления;
- исследование электрических и световых характеристик компактных энергосберегающих люминесцентных ламп;
- экспериментальное определение основных характеристик светильников;
- определение освещенности помещения опытным и расчетным путем;
- исследование облучательных установок и автоматическое управление облучательными установками.

Учебное пособие рассчитано на самостоятельную работу студентов при подготовке к выполнению лабораторных работ.

Учебное пособие является составной частью дисциплины «Светотехника и электротехнология». Приведенные нормы, объемы и методики соответствуют требованиям, изложенным в ПУЭ, ПТЭ, ПТБ.

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные занятия способствуют глубокому усвоению студентами теоретического материала путем его экспериментальной проверки. Одновременно они предназначены для выработки у обучающихся навыков работы с действующими источниками оптического излучения, проведения исследования, обработки экспериментальных данных и анализа полученных результатов.

На первом занятии в лаборатории студенты проходят инструктаж по технике безопасности, содержание которого определяется инструкцией, разработанной для конкретного помещения. Инструктаж проводит преподаватель, который в специальном журнале указывает дату, содержание инструктажа, фамилии студентов и свою с подписями.

Перед лабораторной работой студент должен детально ознакомиться с ее содержанием и методикой, получить общее представление об ожидаемых результатах опыта. Для этого необходимо изучить теоретический материал по лекциям и рекомендуемой литературе.

К каждому лабораторному занятию студент должен подготовить таблицы для записи результатов измерений, вычертить требуемые электрические схемы.

Непосредственно перед выполнением работы преподаватель проверяет готовность каждого студента по теме занятия, проверяет тестированием, и только затем допускает их к работе.

Допущенные к работе студенты бригадой из трех-четырех человек готовят лабораторный стенд или установку к проведению опытов и включают ее в работу только с разрешения преподавателя или лаборанта.

Во время лабораторных работ каждый студент должен соблюдать правила техники безопасности.

Результаты опытов студенты представляют преподавателю для проверки. Последующие опыты выполняют только после полного завершения предыдущих с разрешения преподавателя.

После проведения экспериментов лабораторная установка должна быть выключена.

По полученным результатам студент оформляет отчет, который должен содержать название, цель и программу работы, эскиз конструкций исследуемых источников излучения, светильников, облучателей, экспериментальные электрические схемы и паспортные данные использованного оборудования и измерительных приборов, опытные и расчетные результаты, расчетные формулы и примеры расчета по ним, а также краткие выводы по отдельным пунктам программы и по работе в целом.

Ряды значений рассчитываемых величин заносят в таблицы, предусмотренные методическими указаниями. Однако по каждой такой величине в отчете должен быть приведен пример расчета одного значения, что необходимо для контроля и быстрого поиска возможных ошибок и более глубокого понимания студентом изучаемого материала.

Оформленный отчет представляется преподавателю для защиты. Неаккуратно оформленный отчет к защите не допускается.

При защите отчета студент должен давать исчерпывающие ответы на вопросы преподавателя по всему материалу лабораторной работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## ИЗМЕРЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ ОБЪЕКТИВНЫМ МЕТОДОМ

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** ознакомиться с устройством, характеристиками и принципом действия приборов для измерения освещенности, приобрести навыки измерения освещенности с помощью люксметра.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для измерения освещенности применяются специальные фотометрические приборы, получившие название люксметров. Простейший фотоэлектрический (объективный) люксметр представляет собой селеновый фотоэлемент, в цепь которого включен стрелочный гальванометр.

Селеновый фотоэлемент – это полупроводниковый прибор с запирающим слоем. Принцип его действия основан на фотоэлектрическом эффекте, заключающийся в том, что под действием света на зажимах фотоэлемента возникает ЭДС. Сила электрического тока, проходящего по замкнутой цепи фотоэлемента, прямо пропорциональна его освещенности.

Селеновый фотоэлемент (рис. 1.1) состоит из металлической пластины 1 толщиной 1-2 мм, на поверхность которого наносится слой селена 2.

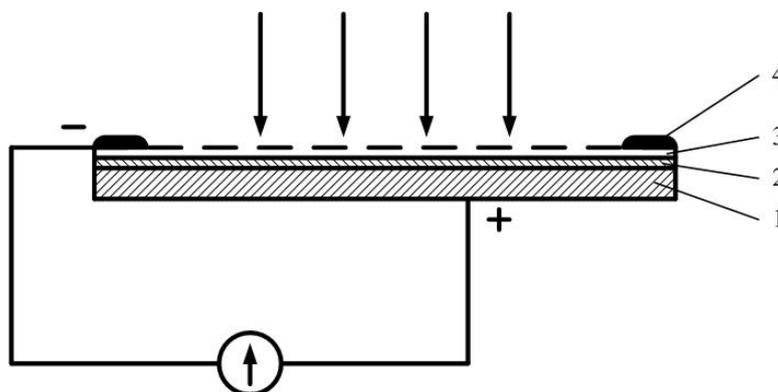


Рис. 1.1. Разрез селенового фотоэлемента с запирающим слоем

Термической обработкой селен переводится в кристаллическую (серую) светочувствительную модификацию. На этот слой в вакууме напыляется сначала тончайший слой кадмия, а затем полупрозрачный слой золота или платины 3, поверх которого наносится контактное кольцо 4, являющееся отрицательным электродом фотоэлемента.

Селеновый элемент обладает спектральной чувствительностью, которая приближается к чувствительности глаза. Так как селеновый фотоэлемент – не вполне устойчивый прибор и его показания подвержены колебаниям из-за изменения температуры, длительности освещения и так далее, то для получения более точных результатов надо измерять освещенность несколько раз и усреднять данные.

Шкала гальванометра градуируется непосредственно в люксах по стандартному источнику с цветовой температурой  $T = 2854 \text{ K}$ , спектральный состав излучения которого приближается к спектральному составу ламп накаливания средней мощности (200 - 300 Вт).

Возможность измерения малых значений освещенности достигается за счет применения гальванометров чувствительностью порядка  $10^{-6} \text{ A/дел}$ . Для измерения большой освещенности прибор снабжается шунтами и нейтральными фильтрами, надеваемыми на фотоэлемент.

При выполнении лабораторных работ от точности измерений зависит качество и достоверность получаемых результатов и возможность на их основе сделать правильные выводы. Поэтому измерения следует проводить как можно внимательней и точнее. Однако точность при этом должна соответствовать точности измерительных приборов.

В тех случаях, когда на результаты измерений могут оказать влияние какие-либо случайные факторы (например, при измерении освещенности и облученности влияние излучений посторонних источников, колебания напряжения в сети и т.д.), то измерения следует проводить не менее чем в трехкратной повторности.

Полученные при измерениях данные необходимо внимательно просмотреть, проанализировать ход исследуемых зависимостей. При резких отличиях отдельных результатов измерений их надо отбросить как грубые ошибки, возникшие из-за нарушения основных условий измерения, или ошибки экспериментатора (например, проведение отсчета не по нужной шкале прибора), или недосмотра экспериментатора. Сами же измерения необходимо повторить, если это возможно.

Для величин, измеренных с повторностью  $n$ , необходимо определить как наиболее достоверное среднеарифметическое значение измерений

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_{\bar{n}\bar{\sigma}} = (\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3 + \dots + \bar{\sigma}_n) / n. \quad (1.1)$$

Это значение надо охарактеризовать погрешностью, допущенной при измерениях. Прежде всего находят абсолютную ошибку, представляющую алгебраическую разность между данными конкретного измерения и среднеарифметическим значением измеряемой величины:

$$\Delta\bar{\sigma}_i = x_i - x_{\bar{n}\bar{\sigma}}. \quad (1.2)$$

Такая ошибка характеризует только точность отдельного измерения. Для оценки точности измерений одной и той же величины при повторных измерениях, то есть точности среднеарифметического значения, определяют среднюю абсолютную ошибку

$$\Delta\bar{\sigma}_{\bar{n}\bar{\sigma}} = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta x_i|. \quad (1.3)$$

Поскольку размерности средней абсолютной ошибки и среднеарифметического значения одинаковы, то окончательный результат измерения величины  $x$  с учетом ошибок записывают в виде

$$x = x_{\bar{n}\bar{\sigma}} \pm \Delta\bar{\sigma}_{\bar{n}\bar{\sigma}}. \quad (1.4)$$

Иногда точность измерений характеризуют средней относительной ошибкой

$$\delta\bar{\sigma}_{\bar{n}\bar{\sigma}} = \Delta\bar{\sigma}_{\bar{n}\bar{\sigma}} \cdot 100 / \bar{\sigma}_{\bar{n}\bar{\sigma}}. \quad (1.5)$$

Все результаты измерений и вычислений величин представляют самыми наглядными формами – таблицами и графиками.

При измерении освещенности следят за тем, чтобы на приемную часть фотоэлемента не падали случайные тени от человека или оборудования. Положение гальванометра должно быть горизонтальным. Учитывая влияние напряжения питания на поток источников света, его следует каждый раз контролировать.

Промышленность выпускает люксометры Ю-116 и Ю-117. Снятый с производства люксметр Ю-16 еще довольно широко распространен в практике.

Люксометры Ю-116 и Ю-117 – фотоэлектрические многопредельные переносные приборы с отдельным фотоэлементом, предназначенные для контроля освещенности, создаваемой искусственным и естественными источниками видимого света в помещениях и на открытых площадках. Они состоят из селенового фотоэлемента, поглотителя и электроизмерительного прибора. Приборы работают при температуре окружающего воздуха от – 10 до + 35 °С при относительной влажности до 80%.

**Люксметр Ю-116** (рис. 1.2)– прибор магнитоэлектрической системы, имеет два основных диапазона измерений: от 5 до 30 и от 20 до 100 лк. Шесть дополнительных диапазонов получают из основных за счет применения трех нейтральных светофильтров М, Р и Т, с коэффициентами ослабления потока соответственно 10, 100 и 1000. Эти насадки применяются совместно с насадкой К, уменьшающей косинусную погрешность.

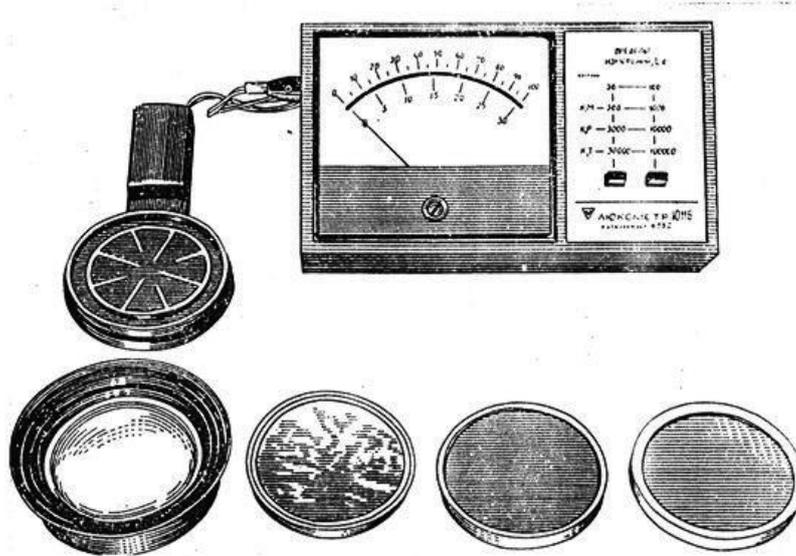


Рис. 1.2. Общий вид люксметра Ю-116

Принципиальная электрическая схема люксметра приведена на рисунке 1.3.

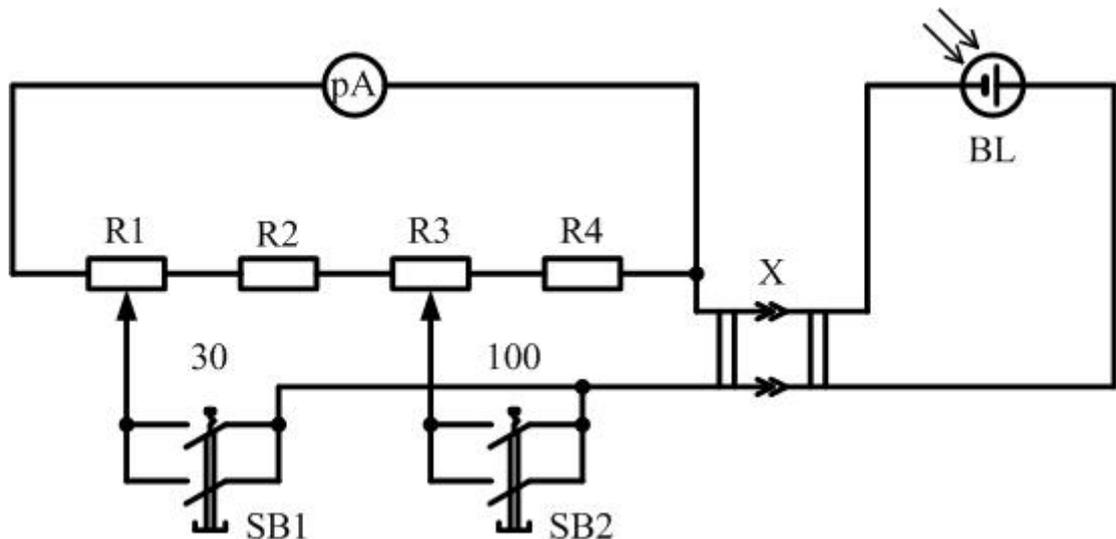


Рис. 1.3. Принципиальная электрическая схема люксметра Ю-116

Шкала прибора неравномерная, градуирована в люксах. На каждой шкале точками отмечено начало диапазона измерений. Допустимая основная погрешность люксметра в диапазоне измерений 5 - 100 лк равна  $\pm 10\%$  измеряемой величины, а при переходе на диапазоны измерений с насадками К, М, Р, Т не превышает  $\pm 15\%$ . Время остановки стрелки показывающего прибора менее 4 с.

Стрелочный прибор магнитоэлектрической системы М2027-5 смонтирован в одном корпусе с переключателем диапазонов измерений и вилкой для подключения селенового фотоэлемента Ф55С. Фотоэлемент имеет форму круга, находится в пластмассовом корпусе и присоединяется к измерителю шнуром с розеткой, обеспечивающей правильную полярность соединения. Площадь светочувствительной поверхности фотоэлемента около 30 см<sup>2</sup>.

При подготовке к измерению люксметр устанавливается в горизонтальное положение, отсоединяется фотоэлемент, и стрелка измерительного прибора с помощью корректора устанавливается на нулевое деление шкалы. После чего присоединяется фотоэлемент к измерителю.

С целью ускорения поиска диапазона измерений необходимо последовательно устанавливать насадки КТ, КР, КМ, при каждой насадке сначала нажимают правую кнопку, а затем левую на передние панели измерителя.

При помощи люксметра Ю-116 можно ориентировочно определить и облученность в области фотосинтетически активной радиации (ФАР). Переводной коэффициент измеряемой освещенности в облученность ФАР приблизительно равен для ламп накаливания – 4,4; для ламп ДРЛФ1000 – 4,9; для ламп ДРЛФ400 – 3,9; для ламп ДНаТ400 – 3,0; для ламп ЛБ – 3,4 фит/м<sup>2</sup>клк.

**Люксметр Ю-117** (рис. 1.4) по конструктивному исполнению аналогичен Ю-116, отличается только тем, что имеет один основной (2 - 10 лк) и три неосновных (0,1 - 0,2; 0,2 - 1; 0,5 - 3,9 лк) диапазона измерения. Поэтому в корпус люксметра вмонтирован усилитель на одной микросхеме, а двухклавишный переключатель заменен на восьмиклавишный.



Рис. 1.4. Общий вид люксметра Ю-117

Погрешность измерения люксметра в основных диапазонах составляет  $\pm 10\%$  от значения измеряемой освещенности, кроме диапазона 0,1 - 0,2 лк, в котором погрешность  $\pm 30\%$ .

**Люксметр Ю-16** (рис.1.5) имеет три основных предела измерения: 25, 100 и 500 лк.

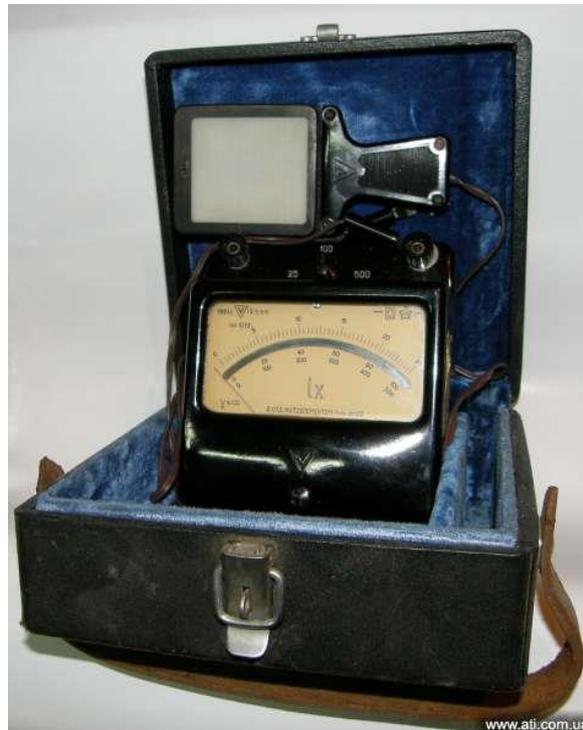


Рис. 1.5. Общий вид люксметра Ю-16

Переход с одного предела измерения на другой достигается включением соответствующих шунтов путем поворота рукоятки на корпусе гальванометра.

На корпусе расположен также корректор, который служит для установки стрелки на нулевую отметку шкалы. Для измерения больших уровней освещенности на фотоэлемент надевается нейтральный фильтр из молочного стекла. Фильтр расширяет пределы измерения в 100 раз, что дает возможность измерять освещенность соответственно до 2 500, 10 000 и 50 000 лк.

Перед измерением освещенности измеритель должен располагаться строго горизонтально, а стрелка должна находиться на нулевом делении шкалы. При измерениях следует помнить, что в начале шкалы прибор имеет максимальную погрешность. Для того чтобы предохранить прибор от перегрузок, поиск предела измерения начинается с предела 50000 лк, последовательно переходя затем на более чувствительные пределы, пока стрелка не окажется в рабочей части шкалы.

Для удобства хранения и переноски люксметры поставляются в футляре, в гнезда которого укладывается измеритель, фотоэлемент с соединительным проводом и поглотителем.

При измерении освещенности, создаваемой различными источниками света, показания люксметра следует умножить на поправочный коэффициент, значение которого приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

## Значения поправочных коэффициентов

Наименование источника	Значение поправочного коэффициента	
	Люксметр Ю-116 Люксметр Ю-117	Люксметр Ю-16
Лампа накаливания	1,00	1,00
Лампа марки ЛД	0,99	0,88
Лампа марки ЛДЦ	0,99	0,96
Лампа марки ЛБ	1,17	1,15
Лампа марки ДРЛ	1,09	1,20
Лампы марки ДНаТ и ДРИ	1,22	—

При измерении освещенности фотоэлектрическими люксметрами с селеновыми фотоэлементами необходимо иметь в виду следующее:

1. При измерениях освещенности в температурных условиях, резко отличных от условий, в которых градуировался прибор, необходимо вводить поправку, поскольку температурный коэффициент у некоторых типов селеновых фотоэлементов довольно высок.

2. Со временем наблюдается старение фотоэлемента и уменьшение его интегральной чувствительности. Поэтому для получения достоверных результатов измерения освещенности необходимо осуществлять периодическую градуировку фотоэлектрического люксметра (1-2 раза в год) на светоизмерительной скамье.

3. При измерениях освещенности от люминесцентных ламп или других газоразрядных источников света люксметром без корректировочного фильтра в показания прибора необходимо вводить поправочные коэффициенты.

4. При измерении освещенности от источников света, расположенных под небольшим углом к плоскости фотоэлемента, возможно возникновение существенных ошибок. Это объясняется тем, что при увеличении угла падения света, отсчитываемого от нормали к плоскости фотоэлемента, показания люксметра следуют закону изменения освещенности от точечного источника (закону косинуса) лишь в определенных пределах. Поэтому при измерении горизонтальной освещенности от низко расположенного удаленного источника следует измерять освещенность в плоскости, перпендикулярной направлению силы света источника, а затем умножать полученное значение на косинус угла между нормалью к горизонтальной плоскости и направлением на источник света.

## ПЛАН РАБОТЫ

1. Ознакомиться с назначением, устройством и принципом действия люкметров Ю-116 и Ю-117. Освоить методику измерения с их помощью.
2. Произвести экспериментальную проверку закона обратных квадратов при измерении освещенности.
3. Экспериментально исследовать диапазон применимости люксметра для непосредственного измерения горизонтальной освещенности.
4. Произвести измерения распределения горизонтальной освещенности на рабочей поверхности и построить картину изолюкс.
5. В контрольной точке рабочей поверхности измерить значения горизонтальной, вертикальной и нормальной освещенности.
6. Точечным методом произвести расчет горизонтальной, вертикальной и нормальной освещенности в контрольной точке и сравнить ее с измеренной люкметром.

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для проверки закона обратных квадратов на лабораторном стенде измерить создаваемую освещенность  $E_0$  при некотором расстоянии от источника света до рабочей поверхности  $L_{max}$ . Уменьшая это расстояние, в точках  $L_i$  произвести измерения создаваемой освещенности  $E_i$ . При измерениях учитывать фоновую освещенность при выключенном источнике света  $E_{iф}$ . Для расчетов взять разность  $E_{iис} = E_i - E_{iф}$ . Всего сделать не менее 10 замеров. Результаты измерений занести в таблицу 1.2.

Исходные данные для проверки закона обратных квадратов

№ опыта	$L_i$ , м	$E_i$ , лк	$E_{i\phi}$ , лк	$l_i$ , ОТН. ед.	$E_{iис}$ , лк	$e_i$ , ОТН. ед.	$ l_i $ , мм	$ e_i $ , мм

Вычислить относительные значения расстояния  $l_i$ , м

$$l_i = \frac{L_i}{L_{\max}}. \quad (1.6)$$

и создаваемой освещенности  $e_i$

$$e_i = \frac{E_i}{E_0}. \quad (1.7)$$

Определиться с масштабом  $m$  построения графика. Вычислить длины соответствующих отрезков  $l_i$  и  $e_i$ .

Результаты вычислений занести в таблицу 1.2. В относительных единицах построить график зависимости освещенности от расстояния до источника света. На этой же координатной сетке построить теоретическую зависимость  $E=f(l/L^2)$ .

Проанализировать полученные результаты, сделать выводы о точности измерений, объяснить причину отклонения экспериментальных данных от теоретических при малых расстояниях между источником света и рабочей поверхностью.

Для проверки диапазона применимости люксметра при измерении горизонтальной освещенности от низко расположенного удаленного источника света следует экспериментально снять зависимость измеряемой освещенности от угла падения светового потока на плоскость фотоэлемента люксметра.

Предварительно изменением высоты подвеса источника света, выбором его мощности, типа оптического фильтра люксметра и предела измерения добиться того, чтобы при измерении горизонтальной освещенности стрелка находилась в положении, близком к правому пределу шкалы.

С помощью поворотного устройства, расположенного непосредственно под источником, при заданных углах нормалью к плоскости фотоэлемента и направлением на источник света  $\alpha_i$  измерять величину освещенности  $E_i$ , показываемую люксометром. При измерениях учитывать фоновую освещенность при выключенном источнике света. Диапазон изменения углов принять от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  с шагом  $10^\circ$ .

Провести две серии измерений – с косинусной насадкой и без нее. По результатам измерений заготовить две таблицы аналогичных таблице 1.3. Заполнить таблицы результатами измерений. Теоретические значения освещенности вычислить в соответствии с законом косинуса.

Таблица 1.3

Исходные данные для проверки диапазона применимости люксометра при измерении горизонтальной освещенности

$i$	$\alpha_i$ , град	$E_i$ , лк	$E_{i\phi}$ , лк	$E_{iuc}$ , лк	$e_{iuc}$ , отн. ед.	$e_{imeop}$ , отн. ед.	$\delta$	$\delta^2$

Вычислить величины отклонений экспериментальных данных от теоретических  $\delta = e_{iuc} - e_{imeop}$  и квадраты отклонений  $\delta^2$ .

Вычислить величины средних квадратичных отклонений

$$\sigma = \sqrt{\frac{\delta^2}{n-1}}, \quad (1.8)$$

где  $n$  – количество измерений.

Величина среднего квадратичного отклонения является критерием близости двух зависимостей. Чем она меньше, тем больше (в среднем) исследуемые функции соответствуют одна другой. По величине  $\sigma$  сделать вывод, в каком случае функция чувствительности люксометра больше соответствует косинусному закону – с насадкой или без насадки.

Построить в прямоугольных координатах зависимости горизонтальной освещенности от угла между нормалью к плоскости фотоэлемента и

направлением на источник света (экспериментально найденные и теоретическую).

Те же зависимости построить в полярных координатах, получив индикатрисы чувствительности люксметра. Для этого в заданном масштабе под углами  $\alpha_i$  откладывать вектора  $e_{iuc}$  и  $e_{imeop}$ . Для получения соответствующих индикатрис следует соединить концы векторов освещенности.

Проанализировать полученные результаты, сделать выводы о точности измерений, объяснить причину расхождений между экспериментальными и теоретическими характеристиками чувствительности люксметра. Задавшись допустимой ошибкой измерения (обосновать ее значение), определить диапазон применимости люксметра для непосредственного измерения горизонтальной освещенности от низко расположенного удаленного источника света.

Построение картины изолукс на рабочей поверхности производится по результатам измерений горизонтальной освещенности при помощи люксметра с градиентом, обеспечивающим необходимую точность построения. В случае осесимметричного источника света измерение освещенности следует проводить вдоль линии, проходящей через проекцию источника на горизонтальную рабочую поверхность. Изолуксы в этом случае строятся как окружности, проходящие через исследуемые точки. Иллюстрацией к построению служит рисунок 1.6.

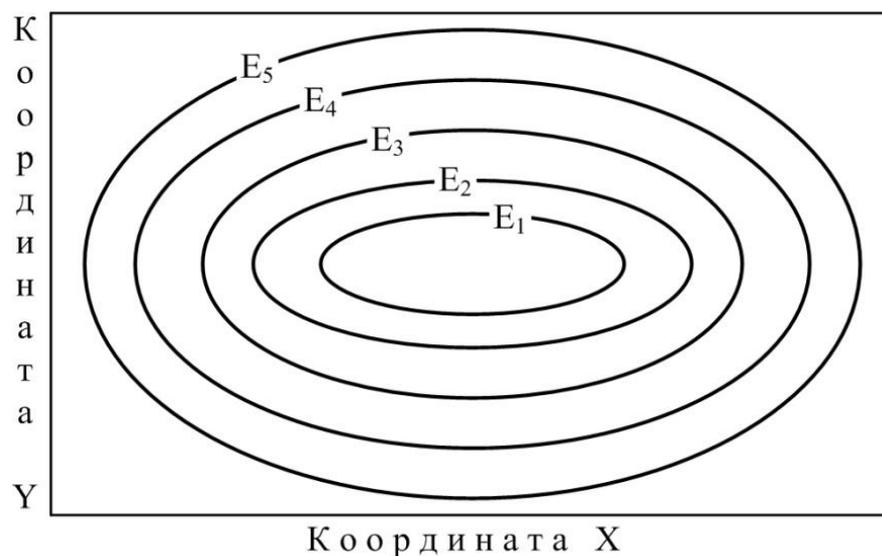


Рис. 1.6. Построение картины изолукс на рабочей поверхности

На рабочей поверхности выбрать контрольную точку, в которой измерить значения горизонтальной, вертикальной и нормальной освещенности. Для этой точки точечным методом произвести расчет горизонтальной, вертикальной и нормальной освещенности и сравнить эти величины с измеренными люксметром. Сделать выводы о точности измерений, объяснить причины отклонений.

### **Контрольные вопросы**

1. Расскажите об устройстве и принципе действия люксметров.
2. Как производится поверка люксметров?
3. В каких единицах измеряются световой поток, силы света, освещенность?
4. В чем сущность точечного метода расчета освещенности?
5. Как с помощью люксметров измерить эритемную облученность?
6. Сформулируйте условие применимости люксметра для измерения эффективных потоков.
7. В чем состоит сущность закона косинуса? Сформулируйте этот закон.

**Тест по лабораторной работе 1**

**1. Простейшим фотоэлектрическим (объективным) люксметром являются**

- а) светофильтры;
- б) селеновый фотоэлемент;
- в) стрелочный гальванометр.

**2. Основная допустимая погрешность люксметра составляет**

- а)  $\pm 10\%$ ;
- б)  $\pm 5\%$ ;
- в)  $\pm 15\%$ .

**3. Что такое селеновый фотоэлемент?**

а) прибор, имеющий спектральную чувствительность, приближенную к чувствительности глаза;

б) прибор, обладающий пропускающей способностью, который служит для преобразования светового потока в определенное значение;

в) полупроводниковый прибор с запирающим слоем, принцип которого основан на фотоэлектрическом эффекте.

**4. Люксметр – это ...**

а) прибор, предназначенный для измерения освещенности, то есть той части видимого излучения, которая эффективно воспринимается глазом человека;

б) прибор, предназначенный для измерения ультрафиолетовой облученности, создаваемой искусственными источниками излучения

в) прибор, преобразующий поглощенную энергию излучения при помощи термоэлемента в электрический сигнал.

**5. Единица измерения освещенности?**

- а) Лм;
- б) Кд;
- в) Вт/м<sup>2</sup>;
- г) Лк.

**6. Какой фотоэлектрический приемник используется как первичный преобразователь в люксметре?**

- а) болометр;
- б) термоэлектрический приемник;
- в) фотоэлемент с внутренним фотоэффектом;
- г) фотоэлектронный умножитель;
- д) вентильный фотоэлемент.

**7. При измерении освещенности, создаваемой различными источниками света, показания люксметра следует умножить на ...**

- а) коэффициент запаса;
- б) коэффициент минимальной освещенности;
- в) поправочный коэффициент;
- г) коэффициент спектральной чувствительности светофильтра.

**8. Какую область облученности можно ориентировочно определить при помощи люксметра Ю-116?**

- а) область фотосинтетически активной радиации;
- б) область ультрафиолетового излучения;
- в) область инфракрасного излучения.

**9. При какой температуре окружающей среды работают приборы Ю-116 и Ю-117?**

- а) от 10 до 35 °С;
- б) от -10 до 20 °С;
- в) от -5 до 45 °С;
- г) от 5 до 35 °С.

**10. Чему равен 1 лк?**

- а) Вт/м<sup>2</sup>;
- б) Лм/ср;
- в) Лм/ м<sup>2</sup>;
- г) Вт·м<sup>2</sup>.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМП  
НАКАЛИВАНИЯ

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** изучить устройство и принцип действия, исследовать электрические и светотехнические характеристики ламп накаливания, сопоставить характеристики ламп различной мощности.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Наиболее массовым источником оптического излучения в настоящее время являются лампы накаливания. Это объясняется их относительно низкой стоимостью, удобством в обращении, простотой в обслуживании, малыми первоначальными затратами при оборудовании осветительных установок, разнообразием конструкций, напряжений и мощностей, отработанностью технологии производства.

Лампа накаливания (рис. 2.1) состоит из стеклянной колбы, внутри которой на крючках закреплена вольфрамовая нить. Напряжение к нити подводится двумя электродами, один из которых соединен с центральной частью, а другой – с резьбой цоколя.

Стеклянная колба лампы специальной мастикой закреплена в цоколе. Диаметр и форма колбы определяют мощность и особенности изготовления лампы. Цоколь предназначен для включения лампы в сеть и может быть в зависимости от назначения лампы резьбовым (тип E), шрифтовым одноконтактным (тип BS), шрифтовым двухконтактным (тип BD), цилиндрическим софитным (тип SV) и фокусирующим (тип P).

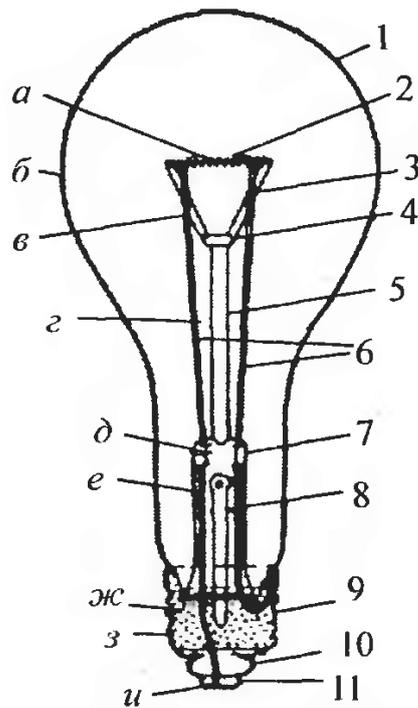


Рис. 2.1. Конструкция лампы накаливания:

1 – колба; 2 – спираль; 3 – крючки; 4 – линза; 5 – штабик; 6 – электроды;  
 7 – лопатка; 8 – штенгель (стержень); 9 – цоколь; 10 – изолятор;  
 11 – нижний контакт. Материал: *a* – вольфрам; *б* – стекло; *в* – молибден;  
*г* – никель; *д* – медь, сталь, никель; *е* – медь; *жс* – цокольная мастика;  
*з* – латунь или сталь; *и* – свинец, олово.

Внутри колбы расположена стеклянная ножка, состоящая из линзы, на которой закреплены крючки-держатели, штабика и лопаточки. Стеклянная ножка заканчивается тарелочкой, внутри которой имеется пустотелая стеклянная трубка (штенгель), предназначенная для откачки воздуха из колбы через откачное отверстие и заполнения ее инертным газом. Ножка служит опорой для тела накала при запаянном штенгеле.

Для получения видимого излучения в лампах накаливания применяется нагрев тела, в частности нагрев электрическим током вольфрамовой нити до температуры от 2800 – 3200 К.

Вольфрам является тугоплавким металлом (его температура плавления порядка 3600 К) и обладает достаточно высокой пластичностью и низкой скоростью испарения. Следует иметь в виду, что при увеличении температуры

тела накала светотехнические характеристики источника света улучшаются, однако при этом сокращается срок службы лампы, так как под влиянием высокой температуры происходит интенсивное испарение вольфрамового тела накала. Нить накала при этом становится тоньше, испарившиеся части вольфрама оседают на внутренней поверхности колбы, вызывая ее потемнение, при этом снижается световой поток и в конечном итоге лампа перегорает. Поэтому температура тела накала имеет значение ниже температуры плавления металла, из которого оно изготовлено.

Для исключения окисления металла лампы накаливания выполняются вакуумными. Для увеличения срока службы и повышения световой отдачи лампы, а также стабильности ее светового потока стремятся снизить скорость испарения материала тела накала. С этой целью колбы ламп накаливания наполняют аргоно-азотной или криптон-ксеноновой смесью. Давление газа в наполненных колбах может достигать 0,08 МПа, но не превышает 0,1 МПа. Кроме того, для уменьшения распыления вольфрама и теплоотдачи уменьшают размеры нити, сворачивая ее в плотную винтовую спираль (моноспираль), а затем в биспираль (спираль, навитую из спирали).

С ростом напряжения на зажимах лампы накаливания значение тока в цепи растет, но не пропорционально напряжению, а несколько медленнее, так как с увеличением тока по закону Джоуля-Ленца повышается выделение теплоты и, следовательно, температура нити накала, а это увеличивает сопротивление нити и уменьшает силу тока.

Мощность лампы как произведение квадрата тока и сопротивления нити растет при увеличении напряжения питания, так как и ток, и сопротивление при этом повышаются.

С ростом температуры нити в соответствии с законом Стефана-Больцмана плотность излучения увеличивается пропорционально абсолютной температуре в четвертой степени и согласно закону Вина максимум излучения нити смещается в сторону более коротких длин волн, то есть в сторону видимого излучения, а это значит, что световой поток лампы растет с

увеличением напряжения. Совершенно очевидно, что световой поток растет быстрее напряжения, так как лучистый поток пропорционален температуре в четвертой степени. По той же причине увеличение светового потока происходит быстрее повышения мощности лампы. А это значит, что световая отдача лампы будет расти при увеличении напряжения. Срок службы лампы с повышением напряжения снижается из-за увеличения скорости испарения частиц вольфрама.

Точные зависимости основных параметров лампы от напряжения определяют экспериментально. В диапазоне изменения напряжения  $0,9 - 1,1 U_n$  эти зависимости описывают аналитическим выражением

$$\text{ток лампы} \quad I_l / I_{л.н.} = (U / U_n)^{0,53}, \quad (2.1)$$

$$\text{мощность ламп} \quad P / P_n = (U / U_n)^{1,53}, \quad (2.2)$$

$$\text{световая отдача} \quad \eta_v / \eta_{вн} = (U / U_n)^{2,14}, \quad (2.3)$$

$$\text{световой поток} \quad \Phi_v / \Phi_{вн} = (U / U_n)^{3,67}, \quad (2.4)$$

$$\text{срок службы} \quad t_{сл} / t_{сл.н} = (U / U_n)^{-13,8}. \quad (2.5)$$

При включении в электрическую сеть лампа накаливания светится. Это можно объяснить следующим образом. До включения лампы под напряжение все ее элементы, и нить накаливания в том числе, находятся при температуре окружающей среды, например  $20^\circ\text{C}$ . При такой температуре нить излучает в окружающее пространство энергию в оптическом диапазоне (по закону Стефана-Больцмана), но это излучение приходится на инфракрасные лучи, которые глаз человека не видит.

После включения лампы под напряжение протекающий по цепи ток в соответствии с законом Джоуля-Ленца нагревает нить и все токоведущие части. Самое большое сопротивление в цепи имеет нить, и поэтому она нагревается значительно сильнее, чем, например, подводные провода. Температура нити повышается до  $2880 - 2950 \text{ K}$ , то есть возрастает примерно в 10 раз. Согласно

закону Стефана-Больцмана плотность излучения нити при этом возрастает в  $10^4$  раз.

Кроме того, в соответствии с законом Вина максимум излучения нити смещается в сторону более коротких длин волн, то есть по инфракрасной области ближе к видимым лучам, а само излучение уже захватывает видимую область спектра (рис. 2.2)

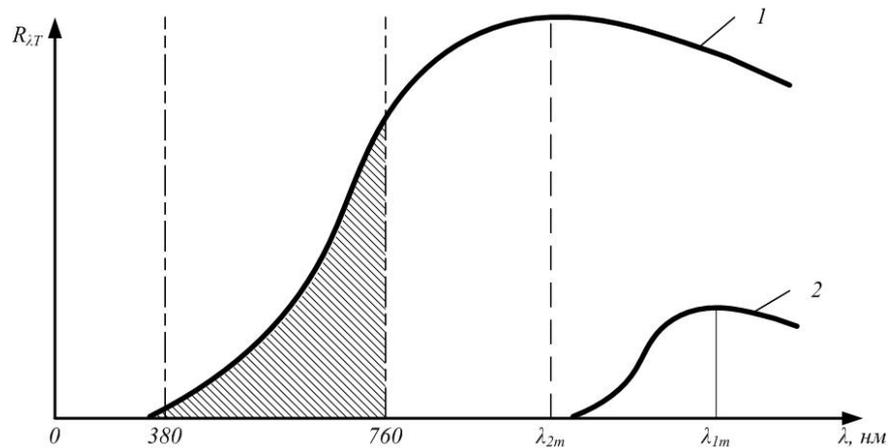


Рис. 2.2. Спектральная плотность излучения тела при различных температурах

$$1 - T_2 = 2900 \text{ К}; 2 - T_1 = 273 \text{ К}$$

Нить излучает теперь вместе с ИК-лучами и видимые. Подводящие же провода при этом не светятся, так как их температура повышается всего на несколько, иногда на десятки градусов.

Наличие переходного процесса при включении лампы накаливания в сеть обусловлено следующими причинами.

Перед включением лампы на напряжение сети температура нити накала равна температуре окружающего воздуха  $20^\circ\text{C}$ .

Сопротивление нити определяется из выражения

$$r_t = r_0 \cdot (1 + \alpha_1 \cdot t). \quad (2.6)$$

В момент включения лампы по цепи потечет ток

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U_n}{r_t} = \frac{U_n}{r_{\text{хол}}}. \quad (2.7)$$

Протекающий по лампе ток нагревает нить до  $T \approx 3000$  К. Ее сопротивление возрастает пропорционально температуре до значения

$$r_t = r_0 \cdot (1 + \alpha_1 \cdot t_{гор}). \quad (2.8)$$

и ток уменьшается до

$$I_{уст} = I_{гор} = \frac{U_H}{r_{гор}}. \quad (2.9)$$

Сопротивление нагретой нити накала примерно на порядок выше сопротивления холодной нити, и, следовательно, пусковой ток на столько же больше номинального тока. Этим и обусловлено наличие переходного процесса включения в сеть активного сопротивления лампы накаливания. Продолжительность переходного процесса составляет несколько десятых долей секунды в зависимости от мощности лампы и напряжения питания. Изменение тока включения лампы во времени схематично показано на рисунке 2.3.

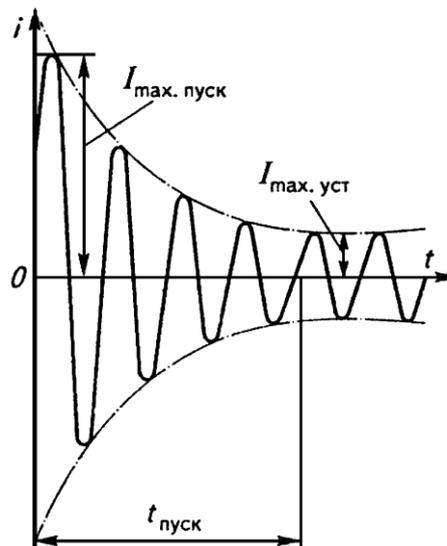


Рис. 2.3. Осциллограмма тока при включении лампы накаливания

Широкое распространение получили галогенные лампы накаливания (ГЛН), в колбу которых добавлен галоген (обычный йод), за счет чего в них осуществляется вольфрамно-галогенный цикл. Под таким циклом понимают комплекс физических и химических процессов, в результате которых частицы

вольфрама, испарившиеся с тела накала, возвращаются с помощью галогенов из области более низких температур в область более высоких. Назначение цикла – предотвращение почернений колбы под действием испарившегося с тела накала вольфрама, то есть сохранение ее прозрачности на протяжении всего срока горения лампы, а также регенерация вольфрамовой спирали. Однако, хотя благодаря галогенному циклу общая масса вольфрамового тела накала остается практически постоянной в процессе горения, нить лампы с течением времени в одних местах уменьшается, а в других – утолщается, то есть процесс перегорания галогенных ламп подобен этому процессу в обычных лампах накаливания.

Лампы общего назначения выпускаются мощностью до 100 Вт на разные номинальные напряжения от 12 до 230 В. Лампы рассчитаны на напряжение в пределах диапазона, указанного в типе лампы.

Спектр излучения ламп характеризуется преобладанием потока в желтой и красной областях и практически отсутствием энергии в синей области.

Маркировка ламп накаливания содержит следующие элементы.

Первый элемент (от 1 до 4 букв) – характеризует лампу по важнейшим физическим и конструктивным особенностям: В – вакуумная моноспиральная; Г – газополная моноспиральная; Б – газополная биспиральная; К – лампы с криптоновым наполнением; МЛ – с матированной колбой; МЛ – в колбе молочного цвета; О – с опалиновой колбой и т.д. Некоторые специальные виды ламп не имеют первого элемента в обозначении.

Второй элемент (1 – 2 буквы) – определяет назначение лампы: А – автомобильная; Ж – железнодорожная; КМ – коммутаторная и т.д.

Третий элемент (цифры) – определяет номинальное напряжение (либо диапазон напряжения питания) в вольтах и через дефис (в зависимости от принятой маркировки и данного вида лампы) – номинальную мощность, Вт; силу света, кд; ток, А, или световой поток, лм.

Теоретически зависимости основных параметров ламп от напряжения питания описываются выражением вида

$$X \approx X_n \cdot \left( \frac{U}{U_n} \right)^k, \quad (2.10)$$

где  $X$  и  $X_n$  – соответственно реальные и номинальные значения параметра;  
 $U$  и  $U_n$  – соответственно реальное и номинальное значение  
напряжения питания, В.

Значения показателей степени « $k$ » для основных параметров ламп  
приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Коэффициенты зависимости основных параметров ламп накаливания от  
напряжения питания

Параметр	Ток, А	Мощность, Вт	Сопротивление, Ом	Температура	Световой поток	Световой КПД	Средний срок службы
k	0,6	1,6	0,4	0,33	3,6	2	-13

## ПЛАН РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию ламп накаливания.
2. Рассчитать и построить графически теоретические зависимости сопротивления, температуры тела накала, светового потока, светоотдачи и срока службы лампы накаливания от напряжения питания.
3. Экспериментальным путем снять зависимость тока, коэффициента мощности, создаваемой освещенности и температуры тела накала различных типов ламп от напряжения питания.
4. По экспериментальным данным рассчитать и построить кривые спектральной плотности излучения ламп различных типов при нормальном значении величин питающего напряжения. Рассчитать и

построить зависимости максимума кривой спектральной плотности излучения, светового и лучистого КПД для лампы одного типа от величины напряжения питания.

5. Выявить зависимость световой отдачи ламп накаливания от номинального значения мощности ламп и напряжения питания.
6. Провести наблюдение переходного процесса при включении лампы накаливания в сеть.

### МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Изучить устройство ламп накаливания, записать паспортные данные исследуемых ламп.

Собрать схему для снятия характеристик ламп накаливания (рис. 2.4).

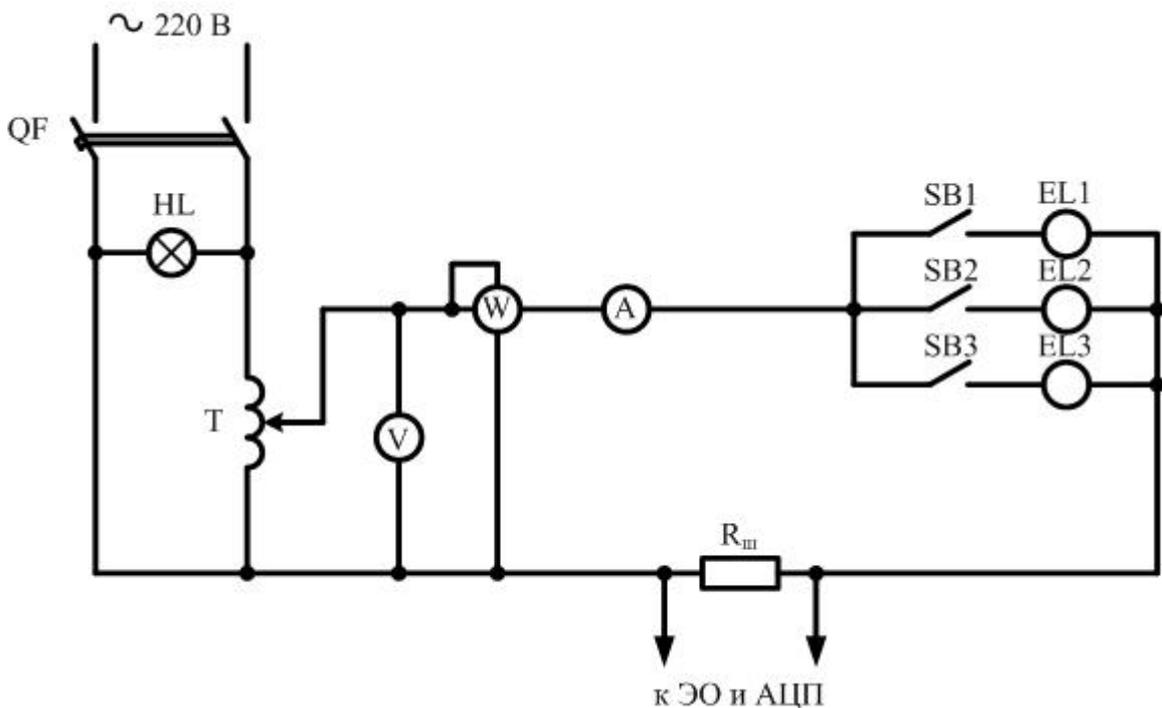


Рис. 2.4. Схема для снятия характеристик ламп накаливания

Изменяя напряжение на зажимах лампы при помощи автотрансформатора, по показаниям приборов снять зависимости тока, освещенности и температуры нити накала от напряжения. Интервалы изменения напряжения 20 В. Диапазон изменения напряжения от 0 до 240 В. Во



По полученным результатам вычислить следующие величины:

- сопротивление лампы  $r_{EL}$ , Ом, при работе

$$r_{EL} = \frac{U_{EL}}{I_{EL}}, \quad (2.12)$$

- световой поток  $\Phi_{EL}$ , лм (приблизенно)

$$\Phi_{EL} \approx 3,4 \cdot \pi \cdot l \cdot E, \quad (2.13)$$

где  $l$  – расстояние от тела накала до фотоэлемента, равное 0,2 – 0,3 м.

- световую отдачу  $\eta_v$ , лм/Вт

$$\eta_v = \frac{\Phi_{EL}}{P_{EL}}, \quad (2.14)$$

- температуру тела накала  $T$ , К

$$T = \frac{r_{EL} - r_0}{\alpha \cdot r_0} + 273. \quad (2.15)$$

Световой КПД лампы  $\eta$  при номинальном напряжении находят по формуле

$$\eta = \frac{\Phi_{EL}}{683 \cdot \eta_e \cdot P_{EL}} = \frac{\Phi_{EL}}{683 \cdot 0,9 \cdot P_{EL}}, \quad (2.16)$$

где  $\eta_e$  – коэффициент преобразования мощности лампы в лучистый поток, то есть лучистый КПД. Для ламп накаливания общего назначения при  $U = U_n$  коэффициент  $\eta_e = 0,9$ .

При любом напряжении на лампе коэффициент преобразования мощности лампы в лучистый поток определяется из выражения

$$\eta_e = \varepsilon_T \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \left( \frac{S_{m.n.}}{P_{EL}} \right), \quad (2.17)$$

где  $\varepsilon_T$  – интегральный коэффициент излучения;

$\sigma$  – постоянная Больцмана, равная  $5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт · м<sup>-2</sup> · град<sup>-4</sup>;

$S_{m.n.}$  – площадь поверхности тела накала, см<sup>2</sup>.



По полученным данным таблицы 2.2 построить зависимости основных параметров ламп от напряжения.

Срок службы лампы в зависимости от напряжения в диапазоне (0,9 – 1,1)  $U_n$  можно рассчитать по формуле

$$t_{cl} = t_{cl.n} \cdot \left( \frac{U}{U_n} \right)^{-13,8}, \quad (2.19)$$

где  $t_{cl.n}$  – срок службы лампы при  $U_{EL} = U_n$ .

Результаты расчетов занести в таблицу 2.5

Таблица 2.5

Зависимость срока службы лампы от напряжения питающей сети

Параметры	Значение параметров							
	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1
$U_{EL}/U_n$								
$t_{cl}/t_{cl.n}$								

По полученным данным построить зависимость изменения срока службы лампы от изменения напряжения питающей сети.

Для удобства проведения анализа результаты расчетов работы измеренные и вычисленные величины необходимо представить в относительных единицах, то есть в долях их номинальных значений при  $U_{EL} = U_n$ . Результаты расчета относительных значений занести в таблицу 2.2. По данным таблиц 2.2 и 2.5 в относительных единицах построить зависимости тока, мощности, температуры нити накала, сопротивления, светового потока, светоотдачи и срока службы от напряжения на лампе  $U_{EL}$ . По данным таблицы 2.4 построить зависимости  $\eta$ ,  $\eta = f(U_{EL} / U_n)$ ,  $\lambda_{max} = f(T)$  и  $\lambda_{max} = f(U_{EL} / U_n)$ . Проанализировать полученные результаты и сделать краткие выводы.

Для наблюдения переходного процесса включения лампы накаливания в сеть необходимо воспользоваться любым электронным импульсным осциллографом.

К вертикальному входу осциллографа ЭО подключить токовый шунт  $R_{ш}$  (см. рис. 2.3). Осциллограф переключить на работу в ждущем режиме.

Требуемые коэффициенты усиления вертикального входа и длительность развертки можно установить, включая лампу несколько раз. Сразу после каждого включения лампу следует отключать, чтобы ее элементы нагревались как можно меньше. На экране настроенного осциллографа должно размещаться изображение кривой тока включения лампы, аналогично приведенному на рисунке 2.3. Затем лампу отключают до полного остывания и после этого включают на номинальное напряжение сети. Осциллограмму тока с экрана перечерчивают на бумагу и помещают в отчете. Масштаб изображения по времени определяют по положению переключателя длительности развертки осциллографа, масштаб тока – по его изображению и показанию амперметра в установившемся режиме. Затем по осциллограмме находят кратность пускового тока лампы  $k_i = I_{i\text{ пуск}} / I_{i\text{ ном}}$  и продолжительность  $t_{i\text{ пуск}}$  переходного процесса включения лампы.

По изложенной методике включить поочередно в сеть несколько разных по мощности ламп. Для каждой из них определить  $k_i$  и  $t_{i\text{ пуск}}$ , сравнить эти значения и сделать выводы.

По справочным данным для ламп шкалы мощностей от 15 до 60 Вт на одинаковое номинальное напряжение рассчитать световые отдачи. Результаты занести в таблицу 2.6.

Таблица 2.6

Данные для определения световой отдачи ламп накаливания различных мощностей

Тип лампы	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт

По таблице 2.6 построить зависимости световой отдачи от номинальной мощности ламп и от номинального напряжения, проанализировать их и сделать выводы.

### Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве лампы накаливания.
2. Почему к концу срока службы лампы накаливания ее световой поток снижается?
3. Укажите способы, снижающие распыление нити накала.
4. Почему лампы накаливания с биспиралью имеют более высокую световую отдачу?
5. Как влияет величина напряжения питания на срок службы ламп накаливания?
6. Сформулируйте законы теплового излучения.
7. Почему отсутствует стробоскопический эффект при питании ламп накаливания переменным током?
8. Почему световая отдача ламп накаливания зависит от номинальных мощностей и напряжения?
9. Что такое освещенность, сила света, световой поток?
10. Поясните понятия светового и лучистого КПД.

**Тесты по лабораторной работе 2**

**1. Что означает первая буква в маркировке лампы накаливания Б 235-245-60**

- а) с опалиновой колбой;
- б) с матированной колбой;
- в) газополная биспиральная;
- г) газополная моноспиральная;
- д) вакуумная моноспиральная.

**2. Материал, из которого изготавливаются нити в лампах накаливания**

- а) молибден;
- б) вольфрам;
- в) сталь;
- г) медь.

**3. Как срок службы ламп накаливания зависит от напряжения питания?**

- а) при повышении напряжения срок службы увеличивается;
- б) при понижении напряжения срок службы уменьшается;
- в) при понижении напряжения срок службы увеличивается;
- г) при повышении или понижении напряжения срок службы уменьшается;
- д) никак не зависит.

**4. Что называется искусственным источником оптического излучения?**

- а) устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в излучение требуемого диапазона волн или заданного спектра;
- б) устройство, предназначенное для создания УФ излучения;
- в) устройство, предназначенное для создания видимого или УФ излучения;
- г) устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

**5. Температура нагрева вольфрамовой нити составляет**

- а) 2300 – 2800 К;
- б) 2800 – 3200 К;
- в) 3200 – 3600 К.

**6. Для каких целей в лампу накаливания добавляют йод?**

- а) для улучшения световых характеристик лампы;
- б) для регенерации вольфрамовой нити;
- в) для уменьшения энергопотребления лампы.

**7. Какое давление газа может достигаться в наполненных колбах?**

- а) 0,08 МПа;
- б) 0,03 МПа;
- в) 0,15 МПа.

**8. С какой целью колбы ламп накаливания наполняют аргоно-азотной или криптон-ксеноновой смесью?**

- а) для уменьшения энергопотребления лампы;
- б) для создания электродного разряда;
- в) для увеличения срока службы лампы и повешения световых характеристик.

**9. Спектр излучения ламп характеризуется**

- а) преобладанием потока в желтой и синих областях;
- б) преобладанием потока в желтой и красной областях;
- в) преобладанием потока в красной и оранжевой областях.

**10. Для чего служит штенгель?**

- а) для создания жесткости крепления электродов;
- б) для образования паров ртути;
- в) для откачки воздуха из колбы и заполнения инертными газами.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** изучить устройство, принцип действия и схему включения люминесцентных ламп. Исследовать их электрические и световые характеристики.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Трубчатые люминесцентные лампы низкого давления (рис. 3.1), получившие широкое применение в осветительных установках, существенно отличаются от ламп накаливания по всем своим характеристикам. В основе действия люминесцентных источников света лежат различные способы превращения отдельных видов энергии в оптическое излучение. В современных источниках света используются электролюминесценция (оптическое излучение атомов, ионов, молекул жидких и твердых тел под действием ударов электронов, ионов, ускоренных в электрических полях, до энергий, достаточных для возбуждения) и фотолюминесценция (оптическое излучение, возникающее при поглощении оптического излучения другого источника).

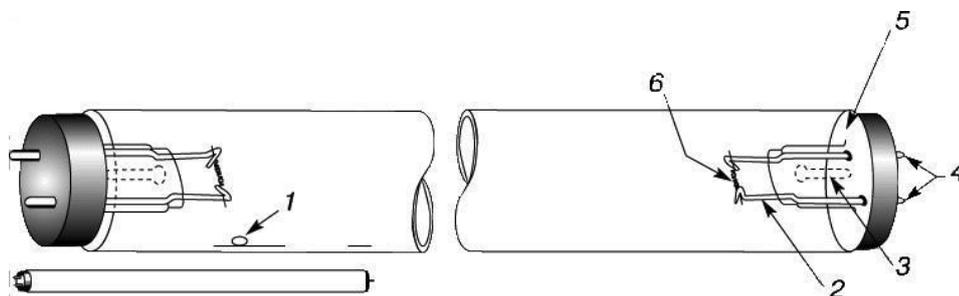


Рис. 3.1. Общий вид ртутной люминесцентной лампы низкого давления:

- 1 - ртуть; 2 - штампованная стеклянная ножка с электропроводами;  
3 - трубка для откачки (при изготовлении); 4 - выводные штырьки; 5 - концевая панелька; 6 - катод с эмиттерным покрытием.

Люминесцентная лампа представляет собой запаянную с обоих концов стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором (люминофоры – твердые и жидкие вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждений). Из трубки откачан воздух, и она заполнена аргоном при давлении 400 Па с добавлением капельки ртути (60 – 120 мг), которая при нагревании превращается в ртутные пары. Назначение аргона состоит в уменьшении распыления покрытия электродов и облегчения зажигания разряда. При разряде возбуждаются и излучают только атомы ртути.

Внутри трубки на ее концах в стеклянных ножках впаяны электроды с вольфрамовой биспиральной нитью, покрытой слоем оксидов щелочно-земельных металлов (бария, кальция, стронция), способствующих более интенсивному излучению электронов (эмиссию электронов). По концам лампа имеет короткие цоколи с полыми штырьками, служащими для включения ее в электрическую сеть. Изнутри к штырькам припаяны выводы электродов.

Когда к противоположным электродам подводится напряжение определенной величины, возникает электрический разряд в газовой среде лампы с выделением теплоты, под действием которой ртуть испаряется. Такой разряд сопровождается мощным ультрафиолетовым излучением, часть которого люминофор преобразует в видимое излучение. Выбором и качеством люминофора определяется цвет излучаемого света и эффективность работы лампы.

Люминофор, применяемый в люминесцентных лампах, представляет собой порошкообразное вещество. Световые свойства лампы в значительной степени зависят от размера зерен, толщины и структуры слоя. Обычно на 1 см<sup>2</sup> поверхности наносится 2 – 3 мг люминофора. Слой люминофора работает на просвет, то есть возбуждается излучением газового разряда изнутри, а излучает в окружающее пространство.

Основными свойствами люминофора являются следующие:

- спектр поглощения люминофора расположен в зоне меньших длин волн, чем спектр его излучения;
- спектр излучения люминофора не зависит от характера спектра поглощенного излучения и является сплошным;
- спектр излучения люминофора определяется только его химическим составом и не зависит от спектра поглощенного излучения.

Для зажигания и горения ламп необходимо включение последовательно с ним пускорегулирующих аппаратов. Существуют стартерные и бесстартерные ПРА, причем в первых начальный подогрев электродов обеспечивается кратковременным замыканием контактов стартера, включенного параллельно лампе, во-вторых – подачей на электроды напряжения от специальных устройств, построенных на базе схем умножения напряжения, накальных трансформаторов и т.п. Стартерные схемы включения люминесцентных ламп (рис. 3.2) получили большее распространение, поскольку достаточно просты, имеют малые потери мощности и меньшую стоимость по сравнению с бесстартерными схемами.

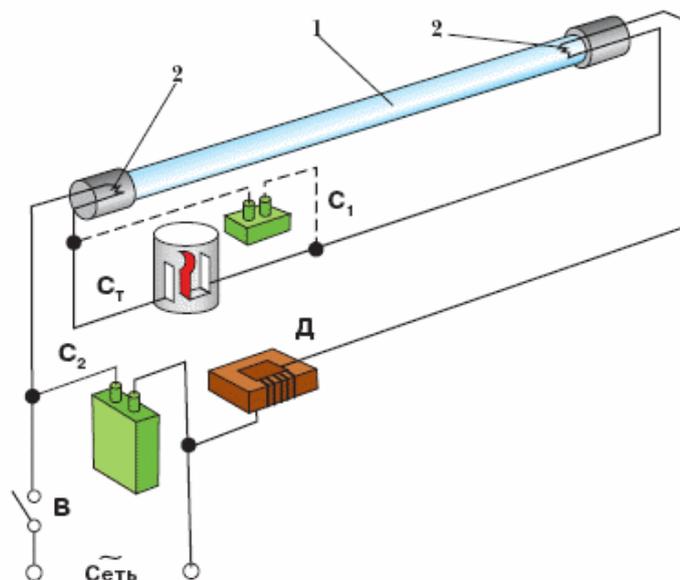


Рис. 3.2. Схема включения люминесцентной лампы:

$1$  – стеклянная трубка;  $2$  – электроды;  $C_T$  – стартер;  $C_1$  и  $C_2$  – конденсаторы;  $Д$  – дроссель;  $В$  – выключатель

Однако наличие стартера иногда может приводить к «миганиям» и выходу из строя ламп. Кроме того, при пониженной температуре, если электроды лампы не успели как следует прогреться, лампа может не зажечься. Существуют различные типы стартеров. Наиболее распространенным является стартер тлеющего разряда, представляющий собой небольшую газоразрядную лампу тлеющего разряда в стеклянной колбе, заполненной смесью инертных газов (60% аргона, 28,8% неона и 11,2% гелия). Стеклянная колба помещена в пластмассовый или металлический корпус. Один из электродов стартера жесткий, неподвижный, изготовленный из никеля, а второй – подвижный, представляющий собой биметаллический элемент, состоящий из двух пластин с различными коэффициентами линейного расширения (существуют конструкции стартера с двумя подвижными контактами).

В момент включения схемы в сеть (рис. 3.3) к электродам лампы *1* и стартера *2* приложено полное сетевое напряжение, так как тока в цепи нет и потеря напряжения на дросселе *3* отсутствует. Пока электроды лампы не нагрелись, напряжения сети недостаточно для зажигания лампы, однако достаточно для зажигания стартера. В стартере возникает разряд и в схеме протекает ток по цепи: сеть – первый электрод лампы – стартер – второй электрод лампы – дроссель – сеть.

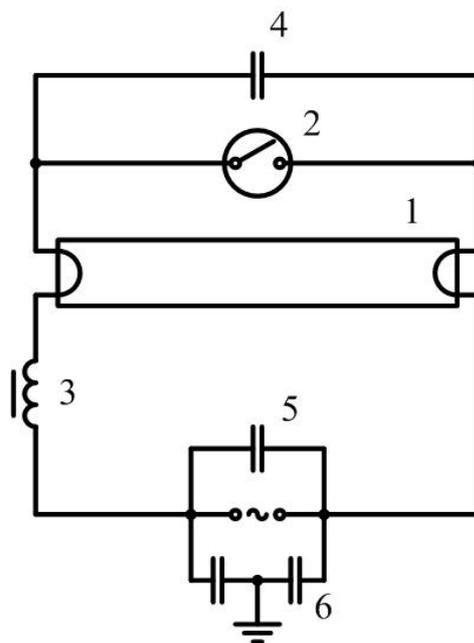


Рис. 3.3. Стартерная схема включения люминесцентной лампы

Значение тока в этот момент составляет всего лишь сотые доли ампера, поэтому электроды лампы сильно разогреться не могут. Но для нагрева биметаллического электрода в стартере достаточно теплоты, выделяющейся при разряде. В результате нагрева биметаллическая пластина изгибается и замыкает стартер накоротко. При этом ток в цепи возрастает до 0,5 – 0,6 А и электроды лампы быстро разогреваются. Поскольку тлеющий разряд, сопровождающийся выделением теплоты, в стартере при замыкании электродов прекращается, электроды стартера начинают остывать и размыкаются. Мгновенный разрыв цепи вызывает появление ЭДС на дросселе в виде мгновенного пика напряжения. При этом лампа, электроды которой уже раскалены, зажигается. После зажигания лампы в ее цепи устанавливается рабочий ток. Напряжение на зажимах лампы составляет около половины подведенного, остальная часть напряжения теряется на дросселе. Следовательно, в нормальном режиме работы лампы на зажимах стартера напряжение составляет примерно половину напряжения сети, что недостаточно для его повторного срабатывания.

Для устранения ряда недостатков, сопровождающих работу газоразрядных ламп, в схему вводятся конденсаторы **4** – **6**. Параллельно электродам стартера включается конденсатор **4**, назначение которого состоит в уменьшении амплитуды и увеличении длительности импульса напряжения, что способствует надежному зажиганию лампы. Кроме того, этот конденсатор снижает уровни радиопомех, возникающих при включении лампы. Параллельно лампе включается конденсатор **5**. Он предназначен для повышения коэффициента мощности схемы. Также параллельно лампе подключаются конденсаторы **6**, средняя точка которых соединяется с корпусом светильника. Они предназначены для подавления радиопомех, распространяющихся по сети.

При работе люминесцентных ламп с некомпенсированными ПРА коэффициент мощности комплекта «лампа – ПРА» в зависимости от мощности

ламп находится в пределах 0,35 – 0,5; при двухламповых компенсированных ПРА – не ниже 0,92; при одноламповых компенсированных – не ниже 0,85.

Время зажигания ламп при номинальном напряжении электрической сети должно составлять не более 10 с, а время выхода ламп на предельные характеристики – не более 15 мин. Обычные типы ламп предназначены для работы при температуре окружающей среды 15 – 25 °С. При больших или меньших температурах световая отдача ламп снижается, а при температуре ниже 5 °С устойчивое зажигание ламп не обеспечивается. В жарких помещениях применяются специальные амальгамные лампы (типа ЛБА), имеющие нормальную световую отдачу при высоких температурах.

Изменение величины напряжения на зажимах лампы приводит к изменению ее электрических и световых характеристик. С ростом подаваемого на схему напряжения ток в цепи увеличивается. В соответствии с падающей ВАХ лампы напряжение на ней падает (рис. 3.4). Мощность лампы увеличивается, так как напряжение снижается медленнее, чем повышается ток.

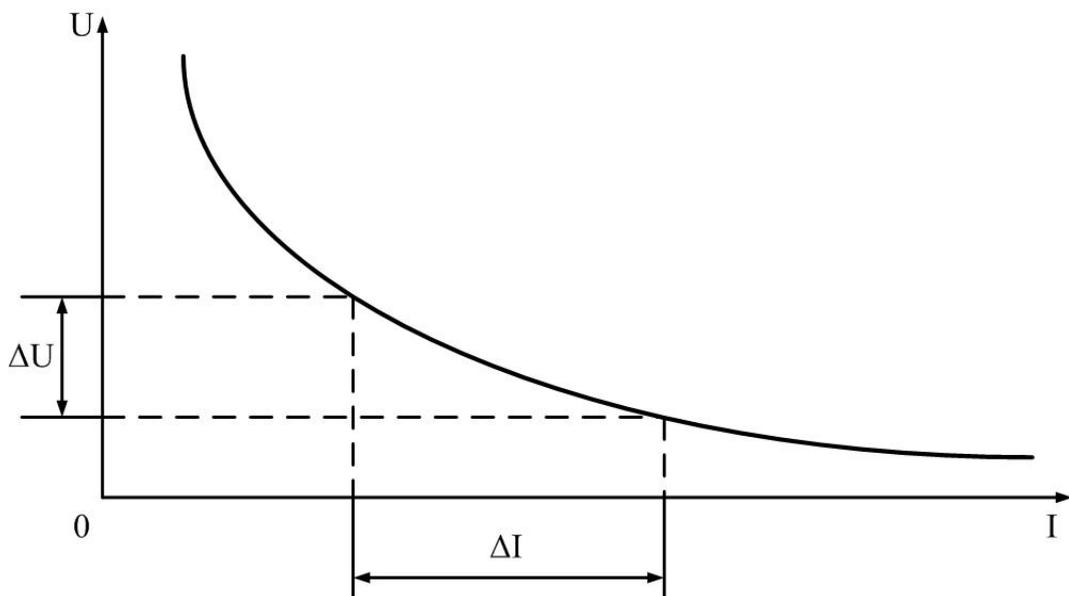


Рис. 3.4. Статическая вольт-амперная характеристика люминесцентной лампы

Световой поток лампы с увеличением напряжения также увеличивается, но медленнее, чем мощность, то есть светоотдача лампы при этом уменьшается. Это объясняется насыщением люминофорного покрытия. Все частицы

люминофора участвуют в процессе преобразования ультрафиолетового излучения разрядного промежутка в видимое уже при нормальном напряжении. Поэтому повышение мощности разряда увеличивает ультрафиолетовый поток, но видимый поток возрастает медленнее мощности. Наибольший срок службы лампы будет при работе на номинальном напряжении. При снижении напряжения для зажигания лампы требуется большее число срабатываний стартера. Возникающее при этом импульсное воздействие тока разрушает оксидное покрытие электродов и снижает срок службы лампы. При повышении напряжения повышается плотность тока на электродах, что приводит к их преждевременному разрушению и снижению срока службы лампы.

В настоящее время для зажигания и работы люминесцентных ламп применяются электронные пускорегулирующие аппаратуры (ЭПРА), в которых частота питающего тока повышается до 20 – 40 Гц. Данные устройства обладают следующими преимуществами по сравнению с традиционными электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ЭмПРА):

- снижение потребления электроэнергии комплектом ЭПРА – лампа в среднем на 20%;
- повышение световой отдачи лампы на 5 – 7% при работе на повышенной частоте;
- экономия дефицитных материалов – меди и стали;
- высокое качество светового потока лампы вследствие низких значений коэффициента пульсации светового потока (5 – 15%) и отсутствие стробоскопического эффекта;
- снижение массогабаритных показателей на 40 – 70%;
- благоприятный («щадящий») режим зажигания лампы;
- повышение срока службы лампы на 10 – 50% за счет стабильных параметров зажигания и горения;
- отсутствие мигания лампы в пусковом режиме;
- бесшумность работы ЭПРА;

- возможность регулирования светового потока светильника в диапазоне 10 – 100% в ручном и автоматическом режиме;

- автоматическое отключение ламп в конце их срока службы, а также неисправных ламп.

Маркировка люминесцентных ламп основана на буквенном обозначении конструктивных признаков. Первая буква – Л – люминесценция, следующие буквы обозначают либо цвет излучения, либо особенности спектра излучения: ТБ – тепло-белая; Б – белая; ХБ – холодно-белая; Д – дневная; Е – естественно-белая; УФ – ультрафиолетовая; К, С, З, Г – соответственно красная, синяя, зеленая и голубая; Ф – фотосинтетическая. Следующие буквы обозначают конструктивные признаки: Р – рефлекторная; У – дугообразная; К – кольцевая; Б – быстрого запуска; А – амальгамная. Лампы с улучшенной цветопередачей имеют в своем обозначении букву Ц. Сразу после буквенного обозначения следуют цифры, указывающие номинальную мощность лампы в ваттах (через тире может быть указан порядковый номер разработки).

Основными достоинствами люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания являются

- более благоприятный спектральный состав излучения;
- значительно более высокая (в 4 – 6 раз для ламп одинаковой мощности) световая отдача;
- значительно меньшая яркость;
- большой срок службы.

Наряду с этим у люминесцентных ламп имеются и недостатки:

- более сложная схема включения в сеть, требующая дополнительной пускорегулирующей аппаратуры;
- зависимость показателей работы от условий окружающей среды;
- пульсация светового потока, вызывающая явление стробоскопического эффекта;
- сравнительно малая единичная мощность ламп;
- меньшая надежность в работе.

## ПЛАН РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию лампы, устройство и назначение пускорегулирующей аппаратуры, электрическую схему включения лампы и ее работу.
2. Построить диаграмму напряжений и тока люминесцентной лампы при ее зажигании.
3. Экспериментально снять зависимости основных характеристик лампы от величины напряжения питания, построить их графически.
4. На основании опытных данных построить вольт-амперные характеристики лампы и балластного сопротивления.
5. Для номинального режима работы лампы определить емкость конденсатора, необходимого для повышения коэффициента мощности схемы до значения, указанного преподавателем (0,9 – 0,95), включить емкость в схему и снять данные для проверки результатов.

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Основные зависимости для люминесцентной лампы снимают на опытной установке, схема которой приведена на рисунке 3.5.

Для построения схематической диаграммы напряжений и токов в процессе включения лампы в сеть необходимо измерить ток стартера при тлеющем разряде в нем, ток разогрева электродов лампы (определяемого при замкнутых контактах стартера), ее номинальный рабочий ток, зафиксировать изменение напряжения на лампе в процессе ее зажигания. Измерения проводят следующим образом.

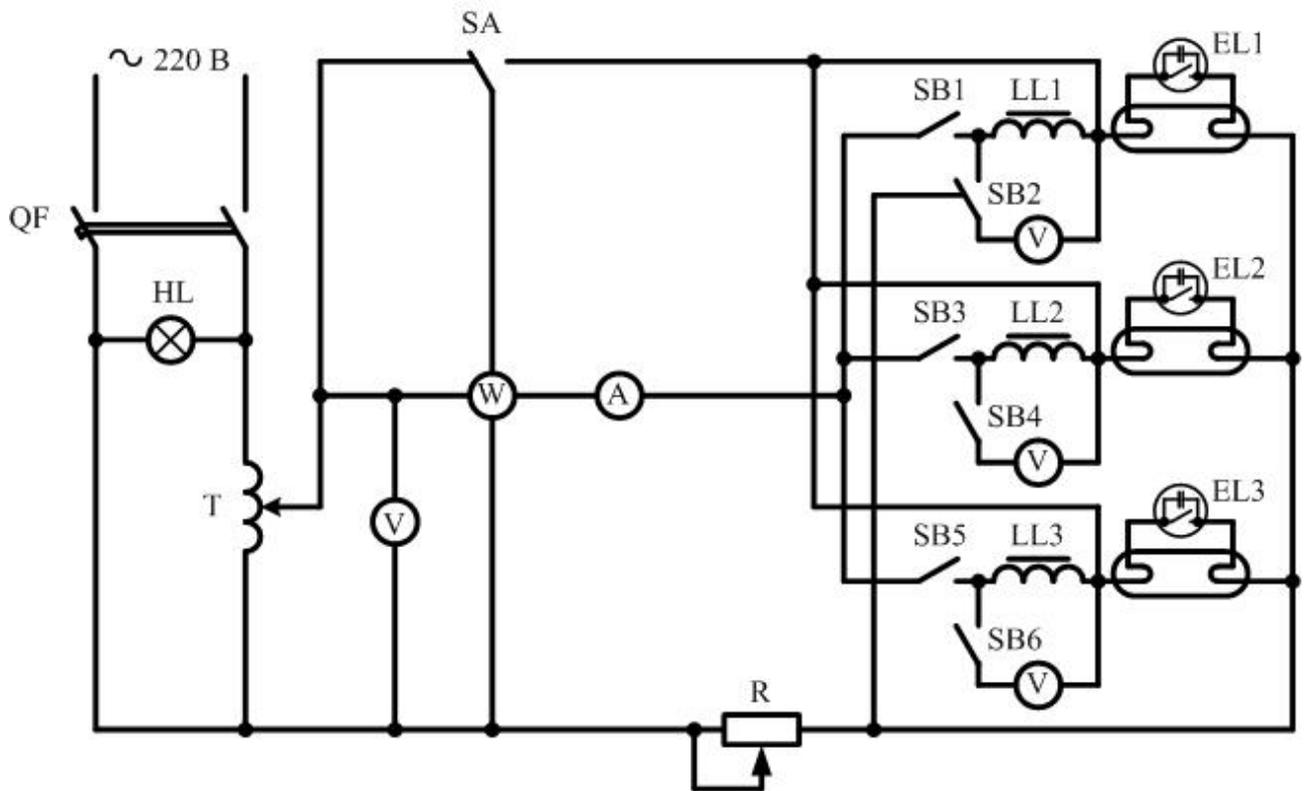


Рис. 3.5. Электрическая схема для исследования характеристик люминесцентных ламп

Включают автоматический выключатель, при помощи автотрансформатора устанавливают напряжение 220 В на зажимах схемы. Лампа при этом будет гореть, а амперметр показывать ее номинальный ток. Не изменяя напряжения, отключают рубильник и дают лампе остыть в течение нескольких минут. Затем проводником закорачивают стартер и включают рубильник. Амперметр показывает значение тока разогрева электродов. Ток тлеющего разряда стартера имеет значение порядка 10 мА. Измерить его в лабораторных условиях трудно, изобразить в масштабе с другими токами сложно. Поэтому при построении диаграммы можно принять его равным например  $0,1I_n$ .

Зависимости тока, мощностей лампы и схемы, напряжения на лампе и освещенности от напряжения питания схемы получают, изменяя это напряжение при помощи автотрансформатора. Интервал замеров 10 В. Измерения удобно начинать с максимального значения напряжения, равного 240 – 250 В. Освещенность от лампы в точке на вспомогательной плоскости

(рис. 3.6) определяют как разность показаний люксметра при включенной и выключенной лампе. Результаты замеров заносят в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

## Характеристики люминесцентных ламп

Номер измерения	Опытные данные											Расчетные данные										
	$U_{num}$		$I_{EL}$		$U_{EL}$		$P_{cx}$		$P_{EL}$		$E$		$\Phi_{EL}$		$\eta_{EL}$		$\eta_{cx}$		$\cos\varphi$		$k_{иск}$	
	В	о.е.	А	о.е.	В	о.е.	Вт	о.е.	Вт	о.е.	лк	о.е.	лм	о.е.	лм/Вт	о.е.	лм/Вт	о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	

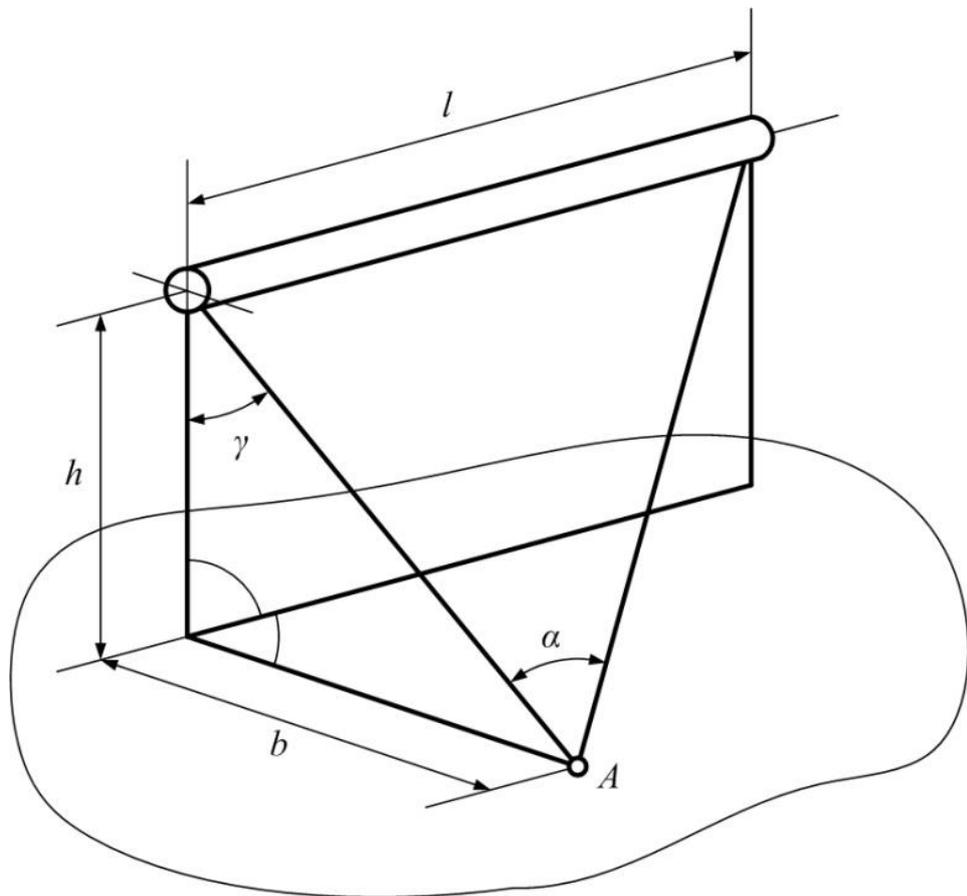


Рис. 3.6. Эскиз для определения освещенности точки от люминесцентной лампы

Для каждого значения напряжения по полученным данным вычисляют следующие величины:

- световой поток по формуле для определения освещенности от светящей линии (рис. 3.6)

$$\Phi_v = \frac{50 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot l \cdot h \cdot E_A}{\left( \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \cdot \cos^2 \gamma}, \quad (3.1)$$

где для упрощения расчетов точку  $A$  следует брать так, чтобы угол  $\gamma = 0$ .

- светоотдачу лампы

$$\eta_{EL} = \frac{\Phi_{EL}}{P_{EL}}, \quad (3.2)$$

- светоотдачу всей схемы

$$\eta_{cx} = \frac{\Phi_{EL}}{P_{cx}}, \quad (3.3)$$

- коэффициент мощности схемы

$$\cos \varphi = \frac{P_{cx}}{U_{cx} \cdot I_{EL}}, \quad (3.4)$$

- коэффициент искажения

$$k_{иск} = \frac{P_{EL}}{U_{EL} \cdot I_{EL}}. \quad (3.5)$$

Замеренные и вычисленные величины для удобства можно представить в относительных единицах, то есть в долях от номинальных значений при  $U = U_n = 220$  В. Результаты занести в таблицу 3.1.

По данным таблицы в относительных единицах построить графики тока лампы  $I_{EL}$ , мощности лампы  $P_{EL}$  и мощности схемы  $P_{cx}$ , светового потока, светоотдачи лампы  $\eta_{EL}$  и схемы  $\eta_{cx}$ , коэффициента мощности  $\cos \varphi$ , коэффициента искажения  $k_{иск}$  в зависимости от напряжения на зажимах схемы.

Схема люминесцентной лампы имеет  $\cos \varphi = 0,6 - 0,5$ . Для повышения коэффициента мощности до  $0,9 \dots 0,95$  параллельно с лампой и дросселем включают конденсатор. При полной компенсации индуктивности схемы емкость этого конденсатора рассчитывают по формуле

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{\omega \cdot Z_{cx} \cdot \sin \varphi}. \quad (3.6)$$

Сопротивление схемы  $Z_{cx}$ , лампы  $Z_l$  определить как отношение соответствующего напряжения к току.

При определении емкости конденсаторов, предназначенных для повышения коэффициента мощности установки от  $\cos \varphi_1$  до  $\cos \varphi_2$ , используют формулу

$$C = \frac{P_{cx} \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)}{\omega \cdot U_C^2}. \quad (3.7)$$

Результаты измерений и расчетов параметров схемы в двух вариантах (без компенсации, когда  $C_l = 0$ , и при включенной расчетной компенсирующей емкости) заносят в таблицу 3.2 и сравнивают между собой.

Таблица 3.2

Исследование метода повышения мощности схемы с помощью конденсатора

$U_{сети}, \text{В}$	$I_{EL}, \text{А}$	$P_{cx}, \text{Вт}$	$P_{EL}, \text{Вт}$	$U_{EL}, \text{В}$	$E, \text{лк}$	$C_l, \text{Ф}$	$\cos \varphi, \text{о.е.}$
220							

### Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве люминесцентной лампы.
2. Расскажите об элементах стартерной схемы включения люминесцентной лампы и их работе.
3. Перечислите преимущества и недостатки люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания.
4. Как влияют условия окружающей среды на работу люминесцентных ламп?
5. В каком случае применение люминесцентного освещения экономически оправдано?
6. В чем заключается способ увеличения коэффициента мощности установки с люминесцентными лампами?
7. Что такое коэффициент искажения и коэффициент мощности?
8. Почему люминесцентные лампы не могут быть включены в сеть без балластного сопротивления?
9. Как изменяются основные характеристики ламп при изменении напряжения питания?
10. Какие внешние условия необходимы для нормальной работы установки с люминесцентными лампами?
11. Опишите процесс зажигания люминесцентной лампы.
12. Преимущества электронных ПРА.

**Тесты по лабораторной работе 3****1. Укажите состав газового наполнения люминесцентных ламп**

- а) аргон + кислород;
- б) аргон + пары ртути;
- в) аргон + неон + гелий;
- г) пары ртути + неон.

**2. Укажите причину, по которой колбу люминесцентной лампы наполняют смесью инертного газа с парами ртути**

- а) уменьшение распыления покрытия электродов и облегчения зажигания разряда;
- б) создание оптимальных условий для возникновения электрического разряда;
- в) для возбуждения и излучения.

**3. Для чего служит слой люминофора?**

- а) для создания электрического разряда;
- б) для преобразования УФ излучения в видимое излучение;
- в) для преобразования ИК излучения в видимое излучение.

**4. Как влияют условия окружающей среды на работу люминесцентных ламп?**

- а) при понижении температуры устойчивое зажигание не обеспечивается;
- б) при повышении температуры устойчивое зажигание не обеспечивается;
- в) не зависит от условий окружающей среды.

**5. Средняя продолжительность работы люминесцентной лампы составляет ...**

- а) 100000 ч;
- б) 10000 - 12000 ч;
- в) 1000 - 2000 ч.

**6. Укажите правильную маркировку для ЛЛ с улучшенной цветопередачей**

- а) ЛБ;
- б) ЛД;
- в) ЛБЦ;
- г) ЛХБ.

**7. Как сказываются изменения напряжения сети на срок службы люминесцентной лампы?**

- а) с понижением напряжения срок службы увеличивается;
- б) с повышением напряжения срок службы увеличивается;
- в) с повышением или понижением напряжения срок службы сокращается;
- г) с повышением или понижением напряжения срок службы увеличивается.

**8. Какое давление создается в люминесцентной лампе при заполнении ее аргоном?**

- а) 0,8 МПа;
- б) 400 Па;
- в) 60 кПа.

**9. Каково процентное соотношение инертных газов в люминесцентной лампе?**

- а) 60% аргона, 28,8% неона, 11,2% гелия;
- б) 40% аргона, 32,5% неона, 27,5% гелия;
- в) 80% аргона, 15% неона, 5% гелия.

**10. При какой температуре устойчивое зажигание лампы не обеспечивается?**

- а) ниже 10 градусов Цельсия;
- б) ниже -10 градусов Цельсия;
- в) ниже 5 градусов Цельсия;
- г) ниже -5 градусов Цельсия;
- д) ниже 0 градусов Цельсия.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ С БАЛЛАСТНЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** изучить условия пуска и работы люминесцентных ламп в схемах с различными балластами. Исследовать электрические и световые характеристики люминесцентных ламп при работе с различными балластными сопротивлениями.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Принцип работы разрядных источников света заключается в генерировании излучения при электрическом разряде в газе или парах металлов. Рабочим режимом при этом является дуговой разряд с падающей вольт-амперной характеристикой. Для стабилизации разряда последовательно с разрядным промежутком необходимо включать дополнительное балластное сопротивление.

В качестве балласта к люминесцентным лампам можно применять индуктивное, емкостное и активное сопротивления.

Люминесцентная лампа при использовании дроссельного балласта снижает  $\cos\varphi$  на зажимах лампы до  $0,6 \div 0,65$ . Поэтому на практике для удержания  $\cos\varphi$  всей осветительной установки в пределах  $0,92 \div 0,95$  половину ламп включают через индуктивное балластное устройство, а половину – через емкостное - УБИ-40/220 и УБЕ-40/220 соответственно. В светильниках с четырьмя лампами первая пара ламп включается через 2УБИ-20/220, вторая пара – через 2УБЕ-20/220 – это позволяет удержать  $\cos\varphi$  светильника в вышеназванных пределах.

Люминесцентные лампы одной пары включены последовательно на напряжение 110 В. На рисунке 4.1 приведена элементарная схема включения люминесцентной лампы.

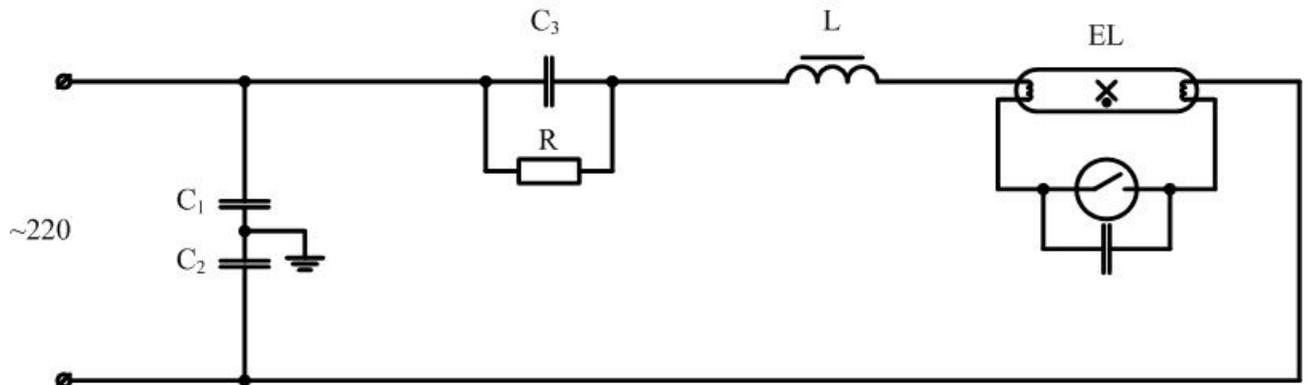


Рис. 4.1. Схема включения люминесцентной лампы типа ЛБ-40

Емкость  $C_3$  и индуктивность  $L$  создают последовательный резонансный контур с довольно высокой добротностью. После прогрева электродов лампы и разрыва цепи статора энергия, накопленная в  $L$ , создает мощный импульс напряжения, который и зажигает лампу. Очевидно что, изменяя параметры емкости  $C_3$  и индуктивности  $L$ , можно изменять величину импульса напряжения, а значит изменять и пороговое напряжение зажигания лампы.

Изменяя параметры  $C_3$  и  $L$ , которые являются реактивными сопротивлениями последовательной цепи, можно изменять напряжение на лампе, а, следовательно, и потери в ПРА.

## ПЛАН РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методами пуска и работы люминесцентной лампы в схемах с индуктивным и емкостным балластным сопротивлением.
2. Дать экспериментальную оценку работы лампы с различными балластами. Снять зависимости тока, мощности, напряжения на лампе и создаваемой ею освещенности на вспомогательной плоскости от напряжения питания в схемах с индуктивными и емкостными балластами.

3. Определить зависимость потока и светоотдачи люминесцентной лампы от напряжения питания в схемах с различными балластными сопротивлениями.
4. Определить, как влияет люминесцентная лампа на показатели питающей сети.
5. Исследовать, как влияют параметры пускорегулирующего устройства на светотехнические характеристики лампы.
6. Построить кривые  $I$ ,  $\Delta P_{пра}$  и  $\cos \varphi$  в функции величин  $L$  и  $C$ .

### МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Схема исследования люминесцентной лампы с индуктивными и емкостными балластами представлена на рисунке 4.2.

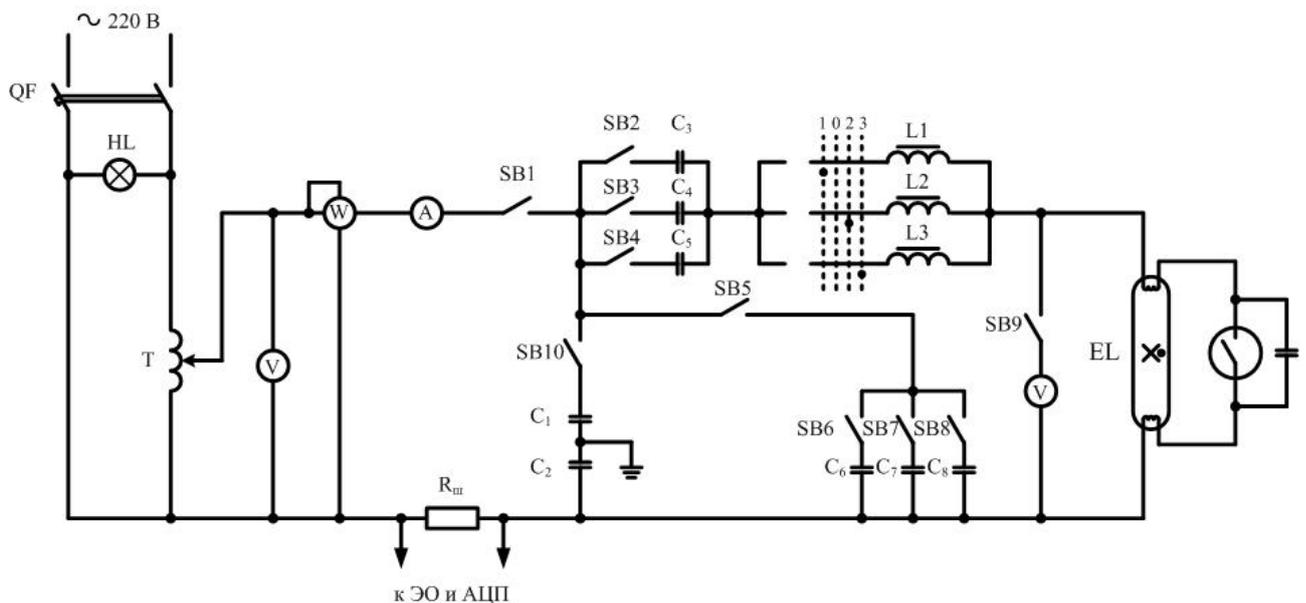


Рисунок 4.2. Электрическая схема для исследования люминесцентной лампы с балластными сопротивлениями

Исследование пуска люминесцентной лампы сводится к следующему:

**I этап** – это нормальный режим лампы при номинальном напряжении,  $C_3 = 4$  мкФ и  $L_1$  (УБИ40) (рис. 4.1) элементы штатного ПРУ.

Для этого проверяются приведение всех тумблеров и переключений в положение «откл», подключают осциллограф к выведенным клеммам; включают автомат  $QF$ , кнопку  $SB2$  емкости  $C_3$ ,  $SB10$  и переключатель  $SA$  в положение 1; затем включают  $SB1$ . После этого снимают показания тока лампы  $I_L$ , коэффициента мощности  $\cos\varphi$  и напряжение на лампе  $U_2$ .

Осциллограф настраивают на получение развертки 2-3 периодов  $\sin$  напряжения сети достаточной амплитуды. Все показания заносятся в таблицу 4.1.

**II этап** – это режимы с переменными  $C$  и  $L$  в цепи лампы. Варианты указаны в таблице 4.1. Снимаются показания  $I_L$ ,  $\cos\varphi$ ,  $U_2$  для всех вариантов в таблице и сравниваются с номинальным режимом. Делается анализ характера изменения кривых  $I$ ,  $\Delta P_{ПРА}$  и  $\cos\varphi$  (рис. 4.3).

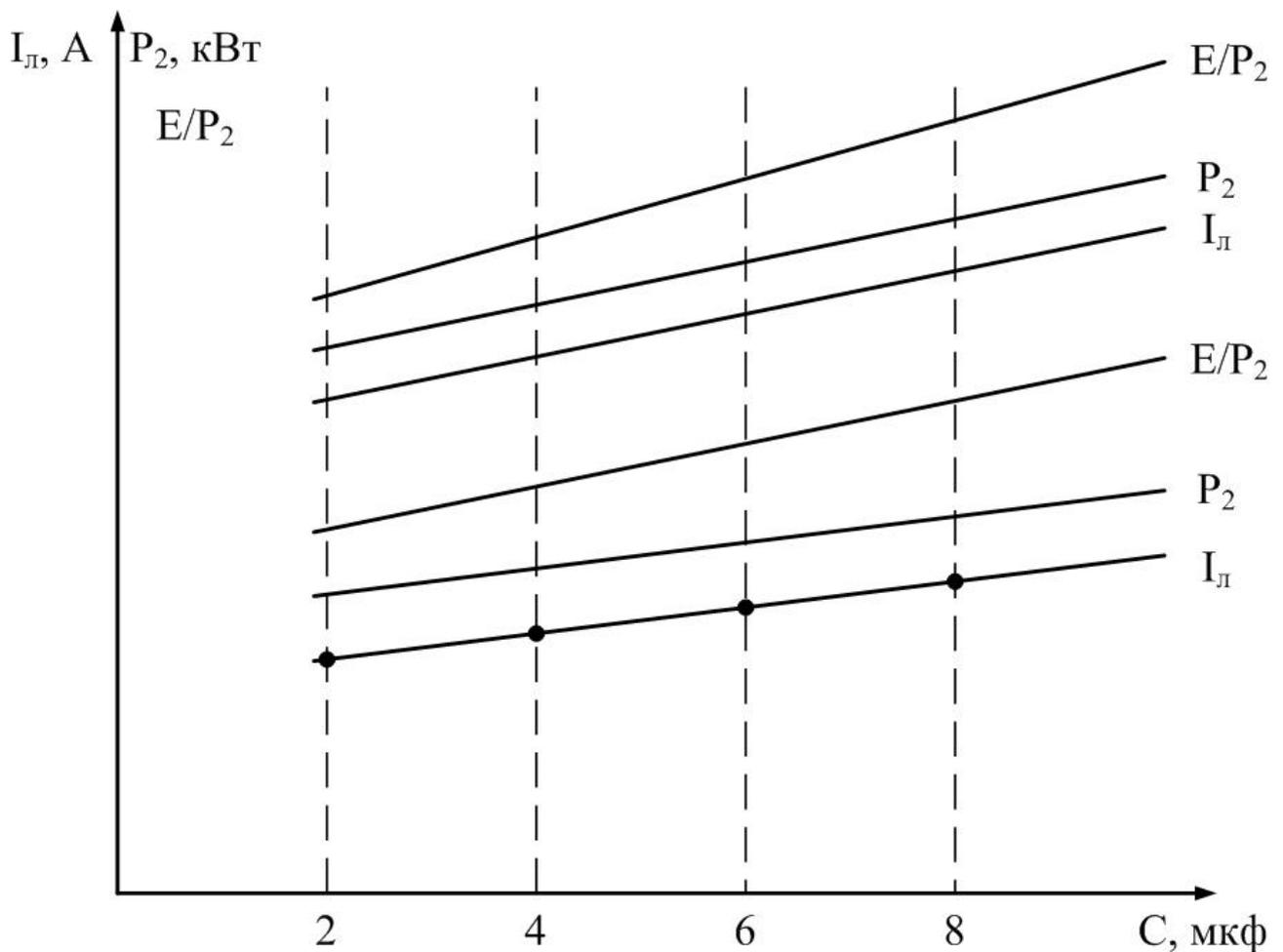


Рис. 4.3. График изменения кривых тока, мощности ПРА и коэффициента мощности

**III этап** – это исследование влияния величины  $C$  при штатном УБИ-40/220 на величину порогового напряжения зажигания лампы. Рассматриваются три возможности:  $C = 2$  мкф,  $C = 4$  мкф,  $C = 6$  мкф. Путем ступенчатого изменения напряжения сети с 220 В до 180 В и периодического включения – отключения лампы тумблером  $SB1$  определить пороговое напряжение зажигания. Данные исследования заносятся в таблицу 4.2.

Таблица 4.1

Расчетные данные изменения емкостного и индуктивного балластного сопротивления

Варианты		$U_{сети},$ В	$I_l, А$	$\cos \varphi$	$P_l, ВА$	$U_2, В$	$\Delta P_{ПРА},$ ВА	$\sin$ $U_{сети}$
1		2	3	4	5	6	7	8
Нормальный режим		220						
$C_{2мкф}$	$L_1$	220						
	$L_2$							
	$L_3$							
$C_{4мкф}$	$L_1$	220						
	$L_2$							
	$L_3$							
$C_{6мкф}$	$L_1$	220						
	$L_2$							
	$L_3$							
$C_{8мкф}$	$L_1$	220						
	$L_2$							
	$L_3$							

Примечание: В графе 8 отмечается изменение формы  $\sin U_{сети}$ , если таковое появится:  $P_l = I \cdot U_c$ ,  $\Delta P_{ПРА} = \frac{I \cdot (U_c - U_2)}{P_l} \cdot 100\%$ .

Таблица 4.2

Таблица для определения порогового напряжения зажигания лампы

$U_{сети}$	220	215	210	200	195	190	185	180
$C_2$	+	+	+	+	-			
$L_3 \ C_4$	+	+	+	+	+	-		
$C_6$	+	+	+	+	+	+	-	

Примечание:  $L_3$  – УБИ-40/220, зажигание ЛБ отмечать +.

**Контрольные вопросы**

1. От чего может зависеть светоотдача источника света?
2. Назначение УБИ в ПРА люминесцентных ламп.
3. Что преследуется использованием в роли «балласта» в 2-х ламповом светильнике совместно УБИ и УБЕ?
4. Как влияет температура окружающей среды на зажигание и горение ламп типа ЛБ?
5. Какие схемы зажигания люминесцентных ламп используются в промышленных облучательных установках?
6. Как можно снизить потери мощности в ПРА?
7. Для чего служат емкости  $C_1$ ,  $C_2$  на рисунке 4.2?

**Тесты по лабораторной работе 4**

**1. Принцип работы разрядных источников света заключается в ...**

- а) излучение света с помощью нити накала по закону Джоуля-Ленца;
- б) генерирование излучения при электрическом разряде в газе;
- в) генерирование излучения в плазме.

**2. Для чего служат конденсаторы на входе схемы включения?**

- а) для повышения напряжения зажигания лампы;
- б) для стабилизации напряжения;
- в) для защиты схемы от радиопомех.

**3. На сколько снижает дроссельный балласт коэффициент активной мощности?**

- а) 0,92 – 0,95;
- б) 0,6 – 0,65;
- в) 0,45 – 0,5.

**4. Как расшифровывается УБИ?**

- а) устройство балластное индуктивное;
- б) устройство балластное импульсное;
- в) устройство с бивольфрамовыми излучателями.

**5. При изменении параметров емкости и индуктивности изменяется ...**

- а) световой поток лампы;
- б) напряжение на лампе и потери ПРА;
- в) время зажигания лампы.

**6. В качестве балласта к люминесцентным лампам можно применять...**

- а) только индуктивное сопротивление;
- б) только емкостное сопротивление;
- в) только индуктивное и емкостное сопротивление;
- г) активное, индуктивное и емкостное сопротивление.

**7. Как сказываются изменения напряжения сети на срок службы ЛЛ?**

- а) с понижением напряжения срок службы увеличивается;
- б) с повышением напряжения срок службы увеличивается;
- в) с повышением или понижением напряжения срок службы сокращается;
- г) с повышением или понижением напряжения срок службы увеличивается.

**8. Укажите состав газового наполнения люминесцентных ламп**

- а) аргон + кислород;
- б) аргон + пары ртути;
- в) аргон + неон + гелий;
- г) пары ртути + неон.

**9. Для чего служит слой люминофора?**

- а) для создания электрического разряда;
- б) для преобразования УФ-излучения в видимое излучение;
- в) для преобразования ИК-излучения в видимое излучение.

**10. Как влияют условия окружающей среды на работу люминесцентных ламп?**

- а) при понижении температуры устойчивое зажигание не обеспечивается;
- б) при повышении температуры устойчивое зажигание не обеспечивается;
- в) не зависит от условий окружающей среды.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА  
ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** изучение характеристик электрического разряда в газах и парах (на примере дуговой ртутной лампы высокого давления типа ДРЛ).

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления являются самой распространенной и многочисленной группой источников света среди разрядных ламп этого типа. Это связано с тем, что при помощи ртутного разряда удается создавать весьма эффективные источники в УФ, видимой и близкой ИК областях спектра, различной мощности, достаточно компактные, со сроками службы в десятки тысяч часов, обладающие при необходимости весьма высокими яркостями.

Конструктивно газоразрядные лампы высокого давления отличаются от газоразрядных ламп низкого давления меньшими размерами и отсутствием подогревных электродов.

Классификация разрядных ламп высокого и сверхвысокого давления основана на конструктивных признаках:

1. Разрядные лампы высокого давления;
2. Разрядные лампы высокого давления с исправленной цветностью (ДРЛ);
3. Трубочатые разрядные лампы сверхвысокого давления с естественным охлаждением;
4. Капиллярные разрядные лампы сверхвысокого давления с принудительным (воздушным или водяным) охлаждением;

5. Шаровые или короткодуговые разрядные лампы сверхвысокого давления с естественным охлаждением.

*Дуговая ртутная лампа типа ДРЛ* (рис. 5.1) состоит из кварцевой трубки (горелки), расположенной в стеклянной колбе, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора, способного преобразовывать ультрафиолетовое излучение, сопровождающее дуговой разряд в трубке, в видимый свет, пригодный для освещения. В трубку, выполненную из кварцевого стекла, впаяны два основных вольфрамовых электрода, покрытых активированным слоем и подсоединенных к центральной части цоколя лампы, и два дополнительных электрода (зажигающих). В трубке имеется капля ртути (25 – 165 мг). После откачки воздуха для поддержания стабильности свойств люминофора колба заполняется чистым инертным газом (аргоном).

Такая конструкция позволяет эффективно зажигать четырехэлектродную лампу от питающей сети напряжением 220 В. Приведенная на рисунке 5.2 схема включения применяется для ламп, у которых напряжение зажигания  $U_z$  меньше напряжения сети  $U_c$ , а рабочее напряжение на лампе  $U_n$  таково, что  $U_n / U_c \leq 0,7$ . При данном соотношении напряжений обеспечивается надежное зажигание лампы. Каждый зажигающий электрод через резистор  $R$ , расположенный внутри наружного баллона, подключается к противоположному рабочему электроду. Резистор  $R$  ограничивает ток вспомогательного разряда и уменьшает ток утечки через зажигающие электроды лампы.

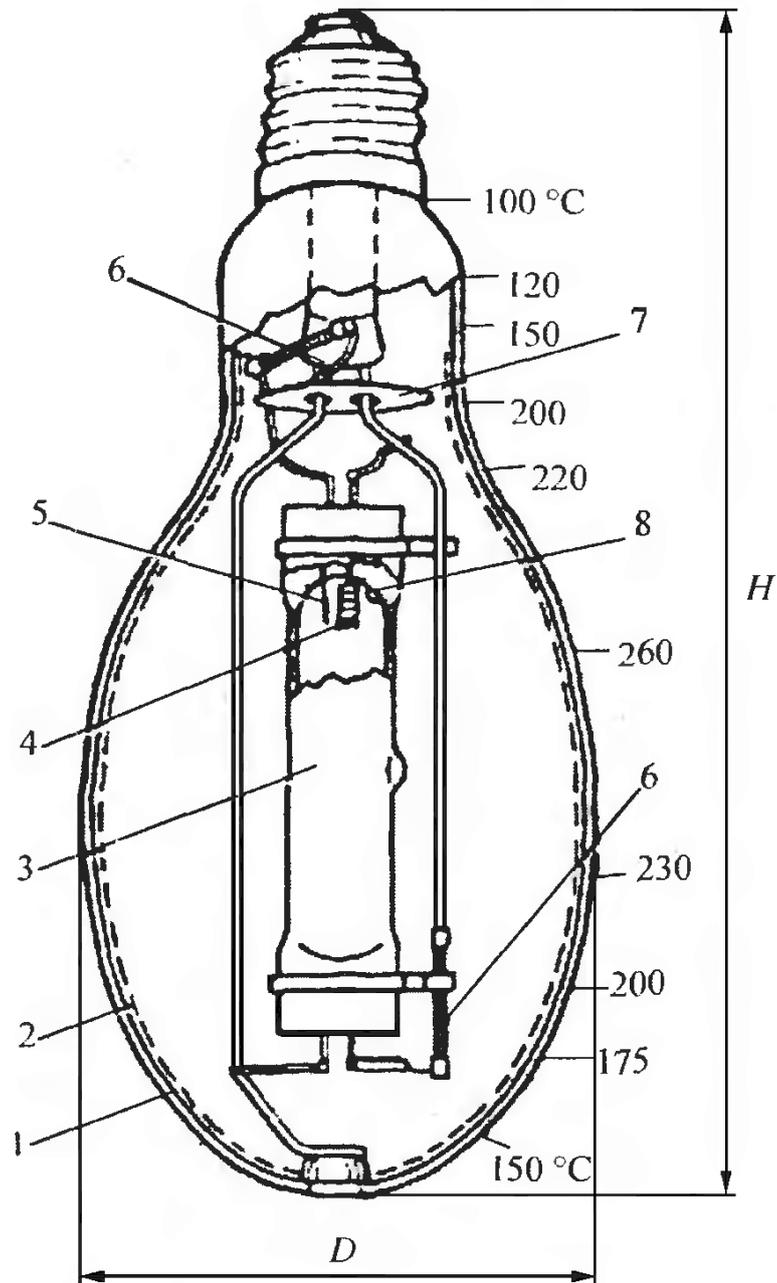


Рис. 5.1. Конструкция лампы типа ДРЛ:

1 – внешняя стеклянная колба; 2 – слой люминофора; 3 – разрядная трубка из кварцевого стекла; 4 – рабочий электрод; 5 – зажигающий электрод; 6 – ограничительные резисторы в цепи зажигающего устройства; 7 – экран; 8 – ртуть. Цифры справа на колбе – температуры колбы лампы ДРЛ мощностью 400 Вт.

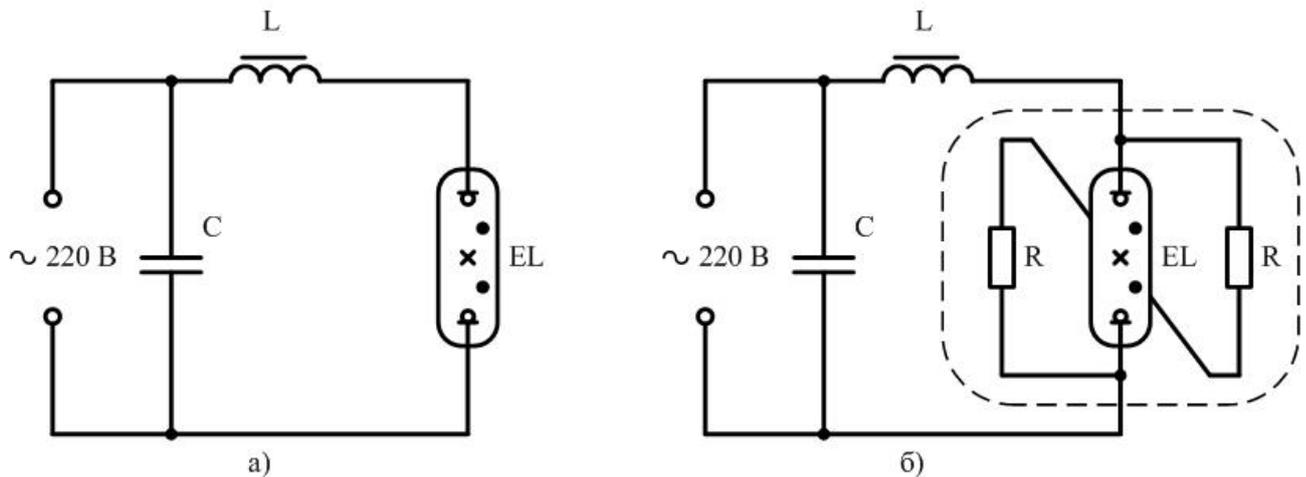


Рис. 5.2. Простейшая схема включения лампы типа ДРЛ: а – двухэлектродная; б – четырехэлектродная.

При подаче определенной величины напряжения к электродам лампы в трубке возникает электрический разряд, сопровождающийся ультрафиолетовым излучением ртутных паров с синеватым оттенком. Указанное излучение, воздействуя на люминофор, вызывает его свечение, имеющее красный цвет. Суммарный цвет светового излучения лампы складывается из излучений ртутного разряда и люминофора, приближаясь к белому.

Благодаря наличию внешней колбы, светотехнические характеристики лампы типа ДРЛ практически не чувствительны к температуре окружающего воздуха в отличие от люминесцентных ламп низкого давления. Они надежно работают при температуре окружающего воздуха от  $-30$  до  $+40$  °С. Влияние температуры окружающего воздуха сказывается в основном на напряжении зажигания лампы и времени ее разгорания.

При эксплуатации осветительных установок допускается любое положение ламп типа ДРЛ. Однако при горизонтальном положении дуга в горелке из-за конвекционных потоков газов слегка выгибается вверх. Это приводит к некоторому снижению мощности, световой отдачи и срока службы лампы.

Четырехэлектродные дуговые ртутные люминесцентные лампы высокого давления с люминофорным покрытием на колбе выпускаются в пределах

мощностей 80 – 2000 Вт и имеют световую отдачу 40 – 60 лм/Вт. Световая отдача возрастает с увеличением единичной мощности, но для наиболее применяемых в установках внутреннего освещения ламп мощностью 400 – 1000 Вт почти одинакова.

Срок службы лампы равен 12 – 20 тыс.ч, причем к концу этого срока световой поток снижается до 70% от начального. Лампы включаются через индуктивные ПРА, потери мощности которой составляет около 10%. Коэффициент мощности комплекта «лампа – ПРА» составляет в среднем 0,5. В последнее время наметилась тенденция встраивания в ПРА конденсаторов для повышения коэффициента мощности до 0,9 – 0,95 (рис. 5.2, а). Лампы в комплекте с ПРА предназначены для включения на напряжение 220 В, кроме ламп 2000 Вт, включаемых на напряжение 380 В. Лампы мощностью до 125 Вт имеют цоколь Е27, остальные – Е40. Преимуществом ламп ДРЛ по сравнению с люминесцентными лампами низкого давления является их компактность при высокой единичной мощности, существенным недостатком – плохая цветопередача их излучения, позволяющая применять лампы ДРЛ только при отсутствии каких-либо требований к различению цветов ( $T_c = 3800$  К,  $R_a = 42$ ), а также значительной пульсации светового потока (коэффициент пульсации 63 – 74%). Процесс разгорания ламп после включения длится 5 - 7 мин. В случае хотя бы мгновенного перерыва питания лампы гаснут и начинают вновь разгораться только после остывания, когда пары ртути сконденсируются и давление в разрядной трубке упадет до первоначального значения (в течение примерно 10 мин). Как и люминесцентные лампы, они надежно работают только при напряжении не менее 90% от номинального. Гигиенические исследования не выявили противопоказаний для применения ламп ДРЛ, но позволили сделать вывод, что при зрительных работах высокой точности применение их нежелательно.

В маркировке ламп буквы и числа обозначают ДР- дуговая ртутная, Л – люминесцентная, первое число – номинальная мощность в ваттах, в скобках указывается так называемое красное отношение, в процентах – доля излучения

в красной части спектра в общем потоке излучения, через дефис – номер разработки.

Лампа типа ДРЛ с красным соотношением 6% рекомендуется использовать для освещения улиц и автострад, 10% - для наружного и внутреннего освещения промышленных объектов с высоким уровнем зрительных работ, 12% и более – для внутреннего освещения промышленных предприятий.

Для освещения помещений производственных и общественных зданий, в которых выполняются работы, требующие повышенного цветоразличия, могут применяться 50, 80 и 125 Вт, имеющие долю красного излучения 15%.

**Металлогалогенные лампы (МГЛ) типа ДРИ** (дуговые ртутные с излучающими добавками) появились в результате развития и усовершенствования ламп ДРЛ. Устройство ламп типа ДРИ (рис. 5.3) практически такое же, как и ламп ДРЛ. В прозрачной колбе находится разрядная трубка, с обеих сторон которой впаяны электроды. В основании колбы установлен экран. В качестве внешней колбы применяются либо стандартная колба лампы ДРЛ без люминофорного покрытия (в типе лампы указана модификация 5), либо колба цилиндрической формы (модификация 6). Лампы модификации 5 предназначены для работы в любом положении, а модификации 6 – преимущественно в горизонтальном.

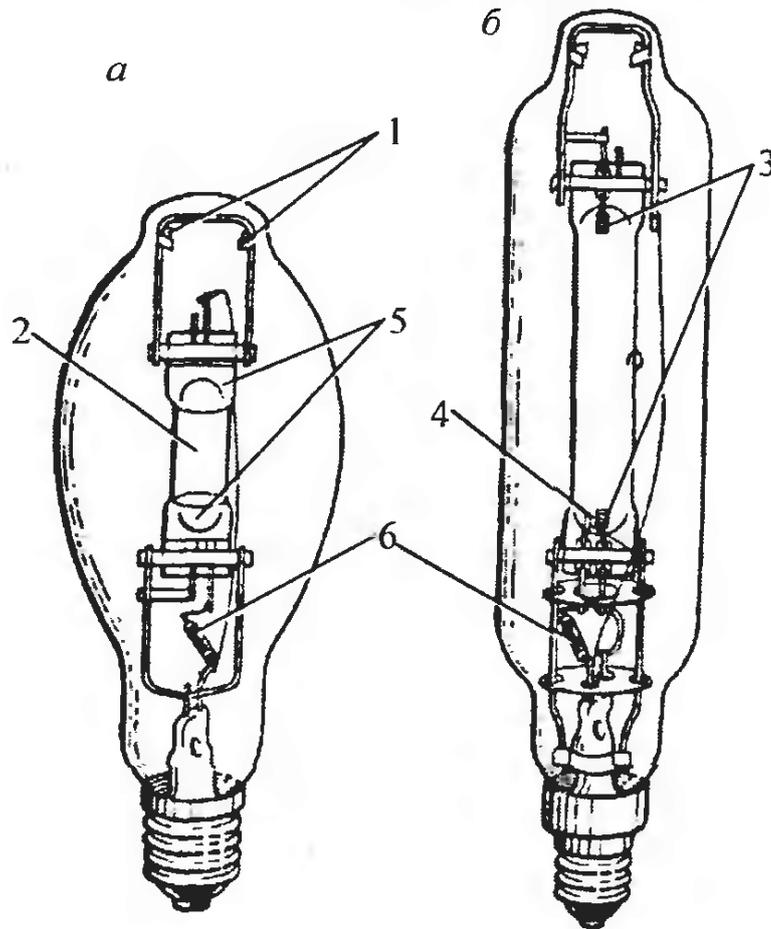


Рис. 5.3. Общий вид осветительных металлогалогенных ламп:  
 а – лампа 400 Вт в эллипсоидальной прозрачной внешней колбе;

б – лампа 2000 Вт в цилиндрической прозрачной форме

1 – пружинные распорки; 2 – разрядная трубка; 3 – основные электроды;  
 4 – зажигающий электрод; 5 – утепляющее покрытие; 6 – ограничительное  
 термостойкое сопротивление

В лампах типа ДРИ в разрядную трубку помимо ртути и аргона (или другого инертного газа) дополнительно вводят галоидные соединения различных металлов (обычно с йодом, так как иодиды металлов практически не взаимодействуют с кварцевым стеклом). Эти соединения в горячей зоне распадаются на атомы йода и металла. Из горячей зоны они перемещаются в холодную к стенкам и воссоединяются в первоначальное состояние. Таким образом, в лампе осуществляется замкнутый цикл.

Излучаемый свет зависит от используемого металла, что позволяет отказаться от люминофора. Например, введение иодида таллия дает зеленоватый цвет, натрия – желтоватый цвет, а индия – голубоватый оттенок света. В лампах типа ДРИ в качестве галогенидов широко используются иодиды натрия.

Лампы ДРИ имеют световую отдачу до 90 лм/Вт, внешне отличаются от ламп ДРЛ только отсутствием люминофора на колбе и дают достаточно белый свет. Лампы включаются в сеть через ПРА, состоящего из дросселя и зажигающего устройства, генерирующие импульсы высокого напряжения. Коэффициент мощности при некомпенсированных ПРА равен в среднем 0,5. Пульсации светового потока значительно меньше (коэффициент пульсации 30%), и разгораются лампы ДРИ несколько быстрее, чем лампы ДРЛ. С точки зрения применения металлогалогенные лампы разделяются на лампы для общего освещения, лампы с улучшенным качеством цветопередачи для общего и специального применения, а также лампы для специальных применений.

**Ксеноновые лампы.** В этих лампах дуговой разряд происходит в тяжелом инертном газе ксеноне, в результате чего испускаются лучи в близкой к ультрафиолетовой, видимой и близкой к инфракрасной областям спектра электромагнитного излучения. Излучаемый свет имеет ровный белый свет ( $T_c = 6000 \text{ K}$ ) и хорошую цветопередачу ( $R_a = 98$ ).

Лампа представляет собой трубку из кварцевого стекла диаметром 22 – 42 мм и длиной 640 – 2610 мм, заполненную ксеноном.

Различают ксеноновые лампы с естественным и водяным охлаждением (трубчатые), а также сверхвысокого давления с естественным и принудительным воздушным или водяным охлаждением (шаровые).

Лампы с шаровой колбой (рис. 5.4) представляют собой толстостенный баллон из кварца с впаянными в него двумя электродами, изготовленными из торированного вольфрама. Токопроводящими контактами служат цилиндрические выводы, конструкция которых предусматривает как возможность крепления ламп, так и присоединение питающих проводов.

Баллон лампы наполняется ксеноном до давления 8 - 9 атм, которое при работе лампы возрастает до 20 - 25 атм.

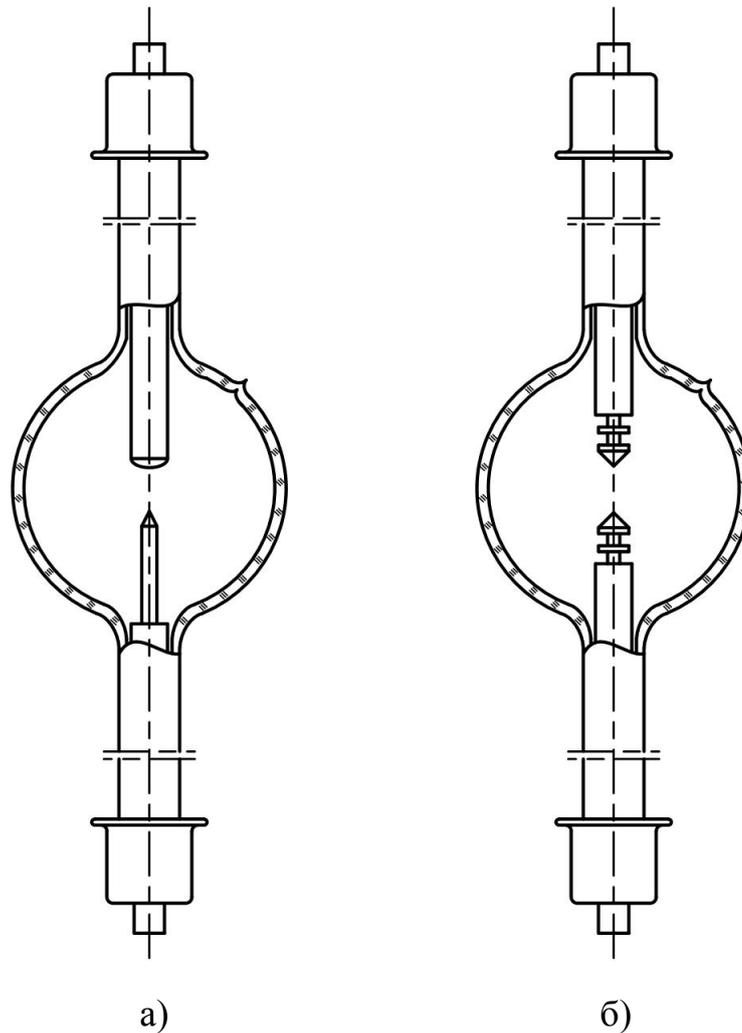


Рис. 5.4. Ксеноновые лампы с шаровой колбой:  
а) на постоянном токе; б) на переменном токе

Также есть еще один тип ксеноновых ламп, так называемые разборные лампы. В обычной шаровой ксеноновой лампе 25 - 35% мощности лампы выделяется на электродах, главным образом на аноде. Выделяемое на электродах тепло нагревает колбу лампы, что ограничивает предельную мощность лампы. Если отводить выделяемое на электродах тепло, например, с помощью водяного охлаждения, то это уменьшает тепловую нагрузку на колбу и позволяет создать лампу большой мощности и уменьшить размеры колбы. Эта проблема решается в лампах разборной конструкции ДКсР (рис. 5.5).

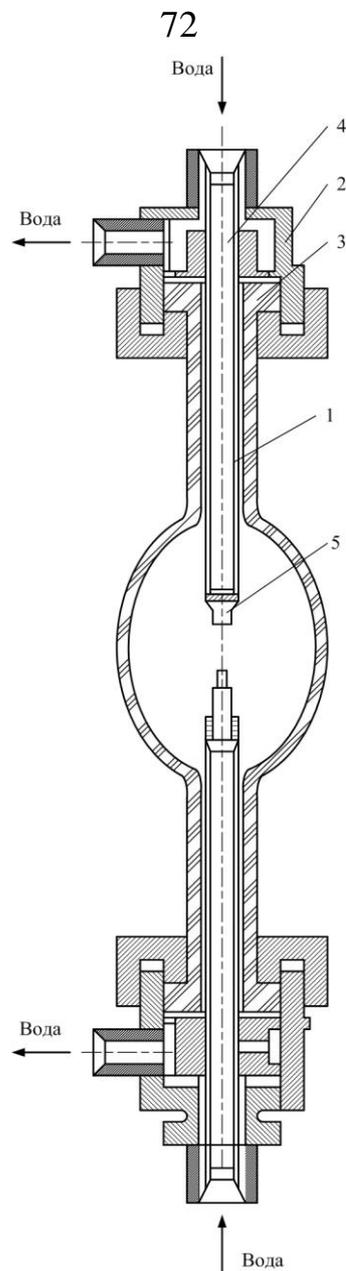


Рис. 5.5. Общий вид разборной ксеноновой лампы типа ДКСР

С торцов кварцевой лампы вставляются разборные вводы, которые состоят из металлической трубки *1*, диаметром 12 - 16 мм, служащей токопроводом, которая изнутри охлаждается водой. На конце трубки запрессован анод *5*, также охлаждаемый водой. Для получения вакуумноплотного соединения между корпусом ввода, токопроводом и кварцевой колбой фланец *3* ножки колбы сжимаются между корпусом ввода *2* и прижимной гайкой *4* через уплотняющие свинцовые прокладки. Через штуцера подается охлаждающая вода.

Трубчатая ксеноновая лампа с естественным охлаждением (рис. 5.6) представляет собой толстостенную трубку из кварцевого стекла, по концам которой вварены электроды из торированного вольфрама. Вводы лампы изготавливаются из молибденовой фольги. Внешние выводы изготовлены из стали, а переходные втулки – из титана. Колба лампы заполняется ксеноном с холодным давлением от 2000 до 46662 Па. Величина давления ксенона определяется напряжением зажигания пускового устройства, а также зависит от выбранного внутреннего радиуса трубки и падения напряжения на единицу длины разряда.

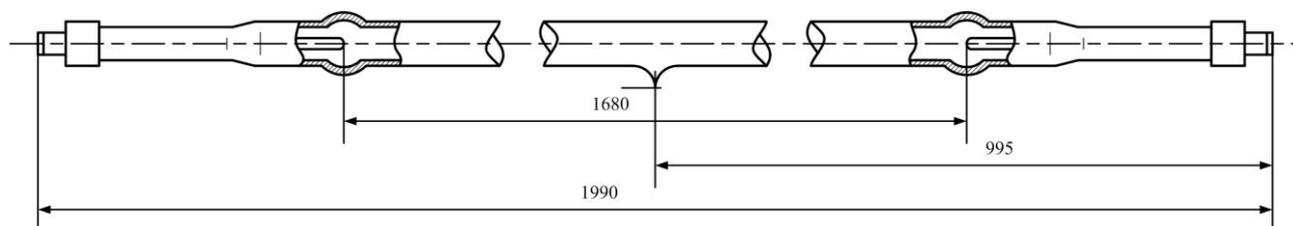


Рис. 5.6. Общий вид ксеноновых трубчатых ламп типа ДКсТ 10000, ДКсТ 20000, ДКсТ 50000

В лампах с водяным охлаждением разрядная трубка из кварца помещается внутри стеклянного цилиндра (рис. 5.7) в зазоре между разрядной трубкой и цилиндром циркулирует вода, которой придается винтообразное движение благодаря некоторому сдвигу входного патрубка по отношению к плоскости, проходящей через ось лампы. Концы стеклянного цилиндра помещаются в сборные латунные муфты и уплотняются резиновыми прокладками. Для охлаждения ламп используется дистиллированная вода, циркулирующая в замкнутой системе. Нормальная работа лампы возможна, если стеклянный цилиндр полностью заполняется водой. Максимальная температура охлаждающей воды не должна превышать температуры, при которой образуется сплошная паровая рубашка (не более 50 °С на выходе из лампы). Из этих соображений определяется расход охлаждающей воды. Применение водяного охлаждения позволяет увеличить почти в 10 раз удельную нагрузку на кварц по сравнению с естественным охлаждением, что

дает возможность уменьшить размеры ламп и при этом повысить на 30 - 40% их световую отдачу.

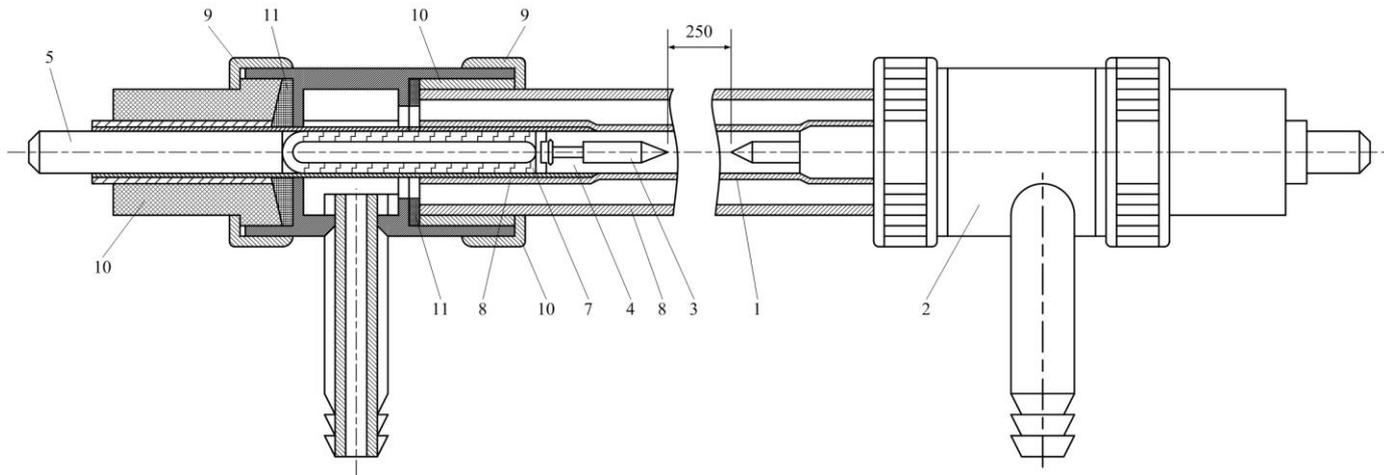


Рис. 5.7. Конструкция ксеноновой лампы с водяным охлаждением:

1 – разрядная трубка; 2 – корпус охлаждающей рубашки; 3 - электрод; 4 - втулка; 5 - вывод; 6 – цилиндр из молибденовой фольги; 7 - вкладыш; 8 – стеклянный цилиндр; 9 - гайка; 10 – уплотняющий вкладыш; 11 – уплотняющие прокладки.

Электрический дуговой разряд в ксеноновой лампе возникает при высоком напряжении зажигания (до 50 кВ). При этом время загорания лампы составляет менее секунды, так как в отличие от ламп, в которых разряд происходит в газах с парами ртути или натрия, плотность ксенона остается практически постоянной при изменении теплового режима. Такие лампы имеют возрастающую вольт-амперную характеристику при больших плотностях тока. Это позволяет стабилизировать разряд с помощью небольших балластных сопротивлений или же вообще обойтись без них, что имеет место при использовании трубчатых ламп значительной длины.

Так как напряжение зажигания ксеноновых ламп значительно превышает напряжение питающей сети, поэтому поджигающее устройство основано на принципе искрового генератора. На рисунке 5.8 приведены схемы зажигания лампы с помощью искрового генератора.

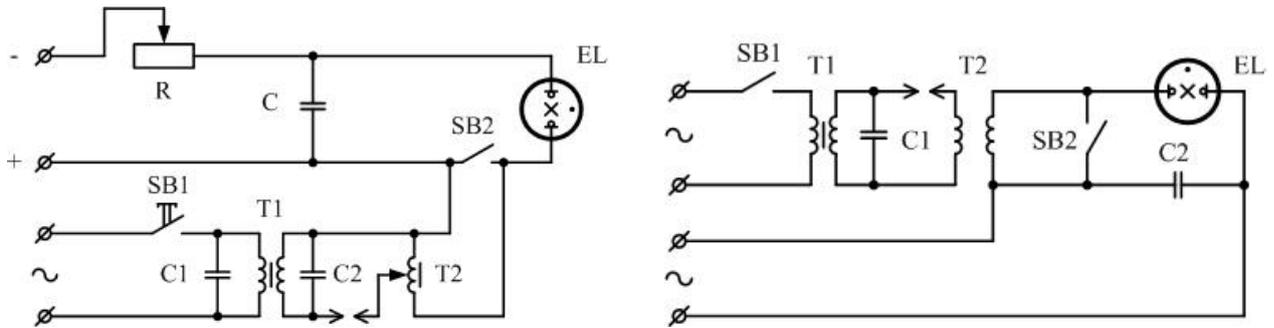


Рис. 5.8. Схемы включения ксеноновых ламп

Для зажигания ламп имеют важное значение не только величина поджигающего импульса и число подаваемых на лампу импульсов, но и сдвиг фаз между напряжением питания лампы и пускового устройства. При питании лампы и пускового устройства от одной и той же фазы сети напряжение зажигания лампы выше, чем при питании от различных фаз. Поэтому к пусковому устройству и к лампе подаются различные фазы сети. Нажатием кнопки *SB1* либо нормально замкнутыми блок-контактами, должна быть выбрана из расчета на номинальное напряжение 15 - 20 кВ. Контактами контактора *R1* в случае автоматического управления зажиганием ламп на первичную обмотку трансформатора *T1* подается сетевое напряжение. Конденсатор *C1*, включенный во вторичную обмотку трансформатора, заряжается, и, когда на нем напряжение достигает величины напряжения пробоя воздушного разрядника, он почти мгновенно разрядится на первичную обмотку импульсного трансформатора *T2*. Во вторичной обмотке трансформатора *T2* индуктируется высоковольтный, высокочастотный импульс, который будет приложен к электродам лампы. Под воздействием этого импульса разрядный промежуток лампы пробьется, что вызовет его первоначальную ионизацию.

Если величина и число подаваемых импульсов окажутся достаточными, то в лампе создадутся необходимые условия для развития дугового разряда, и лампа зажигается. После того как лампа зажглась, необходимо, чтобы искровой генератор продолжал работать в течение некоторого промежутка времени. Если отключить искровой генератор раньше положенного времени, то лампа может

погаснуть. Время, в течение которого искровой генератор должен продолжать работать, зависит от напряжения и полного сопротивления сети. Необходимая выдержка времени обеспечивается введением в схему реле времени (на схеме не показано). Когда процесс зажигания лампы закончится, то поджигающее устройство отключается от лампы. Для этого размыкается кнопка *SB1*, а вторичная обмотка импульсного трансформатора замыкается накоротко кнопкой *SB2*. В случае автоматического управления реле времени включает контактор (не показан на схеме), который своими контактами отключает трансформатор *T1* и замыкает накоротко вторичную обмотку трансформатора *T2*. Конденсатор *C2* служит для защиты сети от попадания в нее высокого напряжения.

Лампы мощностью до 6 кВт могут включаться по две последовательно на напряжение 220 В и зажигаться одним поджигающим устройством.

Следует обратить внимание на размещение пускового устройства. Оно должно размещаться не далее 30 м от лампы, так как в противном случае это будет снижать величину высоковольтного импульса. Так как величина этого импульса составляет 20 - 50 кВ, то изоляция провода, соединяющего лампу с пусковым устройством, должна быть выбрана из расчета на номинальное напряжение 15 - 20 кВ. При отключении лампы от сети ее повторное включение возможно только после достаточного остывания, на что требуется 5-10 мин. Повторное включение неостывшей лампы может ее вывести из строя, поэтому этого следует избегать.

После пробоя разрядного промежутка напряжение на лампе снижается до нескольких сотен вольт и в течение кратковременного периода нагрева концов электродов и достижения ими температуры, обеспечивающей начало термоэлектронной эмиссии, напряжение резко падает до 18 - 35 В в зависимости от типа лампы.

Питание ламп от сети постоянного тока может осуществляться от сети постоянного тока через активное балластное сопротивление, от генератора постоянного тока с падающей внешней вольт-амперной характеристикой и от

сети переменного тока через выпрямитель. Источник постоянного тока должен иметь напряжение холостого хода не менее 55 - 70 В для ламп типа ДКсШ и 70 - 90 В для ламп типа ДКсР. Глубина пульсаций напряжения при работе лампы не допускается выше 10 - 12%, так как при больших значениях резко снижается срок службы лампы из-за разрушения электродов. В этой связи при использовании двухполупериодного выпрямителя обязательно требуется установка сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя или необходимо применять трехфазную двухполупериодную схему выпрямления. Балластное сопротивление может быть установлено на стороне постоянного тока или на стороне переменного тока. В последнем случае балласт выполняется в виде дросселя.

После перехода высокочастотного разряда в основной сильноточный разряд благодаря малому градиенту потенциала в положительном столбе на лампе устанавливается низкое рабочее напряжение, обычно 25 - 30 В.

Из довольно большой серии ксеноновых ламп в осветительных установках получили применение дуговые ксеноновые трубчатые лампы с воздушным охлаждением типа ДКсТ и лампы с водяным охлаждением типа ДКсТВ. В отличие от других газоразрядных ламп эти лампы работают без балласта в виде ПРА, а зажигаются с помощью специального пускового устройства.

Сортамент включает лампы мощностью 5, 10, 20 и 50 кВт (в небольшом количестве выпускаются также лампы 100 кВт). Срок службы различных типов ламп имеет 300 – 750 ч, но при стабилизации напряжения, обеспечивающей отклонение от номинального значения  $\pm 2\%$ , может достигать 3000 ч. Лампы мощностью до 10 кВт включаются на напряжение 220 В, более мощные – в сеть напряжением 380 В. Для ламп типа ДКсТ мощностью 10, 20 и 50 кВт положение горения должно быть горизонтальное с отклонением от него  $\pm 30\%$ , а для остальных ламп – любое. Область применения ламп ограничивается вредным для людей избытком в их спектре ультрафиолетовых излучений. Выпускаются также лампы в колбе из легированного кварца (лампы ДКсТЛ), в

которых этот недостаток устранен. Пульсации светового потока у ламп ДКсТ особенно велики (коэффициент пульсации 130%). Помимо большой единичной мощности, достоинством ламп является тот факт, что их излучение по цветности наиболее близко к естественному дневному свету, хотя по сфере применения ламп это достоинство обычно не реализуется. Температура окружающей среды не оказывает существенного влияния на зажигание и горение лампы.

В маркировке ламп буквы и числа обозначают: Д – дуговая, Кс – ксеноновая, Т – трубчатая, Ш – шаровая, В – с водяным охлаждением, М – металлическая, РБ – разборная, число – мощность в ваттах.

***Натриевые лампы высокого давления (НЛВД) типа ДНаТ*** (рис. 5.9) представляют собой горелку из светопропускающей поликристаллической керамики (окись алюминия), полость которой заполнена ксеноном с добавками натрия, придающего излучаемому свету желто-оранжевый оттенок, и ртути в виде амальгамы (амальгама – металлическая система, в состав которой в качестве одного из компонентов входит ртуть). Горелка размещена в колбе, которая имеет цилиндрическую или эллиптическую форму и оснащена резьбовым цоколем. При работе лампы дуговой разряд в горелке осуществляется в парах ртути и натрия, что способствует его стабилизации.

Для откачки воздуха и наполнения ламп инертными газами в процессе изготовления используется штенгель. Во время работы лампы он выполняет роль вакуумно-плотного токоввода и держателя электрода, а его наружная часть служит холодной зоной, которая является резервуаром амальгамы натрия. Штенгель представляет собой бесшовную трубочку из ниобия, конец которой, входящий внутрь лампы, имеет специальную форму для крепления электрода.

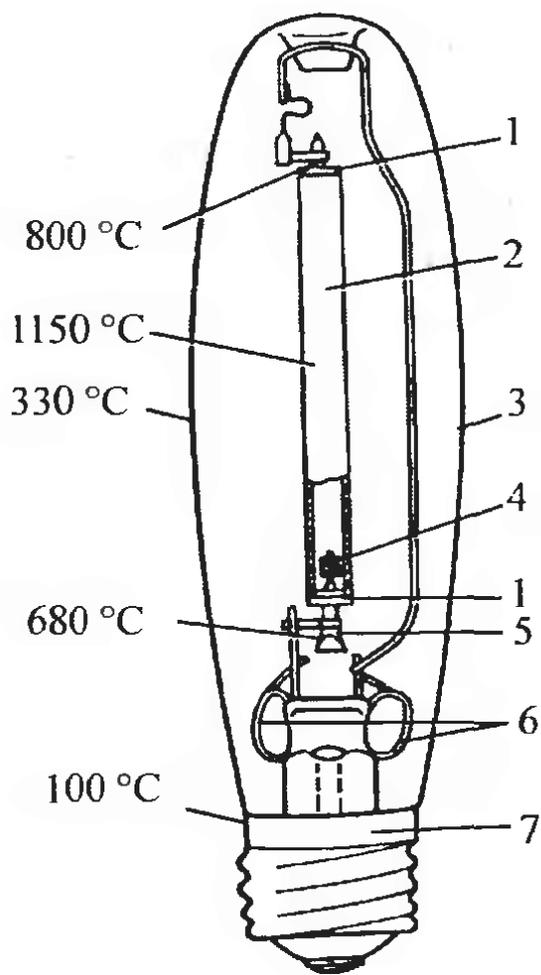


Рис. 5.9. Общий вид натриевой лампы высокого давления

1- керамическая горелка; 2 – керамическая светопропускающая трубка; 3 – внешняя колба из тугоплавкого стекла; 4 – электрод; 5 – ниобиевый штенгель; 6 – бариевый геттер (газопоглотитель); 7 – цоколь.

Натриевые лампы высокого давления малочувствительны к температуре окружающей среды и работоспособны при ее изменении в диапазоне от  $-60$  до  $+40$  °С. Колебания напряжения электрической сети существенно сказываются на световых и электрических параметрах натриевых ламп. Кроме того, эти лампы требуют соблюдения установленного положения горения: цоколем вверх или вниз с нормированным отклонением от вертикального положения.

Световая отдача ламп достигает  $140$  лм/Вт при сроке службы до  $20\,000$  ч. Цветовые характеристики натриевых ламп высокого давления относительно невысокие: лампа излучает свет желто-оранжевого цвета ( $T_c = 2000$  К) и обладает плохой цветопередачей ( $R_a = 20 - 30$ ). Улучшение качества

цветопередачи при использовании натриевых ламп может быть достигнуто за счет их совместного применения с ртутными люминесцентными лампами высокого давления.

Лампы включаются в сеть так же, как лампы ДРИ – через последовательно включенный дроссель, рассчитанный на рабочий ток и напряжение лампы.

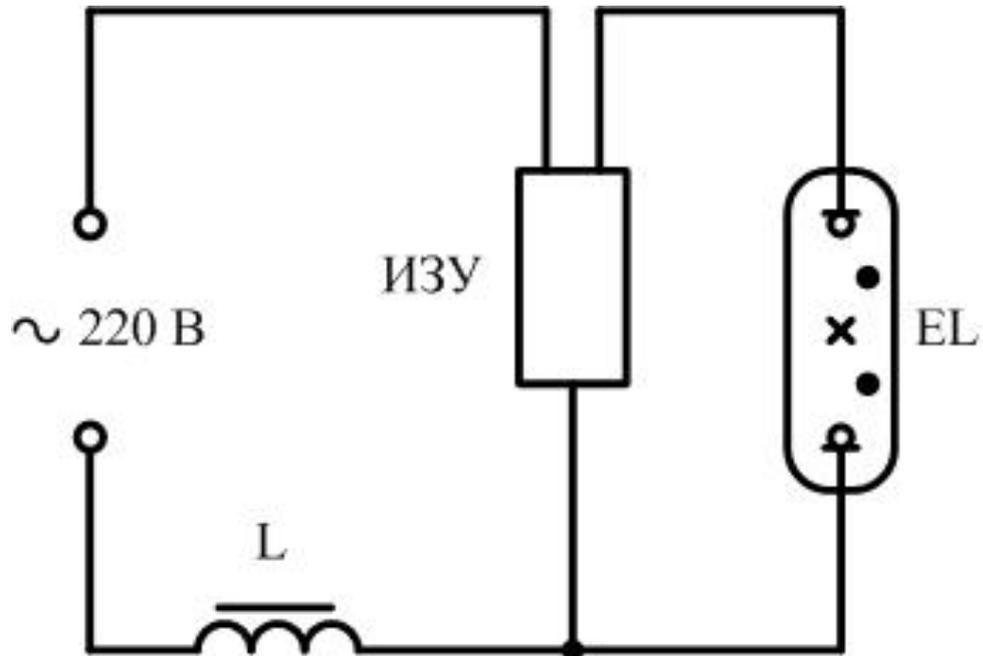


Рис. 5.10. Схема включения лампы ДНаТ

Масса дросселя примерно на 30% больше, чем у дросселя для лампы ДРЛ той же мощности из-за большого рабочего тока. Зажигание стандартных ламп выполняется с помощью импульсного зажигающего устройства (ИЗУ) (рис. 5.10), создающего импульсы высокого напряжения (2 – 3 кВ), которые подключаются непосредственно параллельно лампе или через часть обмотки дросселя. Коэффициент мощности комплекта «лампа – ПРА» в среднем 0,5. Пульсации светового потока достигают 70%.

## ПЛАН РАБОТЫ

1. Изучить устройство, принцип действия и основные характеристики ламп высокого давления, аппаратуры для включения их в сеть и работу электрических схем. Ознакомиться с правилами техники безопасности при работе с ртутными разрядными лампами. Через оптический фильтр наблюдать за возникновением разряда в лампе.
2. Исследовать характеристики газового разряда в процессе разгорания лампы. Построить зависимость мощности лампы, напряжения на лампе, тока лампы, потока лампы и коэффициента искажения от времени в процессе разгорания при нормальном напряжении питания.
3. Исследовать характеристики газового разряда при изменении величины питающего напряжения. Построить зависимость указанных выше характеристик от величины напряжения питания.
4. Построить статические вольт-амперные характеристики лампы в процессе разгорания и в установившемся режиме работы.

### МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Изучить законы электрического разряда в газах и парах металлов. Изучить конструкцию, схему включения, принцип действия лампы типа ДРЛ. Ознакомиться с правилами техники безопасности при работе с ртутными газоразрядными лампами.

Для исследования характеристик лампы ДРЛ собрать электрическую схему включения (рис. 5.11).



По данным таблицы рассчитывают световой поток лампы  $\Phi_{EL}$ , полную  $S$  и реактивную  $Q$  мощности и коэффициент мощности  $\cos\varphi$ . Значения светового потока лампы определяют по соотношению

$$\Phi_{EL} = \frac{E \cdot \Phi_n}{E_n}, \quad (5.1)$$

где  $\Phi_n$  – номинальный световой поток исследуемой лампы, взятый из справочных данных, лм;

$E_n$  – освещенность в точке плоскости при номинальном режиме работы, лк;

$E$  – освещенность в той же точке при любом режиме работы, отличном от номинального, лк.

Все приведенные в таблице значения необходимо пересчитать в относительных единицах.

После разгорания лампы, снижая напряжение на зажимах схемы от 250 В ступенями по 10 В, снять зависимость параметров лампы от напряжения питания. Результаты измерений и последующих вычислений записать в таблицу 5.2.

Таблица 5.2

Изменение характеристик лампы при изменении величины питающего напряжения

$U_c$		$I_{EL}$		$P_{EL}$		$U_{EL}$		$U_L$		$E$		$\Phi_{EL}$	
В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.	В	о.е.	В	о.е.	лк	о.е.	лм	о.е.

По данным таблицы 5.2 построить зависимости параметров лампы от напряжения на зажимах схемы и дать объяснение их изменений.

### Контрольные вопросы

1. Как устроена лампа ДРЛ?
2. Расскажите о назначении, устройстве и основных параметрах аппаратуры для включения ламп ДРЛ.
3. Назовите области применения ламп ДРЛ.
4. Объясните характер изменения параметров ламп ДРЛ при разгорании.
5. Устройство металлогалогенных ламп типа ДРИ.
6. Чем отличаются лампы ДРЛ, ДРИ и ДНаТ?
7. Устройство ксеноновых ламп. Виды ксеноновых ламп.
8. Типы пускорегулирующей аппаратуры для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ.
9. Устройство ламп ДНаТ.
10. Достоинства и недостатки ламп высокого давления по сравнению с другими источниками оптического излучения.
11. Характер спектра излучения ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ.
12. Каковы эксплуатационные особенности работы разрядных ламп высокого давления?
13. Оцените возможности регулирования светового потока ламп ДРЛ.
14. Дайте характеристику процессу разгорания лампы ДРЛ.

**Тесты по лабораторной работе 5**

**1. Срок службы лампы типа ДРЛ составляет...**

- а) 10 000 – 12 000 ч;
- б) 12 000 – 20 000 ч;
- в) 20 000 – 45 000 ч.

**2. Сколько длится процесс разгорания лампы после включения?**

- а) 5 – 7 мин;
- б) 3 – 8 мин;
- в) 6 – 12 мин.

**3. Что обозначает буква «И» в названии лампы ДРИ?**

- а) иридиевая;
- б) искусственная;
- в) с излучающими добавками;
- г) инфракрасная.

**4. Какую световую отдачу имеет лампа ДРИ?**

- а) 140 лм/Вт;
- б) 50 лм/Вт;
- в) 90 лм/Вт.

**5. При какой температуре окружающей среды лампы ДРЛ надежно работают?**

- а) от – 10 до 30 градус Цельсия;
- б) от – 30 до 40 градус Цельсия;
- в) от – 20 до 35 градус Цельсия.

**6. Что означает ИЗУ в схеме включения лампы типа ДНаТ?**

- а) импульсно-зажигающее устройство;
- б) импульсно-задающее устройство;
- в) индукционно-зажигающее устройство.

**7. От чего зависит величина давления ксенона в лампе?**

- а) от напряжения зажигания пускового устройства;
- б) от величины светоиспускания лампы;
- в) от длины и единичной мощности лампы.

**8. В маркировке ксеноновых ламп буква «В» означает ...**

- а) использование вольфрамовой нити;
- б) с водяным охлаждением;
- в) с воздушным охлаждением;
- г) использование высокочастотных импульсов.

**9. Световая отдача лампы типа ДНаТ составляет ...**

- а) 140 лм/Вт;
- б) 50 лм/Вт;
- в) 90 лм/Вт.

**10. Значение коэффициента мощности для ламп высокого давления составляет ...**

- а) 0,8;
- б) 0,5;
- в) 0,96.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПАКТНЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** изучить конструкции, схемы включения и принцип действия компактных энергосберегающих люминесцентных ламп. Исследовать их электрические и световые характеристики.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

С начала 80-х годов прошлого столетия светотехническая промышленность начала производство компактных люминесцентных ламп (ККЛ) мощностью 5 – 85 Вт со световой отдачей 30 – 75 лм/Вт и сроком службы от 6 до 12 тыс. часов. К тому времени были разработаны активированные редкоземельными элементами люминофоры, способные работать при более высоких поверхностных плотностях ультрафиолетового излучения, чем люминофоры стандартных люминесцентных ламп. Это свойство позволило существенно уменьшить диаметр колбы лампы с 30 – 40 мм до 8 – 13 мм. Уменьшилась и длина колбы. В дополнение к этому цилиндрическую колбу сворачивают или в спираль (рис. 6.1 а), или W-образно (рис. 6.1 б) и монтируют на цилиндрический резьбовой цоколь. В большинстве таких ламп используют цоколи E27. Лампы малой мощности выпускают с цоколем E14, а большой – E40.



Рис. 6.1. Компактные энергосберегающие люминесцентные лампы:  
а) спиральная колба; б) W-образная колба

Для простоты изложения КЛЛ называются двухканальные, четырехканальные, шестиканальные и т.д.

Концы трубок с вваренными в них катодными узлами закрепляются в пластмассовом цоколе той или иной конструкции.

Компактные ЛЛ выпускаются с хорошей и отличной цветопередачей. Кроме белых КЛЛ с различной цветовой температурой, выпускаются цветные и УФ лампы. Одни из них предназначены для медицинских целей, другие – для фотополимеризации пластмасс, клеев и т.п.

Компактные люминесцентные лампы, в особенности эксплуатации, более критичны к температуре окружающего воздуха, чем обычные линейные ЛЛ. Максимум светового потока лампы у КЛЛ обычно соответствует  $t_{окр} = (15 - 25)$  °С (в зависимости от типа и положения горения) и устанавливается за 1,5 – 2 мин с момента включения; у малых КЛЛ процесс разгорания несколько замедлен.

Значения температуры окружающей среды для открытой КЛЛ (вне светильника) равно температуре воздуха в помещении; при эксплуатации лампы в светильнике температура окружающего воздуха может отличаться от

температуры в помещении на 15 – 20 °С в большую сторону. Работа КЛЛ принципиально возможна в любом положении горения (вертикальном, горизонтальном, наклонном), но при этом нужно всегда учитывать температурную зависимость светового потока лампы в конкретной позиции эксплуатации. Такая чувствительность светового потока к указанным параметрам обусловлена у КЛЛ изменением положения и температуры «холодной» точки, определяющей давление паров ртути и, соответственно, выход светового потока лампы.

Компактная люминесцентная лампа условно состоит из двух частей:

- малогабаритная люминесцентная колба
- электронный пуско-регулирующий аппарат (ЭПРА, электронный балласт), встроенный в цоколь лампы.

Электронное пускорегулирующее устройство (рис. 6.2) преобразует напряжение сети частотой 50 Гц в напряжение высокой частоты 30 – 100 кГц. Оно имеет малые геометрические размеры и обеспечивает снижение вредного влияния на человека пульсации светового потока, надежное и быстрое зажигание ламп, возможность регулирования светового потока, экономичность осветительной установки.

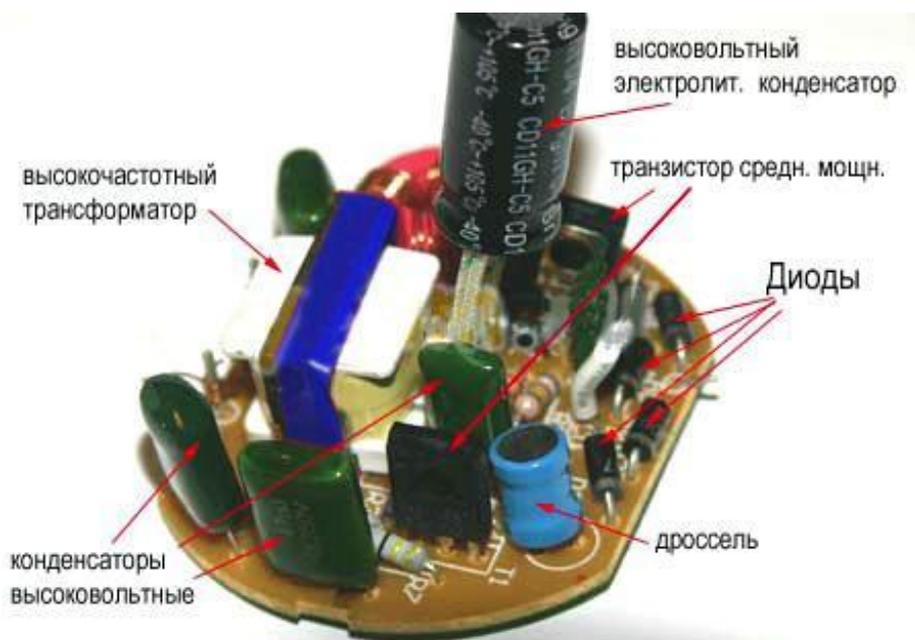


Рис. 6.2. Электронная пуско-регулирующая аппаратура КЛЛ

Работа энергосберегающей лампы на примере наиболее распространённой схемы (лампа мощностью 11 Вт) представлена на рисунке 6.3.

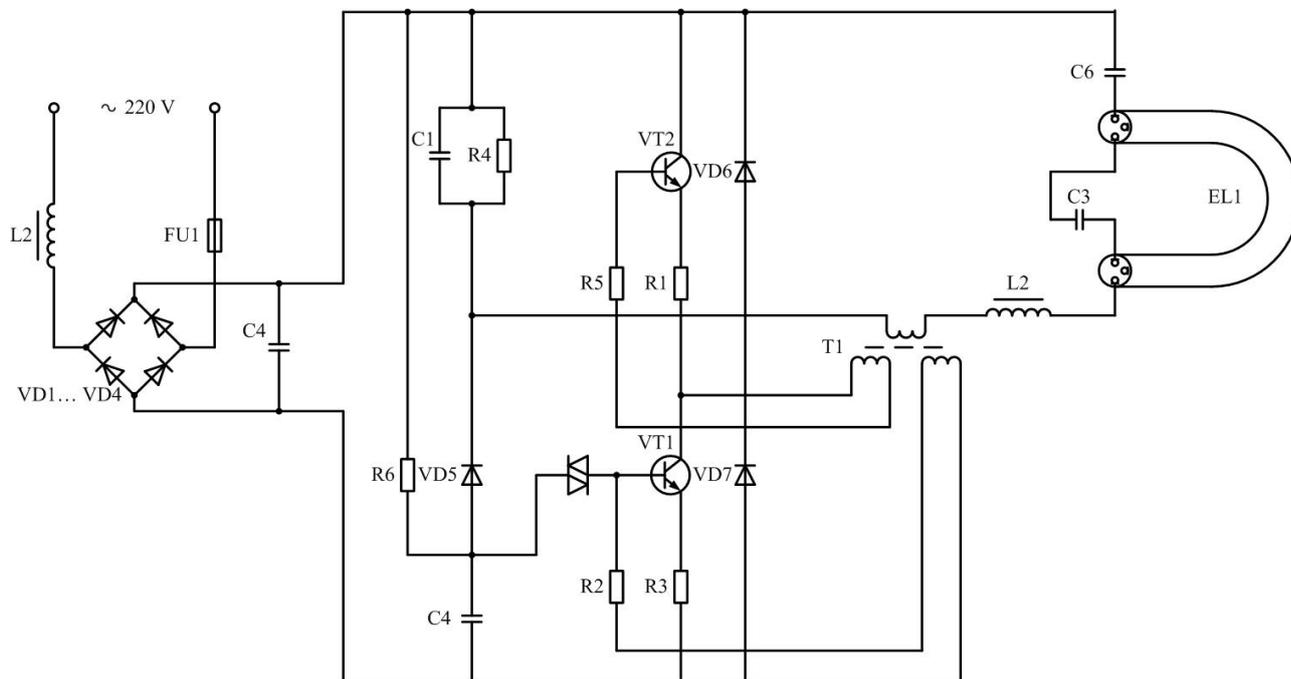


Рис. 6.3. Принципиальная электрическая схема управления КЛЛ

Схема состоит из цепей питания, которые включают помехозащитный дроссель  $L2$ , предохранитель  $FU1$ , диодный мост  $VD1...VD4$ , состоящий из диодов 1N4007 и фильтрующий конденсатор  $C4$ . Схема запуска состоит из элементов  $VD1$ ,  $C2$ ,  $R6$  и динистора.  $VD2$ ,  $VD3$ ,  $R1$  и  $R3$  выполняют защитные функции. Иногда эти диоды не устанавливают в целях экономии.

При включении лампы  $R6$ ,  $C2$  и динистор формируют импульс, подающийся на базу транзистора  $VT2$ , приводящий к его открытию. После запуска эта часть схемы блокируется диодом  $VD1$ . После каждого открытия транзистора  $VT2$  конденсатор  $C2$  разряжен. Это предотвращает повторное открытие динистора. Транзисторы возбуждают трансформатор  $T1$ , намотанный на ферритовое колечко тремя обмотками в несколько витков. На нити накала поступает напряжение через конденсатор  $C3$  с повышающего резонансного контура  $L1$ ,  $T1$ ,  $C3$  и  $C6$ . Трубка загорается на резонансной частоте, определяемой конденсатором  $C3$ , потому что его ёмкость намного меньше, чем ёмкость  $C6$ . В этот момент напряжение на конденсаторе  $C3$  достигает порядка

600V. Во время запуска пиковые значения токов превышают нормальные в 3-5 раз, поэтому если колба лампы повреждена, существует риск повреждения транзисторов.

Когда газ в трубке ионизирован,  $C3$  практически шунтируется, благодаря чему частота понижается и генератор управляется только конденсатором  $C6$ , генерируя меньшее напряжение, но, тем не менее, достаточное для поддержания свечения лампы.

Когда лампа зажглась, первый транзистор открывается, что приводит к насыщению сердечника  $T1$ . Обратная связь на базу приводит к закрытию транзистора. Затем открывается второй транзистор, возбуждаемый противоположно подключенной обмоткой  $T1$  и процесс повторяется.

Наиболее частые причины поломки энергосберегающих ламп - обрыв нити накала или выход из строя ЭПРА. Как правило, причиной выхода из строя последнего бывает пробой резонансного конденсатора или транзисторов. Конденсатор  $C3$  часто выходит из строя в лампах, в которых используются дешёвые компоненты, рассчитанные на низкое напряжение. Когда лампа перестаёт зажигаться, появляется риск выхода из строя транзисторов  $VT1$  и  $VT2$  и вследствие этого -  $R1$ ,  $R2$ ,  $R3$  и  $R5$ . При запуске лампы генератор оказывается перегружен и транзисторы не выдерживают перегрева. Если колба лампы выходит из строя, электроника обычно тоже ломается. Если колба уже старая, одна из спиралей может перегореть, и лампа перестанет работать. Электроника в таких случаях, как правило, остаётся целой. Чаще всего лампы перегорают в момент включения.

## ПЛАН РАБОТЫ

1. Изучить конструктивное исполнение и принцип действия компактных люминесцентных ламп.
2. Снять зависимости тока, мощности лампы и создаваемой ею на вспомогательной плоскости освещенности от напряжения питания.

3. По соотношению освещенности вспомогательной плоскости и номинального потока с учетом потребляемой мощности при номинальном напряжении рассчитать зависимость светового потока лампы от напряжения питания.
4. Рассчитать световую отдачу лампы и ее коэффициент мощности в зависимости от напряжения питания.
5. Рассчитать относительные значения тока, мощности, освещенности, светового потока, световой отдачи и построить их графики в зависимости от напряжения.

### МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Основные зависимости лампы снимают на опытной установке, схема которой приведена на рисунке 6.4.

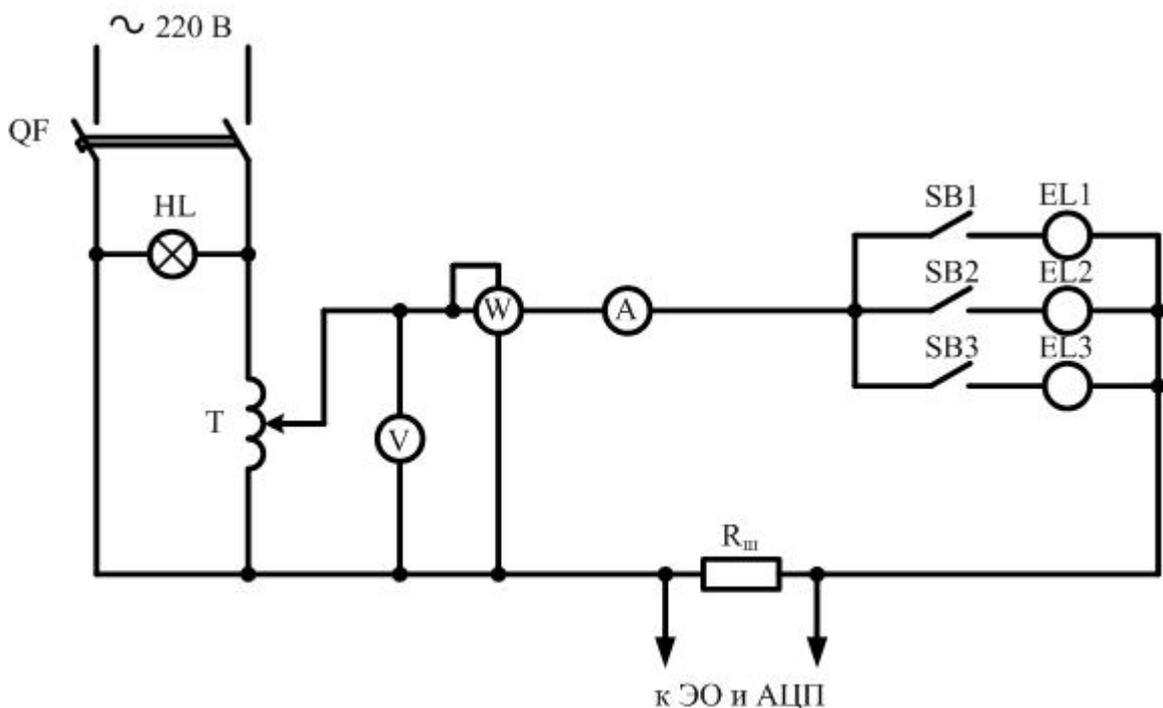


Рис. 6.4. Принципиальная электрическая схема исследования характеристик компактных люминесцентных ламп

Изменяя напряжение на зажимах лампы при помощи автотрансформатора от напряжения зажигания до 250 В с интервалом 10 – 20 В, по показаниям

приборов снять зависимости тока, мощности и освещенности вспомогательной плоскости от напряжения. Результаты измерений занести в таблицу 6.1. В число опытных величин в таблицу внести напряжение питания, ток лампы, мощность лампы, освещенность. В число расчетных величин включить световой поток, световую отдачу и коэффициент мощности лампы.

Таблица 6.1

## Характеристики компактных люминесцентных ламп

Опытные данные								Расчетные данные					
$U_{num}$		$I_{EL}$		$P$		$E$		$\Phi$		$\eta$		$\cos\varphi$	
В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.	лк	о.е.	лм	о.е.	лм/Вт	о.е.	о.е.	о.е.

Для каждого значения напряжения вычисляют

- световой поток по соотношению

$$\Phi_v = \Phi_{EL} = \Phi_n \frac{P_{EL}}{P_n}, \quad (6.1)$$

где  $P_n$ ,  $\Phi_n$  – паспортные номинальные значения мощности и светового потока;

- светоотдачу

$$\eta_{EL} = \frac{\Phi_{EL}}{P_{EL}}, \quad (6.2)$$

- коэффициент мощности

$$\cos\varphi = \frac{P_{EL}}{U_{EL} \cdot I_{EL}}. \quad (6.3)$$

Замеренные и вычисленные величины следует представить в относительных единицах и занести их в ту же таблицу.

По данным таблицы построить в относительных единицах графики тока, мощности, светового потока, световой отдачи, коэффициента мощности лампы.

На отдельном графике построить вольт-амперную характеристику лампы.

Проанализировать полученные результаты и графики, сравнить их с параметрами и характеристиками обычных люминесцентных ламп.

### **Контрольные вопросы**

1. Поясните устройство компактных люминесцентных ламп.
2. Поясните принцип действия компактной лампы.
3. Перечислите и поясните отличия электронного ПРА люминесцентных ламп от электромагнитного.
4. Сравните вольт-амперные характеристики ламп накаливания, люминесцентной трубчатой и компактной люминесцентной.
5. Объясните снижение световой отдачи компактной лампы при увеличении напряжения питания.
6. Сравните спектр излучения компактной и стандартной линейной люминесцентных ламп.

**Тесты по лабораторной работе 6**

**1. Средний срок службы КЛЛ составляет ...**

- а) от 1000 до 3000 ч;
- б) от 3000 до 6000 ч;
- в) от 6000 до 12 000 ч.

**2. Световая отдача КЛЛ составляет ...**

- а) 30 – 75 лм/Вт;
- б) 50 – 80 лм/Вт;
- в) 75 – 120 лм/Вт.

**3. При какой температуре окружающей среды у КЛЛ достигается максимум светового потока?**

- а) от 15 до 25 °С;
- б) от 5 до 35 °С;
- в) от 10 до 35 °С.

**4. Электронное ПРУ преобразует напряжение сети частотой 50 Гц в напряжение высокой частоты ...**

- а) 90 – 120 кГц
- б) 30 – 100 кГц
- в) 100 – 400 кГц

**5. За какое время устанавливается максимум светового потока КЛЛ?**

- а) 0,5 – 1 мин;
- б) 1 – 3 мин;
- в) 1,5 – 2 мин.

**6. Для чего служит дроссель на входе в цепи электрической схемы КЛЛ**

- а) для увеличения напряжения;
- б) для защиты от помех;
- в) для стабилизации напряжения.

**7. Какое напряжение достигается на конденсаторе СЗ в схеме включения КЛЛ?**

- а) 400 В;
- б) 600 В;
- в) 1,2 кВ.

**8. Наиболее частой причиной поломки энергосберегающих ламп является ...**

- а) увеличение пульсации лампы;
- б) выгорание контактов на цоколе;
- в) обрыв нити накала.

**9. Какая форма колбы дает наилучший световой поток?**

- а) спиралеобразная;
- б) W-образная;
- в) U-образная.

**10. Диаметр колбы у КЛЛ составляет ...**

- а) 30 – 40 мм;
- б) 20 – 30 мм;
- в) 8 – 13 мм.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТИЛЬНИКОВ

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** изучить конструкцию, световые характеристики и область применения светильников с лампами накаливания.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Непосредственное применение источников света (ИС) для создания требуемых параметров световой среды помещения не всегда возможно по следующим причинам: значительная яркость применяемых мощных ИС, их неудовлетворительное светораспределение, незащищенность ИС от механических воздействий и условий окружающей среды, неэстетичность внешнего вида ИС.

Поэтому на практике используют световые или осветительные приборы (ОП). Осветительные приборы состоят из двух главных частей – источника света и оптического устройства (ОПУ), перераспределяющего световой поток источника в пространстве (отражающего, преломляющего, рассеивающего). Они также предназначены для крепления ИС, ограничения слепящего действия, защиты от механических повреждений и воздействий окружающей среды.

ОПУ могут быть выполнены из зеркальных, преломляющих, диффузных и направленно-рассеивающих светотехнических материалов.

Кроме ИС и ОПУ прибор имеет устройства, коммутирующие, стабилизирующие и преобразующие электрический ток (ПРА).

Осветительные приборы можно делить на два класса: приборы ближнего действия – светильники и приборы дальнего действия – прожекторы. Светильники применяют для освещения помещений и объектов, удаленных на расстояние, лишь в десятки раз больше, чем их размеры.

Светильниками называются осветительные приборы, перераспределяющие свет внутри достаточно больших телесных углов и обеспечивающие угловую концентрацию светового потока с коэффициентом усиления до 30.

Признаками классификации осветительных приборов являются следующие:

- характер светораспределения (тип КСС, доля светового потока в нижнюю полусферу, форма фотометрического тела);
- назначение (для освещения закрытых помещений, открытых пространств, судовые, железнодорожные и т.д.);
- вид используемой лампы (накаливания, разрядные и т.д.);
- конкретная светотехническая функция (для общего, местного, комбинированного, декоративного и другого освещения);
- возможность перемещения при эксплуатации (стационарные, переносные, передвижные);
- способ установки (подвесные, потолочные, настенные, встраиваемые, опорные, ручные и др.);
- класс защиты от поражения электрическим током;
- защищенность от пыли и воды (степень IP);
- способы питания ИС (сетевое, от индивидуального источника, комбинированное);
- возможность изменения положения оптической системы (подвижная, неподвижная);
- возможность изменения светотехнических характеристик (регулируемые, нерегулируемые);
- способ охлаждения (естественное, искусственное);
- возможность работы в определенных условиях эксплуатации (климатическое исполнение, категория размещения, температура, относительная влажность воздуха, механическое воздействие, особые факторы среды, наличие химически активных веществ, взрывоопасность).

Светильники характеризуются мощностью источника; напряжением питающей сети; габаритными размерами (диаметр  $D$ , высота  $H$ ); КСС, дающей

зависимость значений силы света от углов  $\alpha$ ; КПД  $\eta = \frac{\Phi_{n.св.}}{\Phi_l}$ , (где  $\Phi_{n.св.}$  –

полезный световой поток прибора;  $\Phi_l$  – световой поток ИС); коэффициентом

усиления  $K_y = \frac{I_{max.св}}{I_{cp}}$  (где  $I_{max.св}$  – максимальная сила света прибора;

$I_{cp} = \Phi_l / 4 \cdot \pi$  – среднесферическая сила света ИС, для цилиндрических ИС

иногда  $I_{cp}$  берут максимальную силу света лампы  $I_{max}$ ); защитным углом

$\gamma = \arctg(h / (R + r))$ , где  $h$  – расстояние от края светящего тела лампы до

плоскости светового отверстия (рис. 7.1);  $R$  – радиус светового отверстия;

вместо  $r$  подставляют или  $r_n$  – радиус тела накала ЛН, или  $r_k$  – радиус точки

касания к колбе лампы ДРЛ; или  $r_{ст}$  – радиус столба разряда ламп ДРИ, ДНаТ.

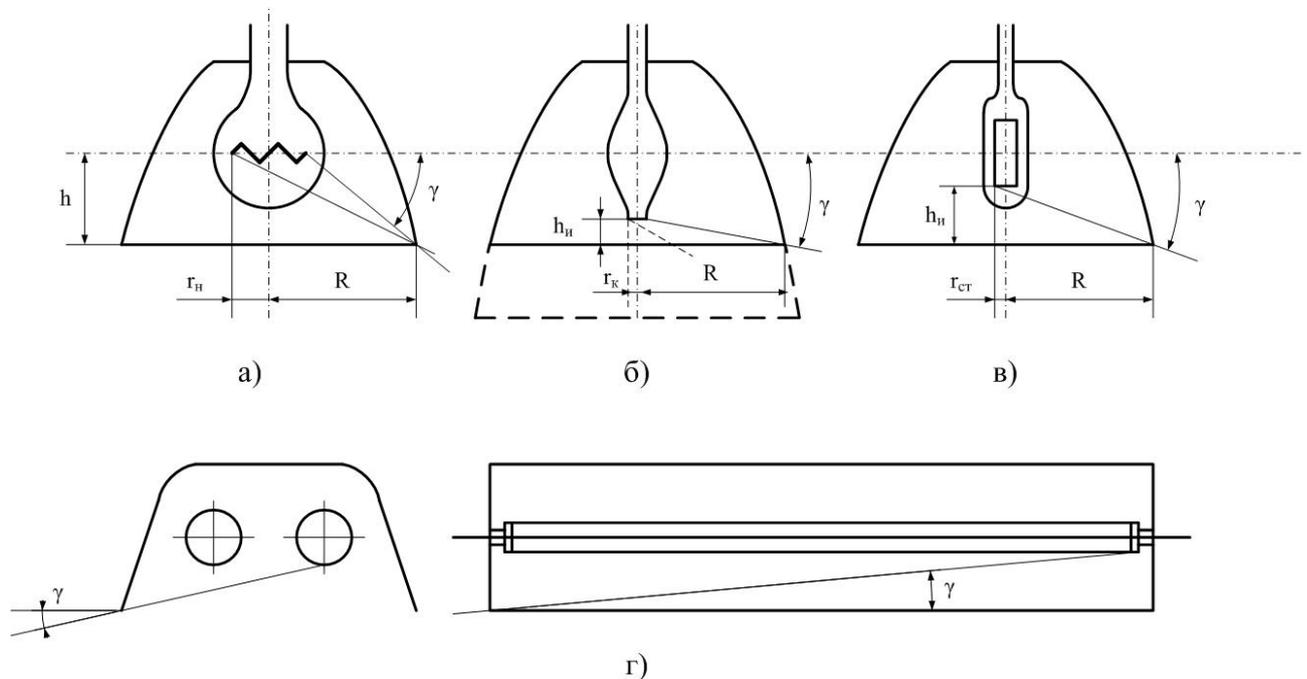


Рис. 7.1. Защитные углы светильников

Защитный угол  $\gamma$  светильников имеет важное значение для ограничения их слепящего действия. Круглосимметричные светильники характеризуются одним значением угла  $\gamma$ . Люминесцентные светильники характеризуются двумя значениями угла:  $\gamma$  в поперечной (перпендикулярной лампам) и  $\gamma'$  в продольной плоскости. Для обеспечения равенства указанных углов в люминесцентных светильниках устраиваются экранирующие решетки с продольными и поперечными планками, выполненными из диффузных или зеркальных материалов.

Ограничение ослепленности, создаваемой светильниками, достигается соответствующей высотой их подвеса, наименьшее значение которой, регламентируемое «Строительными нормами и правилами» (СНиП), зависят от защитного угла, типа светильника и мощности применяемой лампы. Если в светильниках применяется лампа накаливания с колбой из матированного стекла, то высота подвеса может быть снижена на 0,5 м по сравнению с нормируемой. Если светильники с лампой накаливания имеет угол  $\gamma \leq 10^\circ$ , то они без рассеивателей не применяются. Светильники с матированными лампами накаливания мощностью 60 Вт либо с матированными рассеивателями и обычными лампами мощностью до 60 Вт не имеют ограничений по высоте подвеса. Высота подвеса светильников с лампами ДРЛ должна быть не менее 6 м при мощности лампы более 400 Вт и не менее 4 м при лампах мощностью 400 Вт и ниже.

По отношению потока направляемых светильников в верхнюю  $\Phi_{\uparrow}$  и нижнюю  $\Phi_{\downarrow}$  полусферы они делятся на светильники прямого (П) света ( $\Phi_{\downarrow} \geq 0,8 \cdot \Phi_{св}$ ), светильники преимущественно прямого (Н) света ( $0,6 \cdot \Phi_{св} < \Phi_{\downarrow} < 0,8 \cdot \Phi_{св}$ ), светильники рассеянного (Р) света ( $\Phi_{\downarrow} - \Phi_{\uparrow} \leq \pm 0,2 \cdot \Phi_{св}$ ), светильники преимущественного отраженного (В) света ( $0,6 \cdot \Phi_{св} < \Phi_{\uparrow} < 0,8 \cdot \Phi_{св}$ ) и светильники отраженного (О) света ( $\Phi_{\uparrow} \geq 0,8 \cdot \Phi_{св}$ ). По кривой силы света (КСС) (рис. 7.2) светильники прямого

света делятся на глубоководные (кривые К, Г, Д) и широкоизлучающие (кривые Л, Ш).

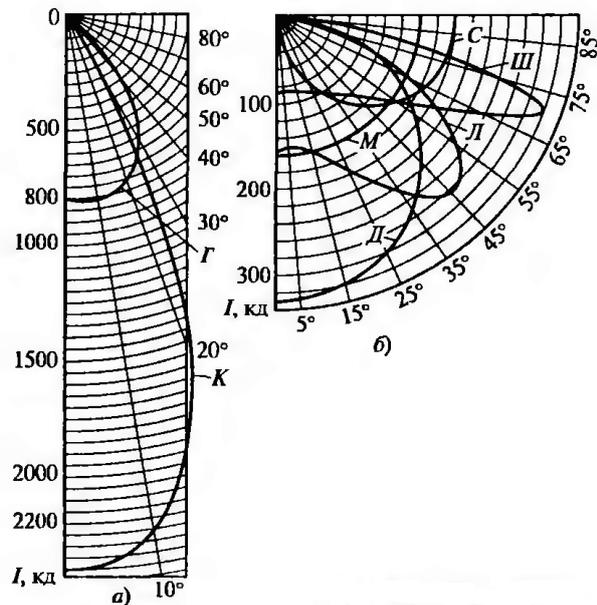


Рис. 7.2. Типы кривых сил света

Светильники рассеянного света могут иметь равномерную и синусную КСС (кривые М, С). Светильники для внутреннего освещения помещений могут иметь все вышеперечисленные КСС.

Основными светотехническими характеристиками светильников являются следующие:

1. Светораспределение светильника, которое полностью определяется формой фотометрического тела (ФТ). Под фотометрическим телом понимают геометрическое место концов радиусов-векторов, выходящих из светового центра прибора, длины которых пропорциональны силе света в данном направлении.

В зависимости от формы ФТ светильников различают симметричные, ФТ которых имеет ось или плоскость симметрии, и несимметричные, отличающиеся отсутствием симметрии ФТ.

Обычно светораспределение задают кривыми силы света: для осесимметричных – в одной плоскости, для остальных – в различных меридиальных плоскостях.

Справочные КСС составлены для условной лампы со световым потоком 1000 лм. Сила света под углом  $\alpha$  для реальной лампы с потоком  $\Phi$  определяется по формуле

$$I_{\alpha} = I_{\alpha}^{1000} \cdot \frac{\Phi}{1000}. \quad (7.1)$$

2. Коэффициент усиления  $K_{y\alpha}$  – характеризует усилие светильником силы света лампы в данном направлении. Для круглосимметричных световых приборов  $K_{y\alpha}$  определяется отношением силы света светового прибора в данном направлении к среднесферической силе света лампы

$$K_{y\alpha} = \frac{I_{\alpha}}{I_n} = \frac{4 \cdot \pi \cdot I_{\alpha}}{\Phi_l}. \quad (7.2)$$

Для симметричных световых приборов с линейными лампами  $K_{y\alpha}$  определяется отношением силы света светового прибора в данном направлении к силе света ламп в том же направлении.

3. Коэффициент формы определяется как отношение максимальной силы света в меридиальной плоскости  $I_{max}$  к условному среднеарифметическому значению силы света в той же плоскости  $I_{cp}$ , вычисляемой для зон с шагом 10 градусов

$$K_{\phi} = \frac{I_{max}}{I_{cp}}, \quad (7.3)$$

$$I_{cp} = \frac{1}{9} \cdot \sum I_{\alpha}. \quad (7.4)$$

«Правила устройства электроустановок» (ПУЭ) различают светильники по степени защиты от попадания внутрь твердых посторонних тел, в частности от пыли; по степени защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями, расположенными внутри оболочки изделия, а также по степени защиты от воды. Степень защиты характеризуется двумя цифрами. Первая – класс или подкласс светильников по степени его защиты от пыли и соприкосновения с частями, находящимися под напряжением, а вторая –

степень защиты светильников от проникновения воды. По защите от пыли конструкции светильников делятся на три класса: пыленезащищенные – 2, пылезащищенные – 5, пыленепроницаемые – 6. Первый класс (2) имеет защиту от возможности прикосновения пальцами к частям светильников, находящимся под напряжением. Классы (5) и (6) имеют полную защиту от прикосновения с помощью любого вспомогательного устройства.

Пыленезащищенные светильники имеют два подкласса: открытые – 2 и перекрытые – 2'. Пылезащищенные делятся также на два подкласса: частично пылезащищенные – 5, полностью пылезащищенные – 5'. Пыленепроницаемые делятся на частично (6) и полностью (6') непроницаемые.

По степени защиты от воды светильники делятся на семь групп: водонезащищенные – 0, каплезащищенные – 2, дождезащищенные – 3, брызгозащищенные – 4, струезащищенные – 5, водонепроницаемые – 7, герметичные – 8. Для обозначения степени защиты перед двумя цифрами ставятся буквы IP (Ingress Protection) во всех случаях, когда степень защиты светильников соответствует степени защиты всего остального электрооборудования (первая цифра без штриха). Например, открытые светильники могут иметь степень защиты IP20, IP22, IP23, перекрытые – 2'3 и т.д. (в случае введения подклассов, обозначаемых цифрами со штрихами, буквы IP не ставятся).

Взрывозащищенные светильники делятся на взрывонепроницаемые (В) – оболочка светильников выдерживает полное давление взрыва, продукты взрыва должны выходить из светильника через щели уже охлажденными; повышенной надежности против взрыва (Н) – должно быть исключено возникновение искр, электрической дуги или опасных температур на поверхности светильника.

Осветительные приборы выпускаются в различных климатических исполнениях и предназначаются для эксплуатации в соответствующем климатическом районе. Климатическое исполнение изделия, предназначенного для эксплуатации на суше, реках, озерах и вообще в макроклиматических районах, имеет буквенное обозначение: для районов с умеренным климатом –

У, с холодным – ХЛ, с влажным тропическим – ТВ, с сухим тропическим – ТС, с влажным и сухим – Т, любым на суше (общеклиматическое исполнение) – О.

Кроме того, изделия делятся на категории в зависимости от места их размещения. Категории обозначаются арабскими цифрами: для работы на открытом воздухе – 1; для работы в помещениях, где колебания влажности и температуры мало отличаются от колебаний открытого воздуха – 2; для работы в закрытых помещениях с вентиляцией – 3; для работы в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями – 4, в том числе в помещениях с кондиционированным воздухом – 4.1, в лабораториях, капитальных жилых и других подсобных помещениях – 4.2; для работы в помещениях с повышенной влажностью – 5.

Наряду с традиционными оптическими приборами в настоящее время применяются осветительные устройства с зеркальными полыми световодами цилиндрической формы. Оболочка световода может быть жесткой (полый металлический цилиндр с зеркальным покрытием) и мягкой – из металлизированной полиэтилентерефталатной (ПТЭФ) пленки. И в том и в другом случае световод имеет выходную светорассеивающую щель, через которую выходит световой поток, испытывавший многократное отражение от зеркальных стенок световода. Световой поток от источника вводится в световод через торец. Световод и источник света входят в комплектное осветительное устройство (КОУ), предназначенное для освещения производственных помещений с большим содержанием пыли и влаги, а также пожароопасными и взрывоопасными зонами. Применение КОУ в указанных помещениях возможно при обязательной установке источника света вне этих помещений, либо в строительных галереях и коммуникационных помещениях. Возможно применение КОУ для освещения помещения общественного назначения (например станции метро).

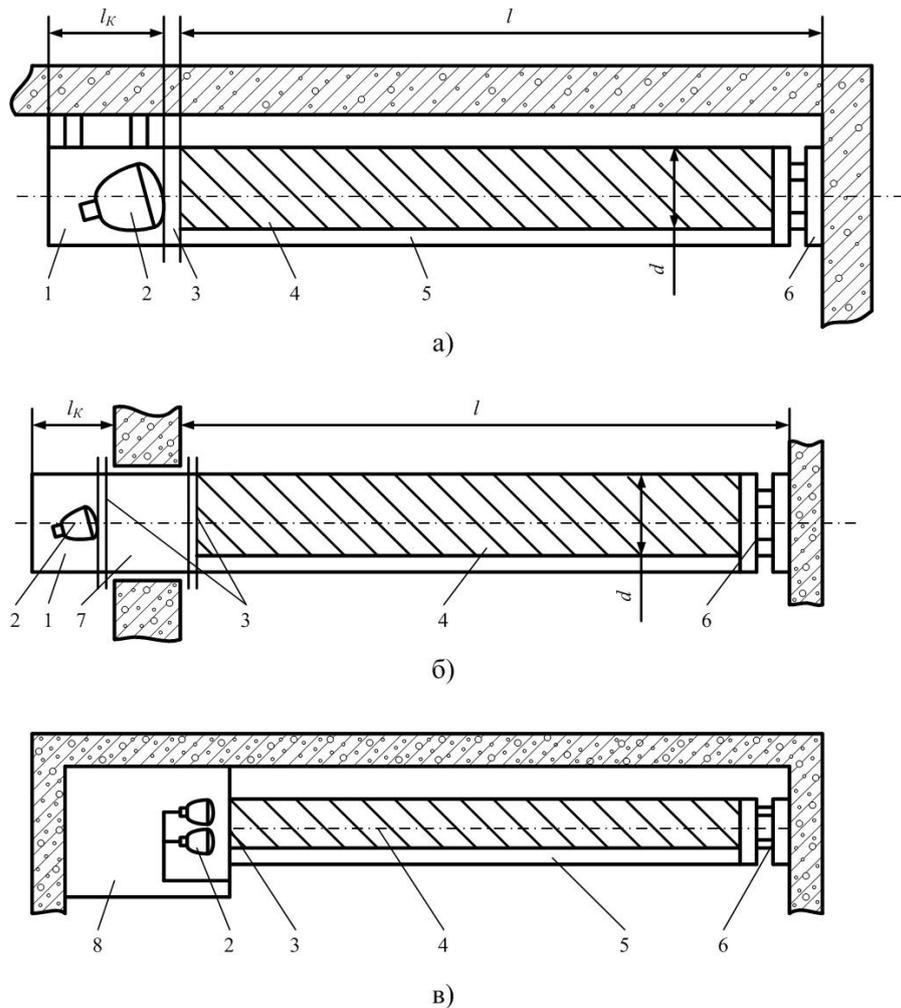


Рис. 7.3. Устройство КОУ с цилиндрическим световодом:  
а – КОУ1; б – КОУ 1А, в – КОУ1С

КОУ состоит из следующих основных частей (рис. 7.3): камеры 1, источника света 2, входного торцевого элемента 3, канала щелевого световода 4, выходной продольной щели 5 и окончного торцевого элемента 6, переходного элемента 7 и строительной галереи 8.

КОУ рассчитаны на работу в сети переменного тока с номинальным напряжением 220/380 В. Степень защиты оболочек устройства соответствует IP54. В качестве источника света в них применяются зеркальные металлогалогенные лампы-светильники типа ДРИЗ и ЛФМГ, а также зеркальные лампы накаливания типа ЗК.

Кроме КОУ с цилиндрическими щелевыми световодами имеются осветительные устройства с плоским клиновидными световодами серии УПС

(рис. 7.4). Эти устройства предназначены перераспределять огромные потоки мощных (700 Вт) металлогалогенных зеркальных ламп 9 типа ДРИЗ-700-1 по большим площадям с помощью зеркальной наклонной 6 и светопропускающей 5 плоских поверхностей, образующих клиновидный канал 4 световода. В результате многократных отражений световой поток распределяется примерно равномерно по светопропускающей поверхности 5, площадью 14,4 м<sup>2</sup> (при других вариантах 10,8; 7,2 и 3,6 м<sup>2</sup>). При стыковке УПС боковыми сторонами светящая поверхность может быть любой площади.

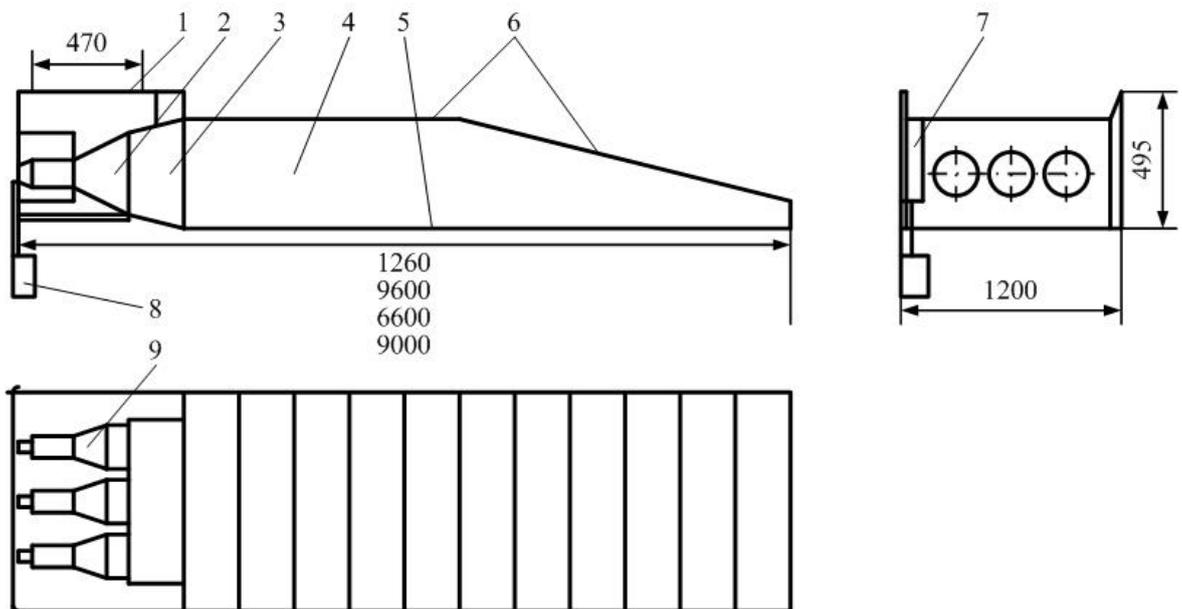


Рис. 7.4. Устройство с плоскими световодами серии УПС

Устройство имеет приспособленное для ввода 3 светового потока в канал, кассету с лампами 2, в камере блок ПРА 7 и ИЗУ 8 зажигания ламп. УПС применяется для освещения различных помещений общественных зданий со светящимися потолками, а также для облучения растений в теплицах. УПС имеет КПД не менее 0,55, степень защиты IP54, климатическое исполнение УХЛ, категорию размещения 4.

Для широкой группы светильников разработана система обозначений, структура которой следующая: 1234-5 × 6-7-8. В ней

1 – тип источника света (лампа накаливания Н, лампа люминесцентная Л, лампа-светильник С, ртутная ДРЛ – Р, металлогалогенная Г, натриевая Ж, галогенная лампа накаливания – И, ксеноновая трубчатая – К);

2 – способы установки (подвесные С, потолочные П, консольные К, встраиваемые В, настенные Б);

3 – основное назначение (промышленные П, рудничные Р, общественные здания О, наружного освещения У, бытовые помещения Б);

4 – номер серии (две цифры);

5 – число ламп (цифра 1 не указывается);

6 – мощность лампы Вт (от одной до пятизначной цифры);

7 – номер модификации (трехзначное число);

8 – климатическое исполнение и категория размещения (одна или две буквы и одна-две цифры). В соответствии с этой системой можно привести примеры обозначений некоторых светильников:

- светильник с лампой накаливания, мощностью 60 Вт, общего назначения, подвесной, для промышленных предприятий, серии 05, модификации 016, климатическое исполнение У, категория размещения 3 – НСП05 × 60-016-У3;

- светильник с лампой ДРЛ, мощностью 400 Вт, консольный, уличный, серии 08, модификации 014, климатического исполнения ХЛ, категории размещения 1 – РКУ 08 × 400-014-ХЛ1;

- светильник с двумя люминесцентными лампами мощностью 40 Вт, подвесной, для общественных зданий, серии 02, модификации 005, климатического исполнения У, категории размещения 4 – ЛСО02-2 × 40-005-У4.

За последнее время значительное развитие получили светильники с новыми люминесцентными лампами, из которых следует отметить энергоэкономичные – ЭЛЛ (диаметр  $d = 26$  мм), компактные – КЛЛ и тонкие – ТЛЛ (диаметр  $d = 16$  мм) (TL5HO, фирма «Philips» и др.). Лампы ЭЛЛ (уменьшенной мощности 18, 36, 58 Вт) уже сейчас заменяют в светильниках стандартные ЛЛ. Кроме этих энергосберегающих ЛЛ большое будущее принадлежит ТЛЛ. Они выпускаются разных мощностей, например 24,39,48 и 54 Вт с увеличенной световой отдачей – от 89 до 102 лм/Вт. Что при малом их

диаметре, но при тех же длинах повышает яркость поверхности ЭЛЛ в 1,5 раза. Благодаря этому зеркальные светильники с лампами ТЛЛ имеют поперечные размеры в 3 – 4 раза меньше, чем у светильников с лампами ЭЛЛ при одном и том же их количестве. Это значительно снижает материалоемкость светильников и делает их более удобными в эксплуатации. КЛЛ мощностью от 9 до 26 Вт, имеющие полупроводниковые ПРА, вмонтированные в обычный цоколь E-27, легко заменяют лампы накаливания в люстрах и светильниках, что снижает мощность бытовых и общественных осветительных установок почти в 4 раза при сроке службы КЛЛ в 10 раз больше, чем у ламп накаливания.

В настоящее время люминесцентные лампы-светильники, особенно за границей, имеют зеркальную и преломляющую оптику. Зеркальное оптическое устройство представляет собой экранирующую решетку, поперечные планки которой профилированы (клиновидные тела с параболоидными боковыми поверхностями). Решетки обеспечивают достаточные значения защитных углов в обеих плоскостях  $\gamma = 15 - 30^\circ$  и рациональные КСС. На рисунке 7.5 показаны потолочные люминесцентные светильники с зеркальными отражателями и экранирующими решетками. Такие светильники с двумя лампами ЭЛЛ мощностью по 58 Вт, имеющие КСС типа Д-3, и с четырьмя лампами по 18 Вт, имеющие КСС типов Д-2 и Л (в двух плоскостях), изображены на рисунке 7.5 а, б. Эти светильники применяются для общего освещения офисов с персональными компьютерами.



а)



б)

Рис. 7.5. Потолочные светильники с зеркальными отражателями и экранирующими решетками:

а – двухламповый, лампы типа ЭЛЛ,  $P = 58$  Вт;

б – четырехламповый, лампы типа ЭЛЛ,  $P = 18$  Вт

Дальнейшее совершенствование светильников всех типов заключается в повышении их КПД и увеличении стабильности светотехнических параметров. Особенно большое развитие в XXI веке должны получить зеркальные и призматические светильники с высокоинтенсивными лампами типа ГЛН, ТЛЛ, ДРИ и ДНаТ малой и большой мощности. Целью разработки таких светильников должно быть улучшение их показателей, хорошее воспроизведение образцовых КСС и уменьшение допусков на разброс значений силы света и КПД.

## ПЛАН РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию и область применения наиболее распространенных светильников с лампами накаливания;
2. Опытным путем определить продольную кривую светораспределения нескольких светильников и лампы накаливания без светильника.
3. По опытным данным для каждого светильника и лампы построить кривую светораспределения, найти световой поток, КПД светильника и его защитный угол;
4. Снять и построить освещенности горизонтальной плоскости под каждым из светильников и лампой без светильника в зависимости от расстояния до источника света.

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При изучении конструкции светильников и области их применения можно пользоваться имеющимися в лаборатории светильниками, а также рекомендуемой литературой. В отчете по работе для светильника каждого типа вычертить эскиз, кривую его светораспределения и указать защитный угол.

Для снятия кривой светораспределения необходима специальная установка, позволяющая измерять освещенности в разных направлениях радиуса сферы вокруг светильника, например через каждые  $10^\circ$ , то есть под углами 0, 10, 20, 30 и так далее, от оси симметрии. Расстояние от нити накала или центра лампы до точки замера освещенности (радиус сферы) тщательно измеряют. Расстояние (длину кронштейна) следует взять 1 м.

При исследовании распределения силы света влияние постороннего излучения учитывают вычитанием показаний люксметра с включенным и выключенным источником.

Порядок определения светового потока, КПД, силы света для каждого светильника следующий:

- собирают схему измерительной установки по рисунку 7.6;
- при помощи подвижного кронштейна с фотоэлементом устанавливают необходимый угол для вычисления силы света;
- для каждого угла люксметром измеряют освещенность в выбранном направлении;
- находят силу света,  $I_\alpha$ , кд по формуле

$$I_\alpha = \frac{E_\alpha \cdot l^2}{\cos \beta}, \quad (7.5)$$

где  $E_\alpha$  – освещенность плоскости, перпендикулярной рассматриваемому направлению, измеренная люксметром, лк;

$l$  – расстояние от источника до места замера, м;

$\beta$  – угол падения светового потока на фотоэлемент люксметра, в данном случае угол равен  $0^\circ$ .

- полный световой поток, создаваемый лампой накаливания или светильником, определяют методом зональных потоков.

Сущность этого метода заключается в вычислении световых потоков, сосредоточенных в зональных телесных углах всего пространства, с последующим суммированием их для расчета полного светового потока светильника.

Световой поток, заключенный в пределах достаточно малых зональных телесных углов, можно найти, умножая зональный телесный угол на среднюю силу света в этой зоне

$$\Phi_{\alpha_i - \alpha_j} = \Delta \omega_{\alpha_i} - I_{cp} \alpha_j. \quad (7.6)$$

В пределах малой зоны кривую распределения силы света светильника изменяют плавно. Поэтому с достаточной точностью за среднюю в зоне можно принять силу света в направлении, определяемом углом  $\alpha_{cp}$  направления средней силы света, численно равным среднему арифметическому значению граничных углов  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$  зоны

$$\alpha_{cp} = \frac{(\alpha_i + \alpha_j)}{2}. \quad (7.7)$$

Например, если зона пространства характеризуется граничными углами  $\alpha_i = 10^\circ$  и  $\alpha_j = 20^\circ$ , то среднюю силу света вычисляют по кривой силы света при  $\alpha_{cp} = 15^\circ$ . Если  $\alpha_i = 20^\circ$  и  $\alpha_j = 30^\circ$ , то  $\alpha_{cp} = 25^\circ$ . Подставляя в уравнение для потока значение зонального телесного угла

$$\Delta\omega_{\alpha_i-\alpha_j} = 2 \cdot \pi \cdot (\cos \alpha_i - \cos \alpha_j), \quad (7.8)$$

получаем окончательное выражение зонального светового потока

$$\Phi_{\alpha_i-\alpha_j} = 2 \cdot \pi \cdot (\cos \alpha_i - \cos \alpha_j) \cdot I_{cp}. \quad (7.9)$$

Полный поток светильника определяют, суммируя зональные потоки. В общем случае суммирование выполняют в пределах всего пространства от  $\alpha_i = 0^\circ$  до  $\alpha_j = 180^\circ$

$$\Phi = \sum_{\alpha_j}^{\alpha_i} \Phi_{зона} = \sum_{\alpha_j}^{\alpha_i} 2 \cdot \pi (\cos \alpha_i - \cos \alpha_j) \cdot I_{cp}. \quad (7.10)$$

Поток светильника, излучающего только в пределах нижней полусферы, следует выбирать от  $\alpha_i = 0^\circ$  до  $\alpha_j = 90^\circ$ .

Для быстрого подсчета светового потока можно пользоваться приближенной эмпирической формулой

$$\Phi \cong \frac{\pi}{2} \cdot (I_{30} + 2 \cdot I_{60} + I_{80} + I_{100} + 2 \cdot I_{120} + I_{150}). \quad (7.11)$$

Здесь  $I_{30}$ ,  $I_{60}$  и т.д. – сила света под углами 30, 60° и т.д.

Погрешность по этой формуле может быть 10% и более.

Полученные данные распределения силы света приводят к источнику с условным световым потоком 1000 лм по формуле

$$I_{\alpha}^{1000} = \frac{1000 \cdot I_{\alpha}}{\Phi}. \quad (7.12)$$

Результаты опытов и расчетов, а также справочные данные свести в таблицу 7.1. По опытным и справочным данным построить в полярных координатах кривые светораспределения для светильника каждого типа.

Защитный угол светильника  $\gamma$  легко найти по резкому изменению освещенности при снятии кривой светораспределения. КПД светильника  $\eta$  – это отношение светового потока светильника к световому потоку источника света. Значения светового потока  $\Phi$  лампы, КПД  $\eta$  и защитного угла  $\gamma$  светильников, полученные опытным путем, сравнить со справочными данными.

Таблица 7.1

Данные для построения кривых светораспределения светильников

Наименование и тип светильника	Опытные данные			Расчетные данные							
	№ изм.	$\alpha$ , град	E, лк	I, кд	$\alpha_i - \alpha_j$ , град	$\alpha_{ср}$ , град	I <sub>ср</sub> , кд	$\omega_{\alpha_i - \alpha_j}$ , ср	$\hat{O}_{\alpha_i - \alpha_j}$ , лм	$\eta$ , о.е.	$\gamma$ , град
	1	0									
	2	10									
	3	20									
	4	30									
	5	40									
	6	50									
	7	60									
	8	70									
	9	80									
	10	90									
	11	100									
	12	110									
	13	120									
	14	130									
	15	140									
	16	150									
	17	160									
	18	170									
	19	180									

Примечания: 1. В выполняемой работе исследуется несколько светильников и лампа без светильника. Отдельно для лампы должна быть составлена такая же таблица.

2. Для каждого светильника число измерений будет различным в зависимости от его защитного угла.

**Контрольные вопросы**

1. Что называют осветительным прибором?
2. Какой прибор называют светильником?
3. Что такое сила света?
4. Что такое освещенность?
5. Что называют защитным углом светильника?
6. Как определить опытным путем КПД светильника?
7. Как повысить КПД светильника?
8. Что называют продольной кривой светораспределения светильника?
9. Дайте классификацию светильников по виду кривых светораспределения.
10. Как классифицируют светильники по исполнению?
11. Какие требования предъявляют к материалам, из которых изготавливают светильники?
12. Перечислите основные световые характеристики светильников.

**Тесты по лабораторной работе 7****1. Светильник – это ...**

- а) прибор, излучающий свет в пространство;
- б) прибор, отражающий солнечные лучи;
- в) прибор, перераспределяющий свет.

**2. Что означает вторая цифра в указании степени защиты IP?**

- а) защита от попадания воды;
- б) защита от попадания твердых частиц;
- в) защита от попадания солнечных лучей.

**3. Что такое защитный угол?**

- а) угол, защищающий от слепящего действия света;
- б) угол, защищающий от воздействия УФ-излучения;
- в) угол, защищающий от воздействия ИК-излучения.

**4. В каких помещениях применяют комплексное осветительное устройство (КОУ)?**

- а) в больших производственных помещениях, имеющих малое выделение пыли и влаги;
- б) производственные помещения с большим содержанием пыли и влаги, а также пожаро- и взрывоопасными зонами;
- в) в общественных зданиях, для освещения больших пространств (залов, сцен и так далее).

**5. Что означает третья буква в названии светильников?**

- а) способ установки;
- б) основное назначение;
- в) тип источника света;
- г) климатическое исполнение.

**6. На какие классы разделяют осветительные приборы?**

- а) подвесные и встраиваемые;
- б) ИК, УФ и видимого излучения;
- в) ближнего и дальнего действия.

**7. Из каких двух главных частей состоят осветительные приборы?**

- а) ПРА и корпус;
- б) источник света и ПРА;
- в) источника света и оптического устройства.

**8. Какую степень защиты имеют открытые светильники?**

- а) IP01;
- б) IP22;
- в) IP46.

**9. Какой КПД имеет устройство с плоскими световодами серии УПС?**

- а) 0,55;
- б) 0,78;
- в) 0,86.

**10. Для каких ламп применяются светильники типа РСП?**

- а) для ксеноновых ламп;
- б) для ламп накаливания;
- в) для ламп ДРЛ;
- г) для люминесцентных ламп.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ ОПЫТНЫМ И РАСЧЕТНЫМ ПУТЕМ

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** освоить различные методы светотехнических расчетов освещения помещений. Оценить точность и применимость каждого метода, сопоставляя результаты расчета по ним со значениями измеренной фактической освещенности. Приобрести навыки измерений люксметром освещенности рабочих поверхностей.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При проектировании осветительных установок целью расчета является определение числа и мощности ламп светильников, необходимых для обеспечения заданной освещенности.

Если для освещения предусматриваются лампы накаливания или газоразрядные лампы высокого давления типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и другие, то число и месторасположение светильников намечают до расчета освещения, а в процессе расчета определяют необходимую мощность источника света.

При использовании люминесцентных ламп сначала намечают число и расположение рядов светильников, а затем определяют число и мощность ламп, установленных в каждом ряду.

В результате светотехнического расчета освещения определяется значение светового потока принятого источника света  $\Phi_{лр}$ , на основании которого по справочной литературе выбирается стандартная лампа определенной мощности и светового потока, значение которого не должно отличаться от  $\Phi_{лр}$  более чем  $-10 \leq \Phi_{лр} \leq 20\%$ . Если такой источник подобрать не удастся, то принимается лампа со значением светового потока, ближайшая к

$\Phi_{лр}$ , а далее корректируется число светильников в помещении и осуществляется повторный расчет освещения.

Для расчета освещения применяются три основных метода: метод коэффициента использования светового потока, метод удельной мощности и точечный метод.

Метод коэффициента использования светового потока предназначен для расчета общего равномерного освещения при отсутствии крупных затеняющих объектов.

Метод удельной мощности применяют для определения осветительной нагрузки при расчетах электрических линий и источников электроснабжения.

Точечный метод предназначен для расчета освещения произвольного расположения поверхностей при любом распределении освещенности. Применяется при расчете общего равномерного освещения (при наличии существенных затенений), местного, общего локализованного, аварийного, а также освещения наклонных поверхностей.

### **Метод коэффициента использования светового потока**

Расчетное значение светового потока в каждом светильнике определяется по формуле

$$\Phi_{лр} = \frac{E_n \cdot k_z \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta_{оу}}, \quad (8.1)$$

где  $E_n$  – нормируемое значение освещенности, лк;

$k_z$  – коэффициент запаса (табличные данные);

$S$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;

$\eta_{оу}$  – коэффициент использования светового потока осветительной установки, о.е.;

$z$  – отношение средней освещенности к минимальной.

Коэффициент  $z$  характеризует неравномерность освещенности и в значительной степени зависит от соотношения  $L/H_p$ . Если это соотношение находится в диапазоне рекомендуемых значений, то можно принять

$z = 1,15$  – для ламп накаливания и газоразрядных ламп типов ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и т.п.;

$z = 1,1$  – для люминесцентных ламп, расположенных в виде светящей линии.

Под коэффициентом использования светового потока понимают отношение светового потока, падающего на расчетную поверхность, к световому потоку источника света. Его значение принимается по табличным данным в зависимости от коэффициентов отражения поверхностей помещения: потолка –  $\rho_n$ , стен –  $\rho_c$  (приложение 1, 2, 3, 4, 5), расчетной поверхности –  $\rho_p$  (обычно принимается равным 0,1) и от индекса помещения

$$i_n = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)}. \quad (8.2)$$

По найденным значениям  $\Phi_{лр}$  выбирается лампа ближайшей стандартной мощности, значение светового потока которой отличается от  $\Phi_{лр}$  не более чем на  $-10 \leq \Phi_{лр} \leq 20\%$ .

При расчете люминесцентного освещения первоначально намечается число рядов  $R$ , которое подставляется в формулу 8.1 вместо  $N$ . Тогда под  $\Phi_{лр}$  следует подразумевать световой поток ламп одного ряда  $\Phi_{Rp}$

$$\Phi_{Rp} = \frac{E_n \cdot k_3 \cdot S \cdot z}{R \cdot \eta_{oy}}. \quad (8.3)$$

### Расчет освещения по удельной мощности

Метод расчета по удельной мощности является одним из упрощенных вариантов расчета освещенности с применением коэффициента использования.

Удельная мощность  $p_y$ , Вт/м<sup>2</sup>, осветительной установки определяется по формуле

$$p_y = \frac{P_l \cdot N}{S}, \quad (8.4)$$

где  $P_l$  – мощность одной лампы, Вт;

$N$  – число ламп, шт;

$S$  – площадь освещаемой поверхности, м<sup>2</sup>.

Приняв удельную мощность в соответствии с заданными условиями, можно определить расчетное значение требуемой мощности одной лампы

$$P_{pl} = \frac{p_y \cdot S}{N}, \quad (8.5)$$

по которому выбирается лампа ближайшей стандартной мощности.

В приложении 6 – 10 приводятся данные об удельной мощности для светильников прямого света с типовыми КСС.

Расчет по удельной мощности допускается производить только для общего равномерного освещения при отсутствии крупных затенений и в пределах тех данных, для которых составлены таблицы. При пользовании следует учитывать следующие особенности:

- если значения освещенности и коэффициента запаса, принятых для расчета, отличаются от указанных в таблице, следует произвести пропорциональный перерасчет значения удельной мощности;

- если значения коэффициентов отражения поверхностей помещения отличаются от принятых в таблице (помещения более темные или более светлые), допускается соответственно увеличить или уменьшить удельную мощность на 10%;

- значения удельной мощности для ламп накаливания указаны для напряжения 220 В;

- в таблицах указаны значения удельной мощности для КПД светильника 100 %; для получения значения удельной мощности при меньшем КПД следует

табличное значение разделить на выраженный в долях единицы КПД светильника;

- при использовании для освещения помещения энергоэкономичных люминесцентных ламп мощностью 36 Вт допускается определять удельную мощность по таблице для стандартных люминесцентных ламп мощностью 40 Вт;

Перерасчет удельной мощности с учетом фактических исходных данных можно производить по выражению

$$P_y = \frac{P_{y.m.} \cdot k_z \cdot E_n}{k_{z.m.} \cdot \eta \cdot 100}, \quad (8.6)$$

где  $P_{y.m.}$  – табличное значение удельной мощности освещения;

$k_z$  и  $k_{z.m.}$  – фактический и табличный коэффициенты запаса;

$E_n$  – величина нормированной освещенности, лк;

$\eta$  – КПД выбранного светильника в относительных единицах ( $\eta = 0,5 - 0,8$ ).

Приложения 6 – 9 рассчитывались для светильников прямого света при отношении расстояний между ними или между их рядами к высоте подвеса  $L/H_p = 0,4$  для КСС типов Г-3, К-1, К-2;  $L/H_p = 1,0$  для КСС типов Д-3, Г-1, Г-2;  $L/H_p = 1,5$  для КСС типов Д-1, Д-2, а также при полном совпадении данных, для которых составлены эти таблицы.

### Точечный метод расчета освещенности

При расчетах, проводимых точечным методом, светильник представляется точечным, то есть его размеры считаются малыми по сравнению с расстоянием до освещаемой им точки пространства (его размеры не превышают 0,2 расстояния до освещаемой точки). К точечным источникам относятся, например, прожекторы, светильники с лампами накаливания и газоразрядными лампами высокого давления типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и др.

Расчету освещенности должен предшествовать выбор типа световых приборов, расположение и высота подвеса их в помещении, нормируемое значение освещенности ( $E_n$ ).

Расчетная точка освещается практически всеми светильниками, находящимися в помещении, однако учитывают обычно только действие ближайших светильников.

В качестве контрольных выбираются точки с наименьшей освещенностью, но не следует их принимать у стен или в углах помещения. Если в подобных точках есть рабочие места, то создание требуемой освещенности у них обеспечивается установкой дополнительных светильников или ламп большей мощности. При расположении светильников рядами контрольная точка выбирается между рядами на расстоянии от торцевой стены, примерно равной расчетной высоте.

### **Расчет освещенности на горизонтальной плоскости**

Освещенность элемента поверхности определяется в соответствии с формулой

$$L = \frac{I_\alpha}{S \cdot \cos \alpha}. \quad (8.7)$$

В случае расчета освещенности на горизонтальной поверхности расстояние от источника света до контрольной точки А (рис. 8.1) определяется как гипотенуза прямоугольного треугольника по выражению

$$l = \frac{h_p}{\cos \alpha}. \quad (8.8)$$

Освещенность элемента поверхности на горизонтальной плоскости можно рассчитать по формуле

$$E = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{h_p^2 \cdot k_\zeta}, \quad (8.9)$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса;

$\mu$  – коэффициент дополнительной освещенности, учитывающий освещенность, создаваемую от неучтенных светильников, стен и потолка (принимается равным 1.1 – 1,2).

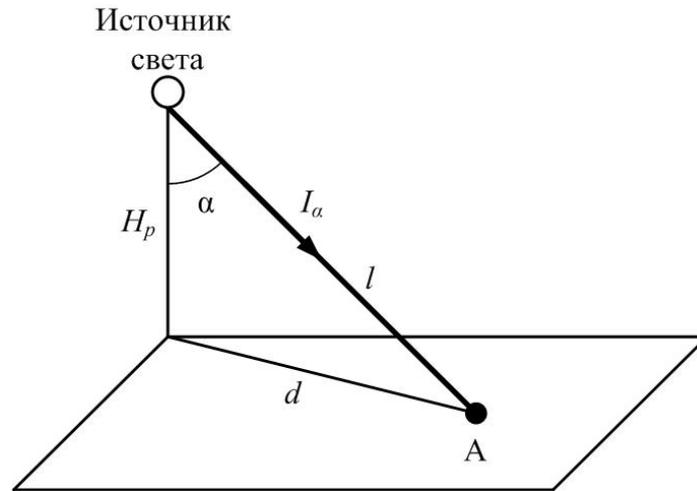


Рис. 8.1. Освещенность элемента поверхности горизонтальной плоскости

в точке А:  $I_\alpha$  – сила света светильника в направлении в точке А, кд;

$\alpha$  – угол между направлением силы света и осью симметрии светильника, град;  $l$  – расстояние от светильника до расчетной точки А, м;  $d$  – расстояние от расчетной точки А до проекции оси симметрии светильника на плоскость, ей перпендикулярную и проходящую через расчетную точку, м.

Расчет освещенности на горизонтальной плоскости с использованием формулы (8.9) осуществляется в следующем порядке:

- определяется тангенс угла падения светового луча в расчетную точку

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{h_p}, \quad (8.10)$$

где  $d$  – расстояние от расчетной точки до проекции оси симметрии светильника на плоскость, ей перпендикулярную и проходящую через расчетную точку, м.

- по найденному значению  $\operatorname{tg} \alpha$  определяется угол  $\alpha$  и  $\cos^3 \alpha$ ;

- по КСС принятого светильника с условной лампой со световым потоком 1000 лм для найденного угла  $\alpha$  определяется сила света  $I_{\alpha(1000)}$  по приложению 10 и рассчитывается значение освещенности, создаваемой этим светильником

$$E_{(1000)} = \frac{I_{\alpha(1000)} \cdot \cos^3 \alpha}{h_p}. \quad (8.11)$$

- искомая освещенность от светильника со световым потоком  $\Phi_l$

$$E = \frac{E_{(1000)} \cdot \Phi_l \cdot \mu}{k_3 \cdot 1000}, \quad (8.12)$$

В случае, когда расчетная точка освещается несколькими источниками света, необходимо рассчитать освещенность от каждого источника, а искомая освещенность определяется как их сумма

$$\sum_{i=1}^n E = E_1 + E_2 + \dots + E_n. \quad (8.13)$$

Если задана нормируемая освещенность  $E_n$  и требуется определить мощность лампы, необходимую для обеспечения этой освещенности на горизонтальной поверхности, расчетное значение светового потока лампы выражается из формулы (8.12)

$$\Phi_{лр} = \frac{E_n \cdot k_3 \cdot 1000}{\sum E_{(1000)} \cdot \mu}. \quad (8.14)$$

Подставляя в эту формулу значение освещенности  $E_{(1000)}$ , создаваемой условной лампой со световым потоком 1000 лм, получим

$$\Phi_{лр} = \frac{E_n \cdot k_3 \cdot 1000 \cdot h_p^2}{I_{\alpha(1000)} \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}. \quad (8.15)$$

По найденному значению светового потока выбирается лампа стандартной мощности и светового потока, значение которого отличается от  $\Phi_{лр}$  не более чем на  $-10 \leq \Phi_{лр} \leq 20\%$ .

При наличии большого количества светильников, освещающих расчетную точку, можно использовать приближенный точечный метод расчета освещенности по пространственным изолюксам.

В данном случае расчет производится в следующей последовательности. Первоначально принимается, что поток лампы (при многоламповом светильнике – суммарный поток ламп) в каждом светильнике равен 1000 лм. Создаваемая в этом случае освещенность  $e$  называется условной. Ее величина зависит от светораспределения светильника и расстояний  $d$  и  $h_p$ .

Определение  $e$  для каждой точки производится с помощью пространственных изолюкс условной горизонтальной освещенности. Если заданные значения  $d$  и  $h_p$  выходят за пределы шкал, то можно эти координаты увеличить (уменьшить) в  $a$  раз так, чтобы точка оказалась в пределах графика, и определенное по графику значение  $e$  увеличить (уменьшить) в  $a^2$  раз. При наличии  $n$  светильников

$$e = \sum_{i=1}^n e_i. \quad (8.16)$$

Для получения в расчетной точке заданной освещенности  $E_n$  лампы в каждом светильнике должны иметь поток

$$\Phi_{лр} = \frac{E_n \cdot k_3 \cdot 1000}{\mu \cdot \sum_{i=1}^n e_i}. \quad (8.17)$$

Формула (8.17) может быть использована также для определения освещенности в расчетной точке при известном значении  $\Phi_{л}$

$$E = \frac{\Phi_{л} \cdot \mu \cdot \sum_{i=1}^n e_i}{k_3 \cdot 1000}. \quad (8.18)$$

**Расчет освещенности от светящей линии**

Светящей считается линия, длина которой превышает половину расчетной высоты  $h_p$ . Для расчета светящей линии чаще всего пользуются графиками линейных изолукс, которые дают относительную горизонтальную освещенность  $e$  при  $h_p = 1$  и  $\Phi' = 1000$  лм/м, где  $\Phi'$  – плотность светового потока в ряду, то есть отношение суммарного потока ламп к длине светящей полосы.

Линейные изолуксы строятся для случая, когда расчетная точка совпадает с проекцией конца светящего элемента на расчетную плоскость.

Расчет светящей линии с помощью линейных изолукс осуществляется в следующем порядке:

1) производится расчет высоты  $h_p$ , принимается тип светильников и люминесцентных ламп в них, осуществляется размещение светильников в линии и линии в помещении;

2) определяют геометрические размеры (рис. 8.2):  $l$  – длина светящей линии, м;  $d$  – расстояние от проекции светящей линии на плоскость, проходящую через расчетную точку, до расчетной точки, м. После этого рассчитываются их относительные значения

$$l' = \frac{l}{h_p}, \quad d' = \frac{d}{h_p}, \quad (8.19)$$

3) если расчетная точка лежит против конца ряда светильников (точка  $A_1$ ), то по графикам линейных изолукс для точки с координатами  $l'$  и  $d'$  определяется условная освещенность  $\varepsilon$ .

4) вычисляется  $\sum \varepsilon$  от ближайших рядов или их частей;

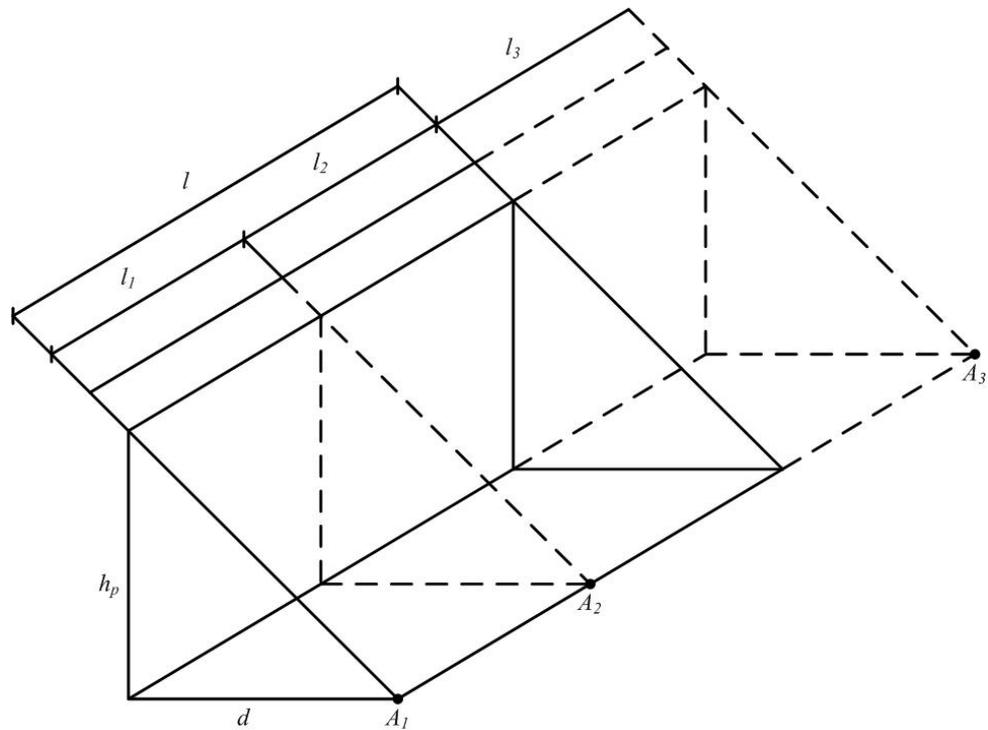


Рис. 8.2. К расчету светящей линии

5) если расчетная точка не лежит против конца ряда светильников, то этот ряд разбивается на две части (точка  $A_2$ ) или дополняется условным отрезком (точка  $A_3$ ). При этом условная освещенность в точке  $A_2$

$$\varepsilon(A_2) = \varepsilon(l_1) + \varepsilon(l_2), \quad (8.20)$$

а в точке  $A_3$

$$\varepsilon(A_3) = \varepsilon(l) - \varepsilon(l_3), \quad (8.21)$$

где  $\varepsilon(l_1)$ ,  $\varepsilon(l_2)$ ,  $\varepsilon(l_3)$  - условные освещенности от участков светящегося элемента длиной соответственно  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ , определяемые по графикам линейных изолюкс;

6) рассчитывается необходимая линейная плотность светового потока в линии

$$\Phi' = \frac{E_n \cdot k_3 \cdot h_p \cdot 1000}{\mu \cdot \sum \varepsilon}, \quad (8.22)$$

7) суммарный расчетный световой поток ламп в светильнике определяется следующим образом:

$$\Phi_{лр} = \frac{128 \cdot \Phi' \cdot (l + \lambda)}{N_R}, \quad (8.23)$$

где  $l$  – длина светящей линии, м;

$\lambda$  – суммарная длина равномерно распределенных разрывов ( $\lambda \leq 0,5 h_p$ ), м;

$N_R$  – число светильников в ряду.

8) при заданном потоке  $\Phi_l$  можно определить фактическую освещенность

$$E = \frac{\Phi_l \cdot \mu \cdot \sum \varepsilon}{k_z \cdot h_p \cdot 1000}. \quad (8.24)$$

## ПЛАН РАБОТЫ

1. Изучить методы расчета освещенности – точечный, коэффициента использования светового потока, удельной мощности;
2. Экспериментально определить значения коэффициентов отражения стен, потолка и рабочей поверхности. Сравнить их с табличными данными.
3. Расчетным путем определить освещенность рабочей поверхности указанными выше методами.
4. Измерить освещенность в контрольных точках, сравнить ее с расчетными значениями, сделать вывод о точности и применимости различных методов светотехнического расчета, оформить отчет о работе.

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Значения коэффициента отражения различных поверхностей получают опытным путем.

Коэффициентом отражения светового потока поверхности называют отношение светового потока  $\Phi_\rho$ , отраженного поверхностью, к световому потоку  $\Phi$ , падающему на поверхность

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi}. \quad (8.25)$$

Значение падающего потока легко найти по освещенности и площади освещаемой поверхности по формуле

$$E_v = E = \frac{\Phi_v}{A}. \quad (8.26)$$

Определить отраженный поток, не применяя специальные устройства и приборы, практически нельзя. Поэтому здесь рассмотрена упрощенная методика определения коэффициента отражения при помощи люксметра, позволяющая получить результат с погрешностью  $\pm 10\%$ . Сущность методики состоит в следующем.

При нахождении коэффициента отражения отношение светового потока можно заменить отношением освещенности  $E_\rho$ , которую создает отраженный поверхностью поток в непосредственной от нее близости, к освещенности  $E$  поверхности, создаваемой падающим на нее потоком

$$\rho = \frac{E_\rho}{E}. \quad (8.27)$$

Такая методика возможна, если площадь исследуемой поверхности значительно превышает площадь фотоэлемента люксметра, равномерно освещена и имеет рассеянное отражение. В этом случае, расположив фотоэлемент на исследуемой поверхности, изменяют ее освещенность (рис. 8.3), которая может создаваться естественными и искусственными, однотипными и разнотипными источниками.

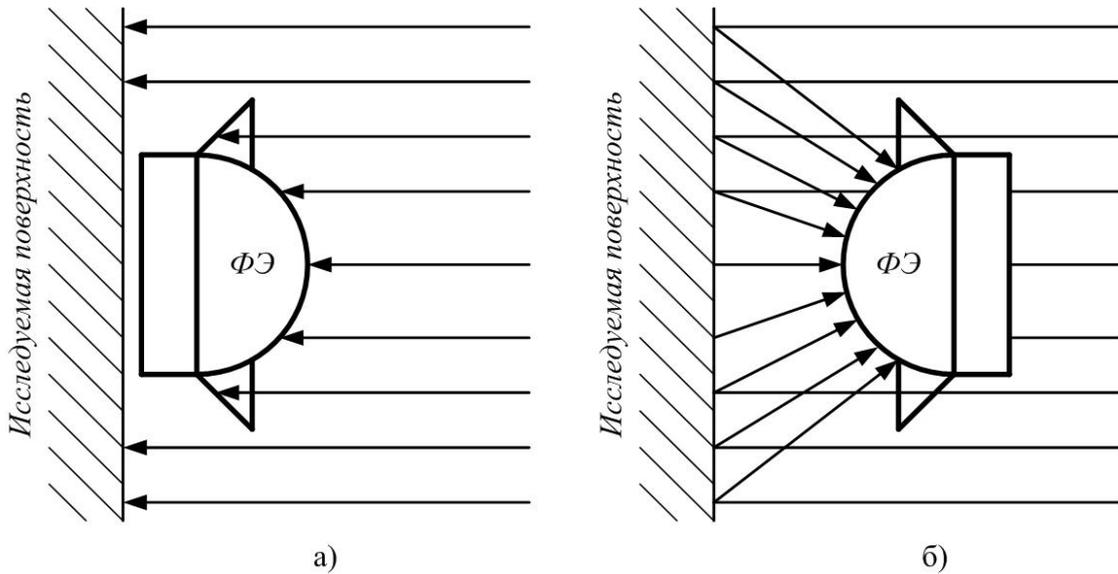


Рис. 8.3. Расположение фотоэлемента  $\Phi Э$  люксметра при определении коэффициента отражения поверхности:

- а) измерение освещенности от падающего потока; б) измерение освещенности от отраженного потока

Затем фотоэлемент обращают светочувствительным слоем к поверхности и располагают его на расстоянии 20 – 30 см от нее в параллельной плоскости. Плавно удаляя и приближая фотоэлемент к поверхности, фиксируют наибольшее показание люксметра. Это и будет освещенность  $E_\rho$ , создаваемая отраженным потоком. Отношение измеренных освещенностей и есть коэффициент отражения. Очевидно, что точность такого определения  $\rho$  будет возрастать с уменьшением площади фотоэлемента. Исследуемая поверхность должна представлять собой круг диаметром не менее 0,5 м.

Результаты измерений с трехкратной повторностью вычислений заносят в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

Результаты измерений освещенности для определения коэффициентов отражения

Исследуемая поверхность	Характеристика поверхности, цвет, покрытие	$E_\rho$ , лк	$E$ , лк	$\rho$ , о.е.
Потолок				
Стена				
Рабочая				

Далее работу следует выполнять в следующей последовательности:

- снять план помещения, вычертить его в масштабе с указанием размещения светильников;
- при помощи люксметра найти на рабочей поверхности точку с наименьшей освещенностью  $E_{min}$ . Эта точка в дальнейшем будет расчетной  $M$ . Одновременно найти точку  $B$  с наибольшей освещенностью  $E_{max}$ . Значения освещенностей записать;
- точку  $M$  нанести на плане и определить расстояние от нее до светильников;
- при известных параметрах источников света и светильников рассчитать создаваемую ими освещенность в точке  $M$  и сравнить ее с фактической.

Возможен другой вариант работы. Зная характеристику помещения, расположение светильников и их тип, рассчитать тремя методами мощность ламп, выбрать ближайшую стандартную лампу. Установить такие лампы в светильники. Измерить ими создаваемую освещенность и сравнить ее с расчетной.

**Точечный метод.** Исходная формула

$$E = E_{np} + E_{отр}, \quad (8.28)$$

где  $E_{np}$  – сумма прямых составляющих освещенности, лк;

$E_{отр}$  – отраженная составляющая освещенности, лк.

Следует помнить, что необходимую для расчетов силу света  $I$  в справочной литературе дают для условной лампы со световым потоком в 1000 лм и что истинное ее значение при известном потоке  $\Phi$  реальные лампы следует находить из формулы

$$I_{\alpha}^{1000} = \frac{1000 \cdot I_{\alpha}}{\Phi}. \quad (8.29)$$

Отраженную составляющую освещенности можно получить опытным или расчетным путем.

Опытным путем отраженную составляющую находят в контрольной точке при помощи открытого фотоэлемента. Надев тубус на фотоэлемент,

направляют его ось на каждый из светильников  $E_{np1}$ ,  $E_{np2}$  и т.д. Отраженную составляющую освещенности для  $j$ -го светильника вычисляют по формуле

$$E_{npj} = E_{mj} \cdot \cos \alpha_j, \quad (8.30)$$

где  $E_{mj}$  – показания люксметра с тубусом для  $j$ -го светильника.

Отраженная составляющая освещенности при  $N$  светильниках

$$E_{отр} = E - \sum_1^N E_{npj}. \quad (8.31)$$

Тубус фотоэлемента должен быть выполнен из непрозрачного материала, высотой не менее 150 мм. Сечение тубуса по форме и площади должно быть одинаковым со светочувствительной поверхностью фотоэлемента.

Расчетным путем отраженную составляющую освещенности определяют по соотношению

$$E_{отр} = \left( \frac{\eta}{\eta_0} - 1 \right) \cdot E_{np}, \quad (8.32)$$

где  $\eta$ ,  $\eta_0$  – коэффициенты использования светового потока при нормальных условиях и при  $\rho = 0$ , взятые из справочной литературы.

Результаты расчетов и опытов занести в таблицу 8.2.

Таблица 8.2

Значения прямых и отраженных составляющих освещенности

Номер измерения	$E_{np}$ , лк	$E_{отр}$ , лк	Полная освещенность в контрольной точке $E$ , лк

**Метод коэффициента использования светового потока.** Расчетная величина в этом случае – коэффициент использования светового потока осветительной установки, определяемый типом светильника, размером помещения, коэффициентом отражения стен, потолка и пола помещения и представляющий собой отношение потока, падающего на рабочую поверхность, к потоку всех ламп.

Для расчета освещенности этим методом используют формулу

$$E = \frac{\Phi_n \cdot N \cdot \eta}{S \cdot z \cdot k}, \quad (8.33)$$

где  $\Phi_n$  – табличное значение потока для лампы, установленной в светильнике, лм;

$z$  – коэффициент неравномерности освещения, вычисляемой по формуле

$$z = \frac{(E_{\min} + E_{\max})}{2 \cdot E_{\min}} = \frac{E_{cp}}{E_{\min}}, \quad (8.34)$$

или выбираемый по справочным таблицам как коэффициент минимальной освещенности.

Полученное значение заносят в таблицу 8.3.

Таблица 8.3

Значения для расчета методом коэффициента использования светового потока

Световой поток лампы, $\Phi_n$ , лм	Площадь помещения, $S$ , м <sup>2</sup>	Число светильников, $N$	Индекс помещения, $i$	Коэффициент использования, $\eta$	Коэффициент минимальной освещенности, $z$	$E_p$ , лк

**Метод удельной мощности.** Его применяют для определения осветительной нагрузки при расчетах электрических линий и источников электроснабжения. В световом отношении этот метод не точен. Однако при приближенных расчетах им успешно можно пользоваться.

В данном случае удельную мощность рассчитывают по формуле

$$P_{уд} = \frac{P_l \cdot N}{S}. \quad (8.35)$$

По найденному значению  $P_{уд}$  в таблицах для известных параметров светильника, расчетной высоты, площади помещения  $S$ , коэффициентов отражения потолка, стен и рабочей поверхности путем интерполирования между двумя соседними значениями определяют освещенность.

Результаты расчетов освещенности тремя методами и замеренную минимальную освещенность записывают в таблицу 8.4 и сравнивают данные.

Таблица 8.4

Результаты измерений тремя методами измерения

Методы расчета	$E_{\min}$ , лк	$E_p$ , лк	$\Delta E$	$\Delta F$ , %
Точечный				
Коэффициента использования				
Удельной мощности				

Абсолютная ошибка каждого метода

$$\Delta E = E_p - E_{\min}, \quad (8.36)$$

где  $E_p$  – расчетная освещенность, лк,

$E_{\min}$  – измеренная освещенность, лк.

Относительная ошибка, %

$$\Delta F = \frac{\Delta E}{E_{\min}} \cdot 100\%. \quad (8.37)$$

По результатам работы сделать выводы по точности расчетов освещенности различными методами и применимости изученных методов для практического проектирования осветительных установок.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите методы расчета электрического освещения и области их применения.
2. Поясните сущность метода расчета освещения: точечного, коэффициента использования светового потока и удельной мощности.
3. Что такое освещенность?
4. Что такое условная освещенность, сила света?
5. Что называют коэффициентом использования светового потока, коэффициентом добавочной освещенности, коэффициентом минимальной освещенности?
6. Что такое удельная мощность?
7. Как определяют условную освещенность?
8. Что представляют собой пространственные изолюксы?
9. Что характеризует индекс помещения и для чего он применяется?
10. Как экспериментально определить коэффициент отражения поверхности?

**Тесты по лабораторной работе 8****1. Что учитывает коэффициент минимальной освещенности?**

- а) отношение средней освещенности к минимальной освещенности;
- б) отношение минимальной освещенности к максимальной освещенности;
- в) отношение максимальной освещенности к минимальной освещенности.

**2. Укажите допустимое отклонение потока стандартной лампы от расчетного значения, при которых данная лампа может быть выбрана?**

- а) от 5 до 10%;
- б) от -10 до 10%;
- в) от -10 до 20%;
- г) от -5 до 10%.

**3. Какой метод предназначен для расчета общего равномерного освещения при отсутствии крупных затеняющих объектов?**

- а) метод удельной мощности;
- б) метод коэффициента использования светового потока;
- в) точечный метод.

**4. Что называют коэффициентом отражения светового потока?**

- а) отношение максимальной освещенности к минимальной освещенности;
- б) отношение отраженной освещенности от поверхности к площади отражающей поверхности;
- в) отношение светового потока отраженного поверхностью к световому потоку, падающего на поверхность.

**5. Для люминесцентных ламп коэффициент минимальной освещенности равен ...**

- а) 1,15;
- б) 1,1;
- в) 1,2.

**6. Что называют светящей линией?**

- а) длина, которая равна половине ряда светильников;
- б) длина, которая превышает половину расчетной высоты;
- в) длина ряда светильников.

**7. Какой метод применяется для расчета освещения произвольного расположения поверхностей при любом распределении освещенности?**

- а) точечный метод;
- б) метод коэффициента использования светового потока;
- в) метод удельной мощности.

**8. Величина свеса у подвесных светильников составляет...**

- а) 0 – 0,5 м;
- б) 0,3 – 0,5 м;
- в) 0 – 0,2 м.

**9. От каких параметров зависит выбор коэффициента использования светового потока?**

- а) зависит от коэффициентов отражения поверхностей помещения и индекса помещения;
- б) зависит от размеров помещения;
- в) зависит от типа используемых светильников;

**10. Для освещения птичников используются светильник с ...**

- а) лампами ДРЛ;
- б) люминесцентными лампами;
- в) лампами накаливания;
- г) ксеноновыми лампами.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** изучить конструкцию и исследовать электротехнические и оптические характеристики облучательных установок типа ИКУФ, «Луч». Изучить принципы построения систем и технические средства автоматического управления осветительными и облучательными установками. Приобрести навыки разработки и построения схем управления такими установками.

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В светотехнике помимо видимого излучения используется также и инфракрасное и ультрафиолетовое излучения. Невидимые инфракрасные лучи являются тепловыми и участвуют в переносе теплоты от одного тела к другому. Они появляются при нагреве какого-либо тела (например, куска металла) до температуры не выше 800 К. На шкале электромагнитных волн они занимают достаточно широкий диапазон между красным концом видимого спектра излучения света и коротковолновым радиоизлучением. Инфракрасное излучение находит широкое применение в дефектоскопии, в приборах ночного видения и ночного фотографирования, в средствах скрытой сигнализации и т. д.

**Инфракрасные лучи** представляют собой электромагнитные колебания с длиной волны  $10^{-4} - 10^{-2}$  см. Они непосредственно примыкают к красному участку видимой части спектра, но не видимы глазом человека. Инфракрасные лучи практически не рассеиваются в пространстве и, проникая в глубь тел, производят их нагрев. Глубина проникновения зависит от свойств нагреваемого

материала, его структуры, характера поверхности и может составлять от десятых долей до нескольких миллиметров.

Для каждого вещества имеется определенная длина волн инфракрасного излучения, при которой происходит наиболее эффективный его нагрев. Воздух для инфракрасных лучей практически прозрачен, поэтому передача теплоты от источника инфракрасного излучения к нагреваемому объекту происходит без заметных потерь.

Простейшими источниками инфракрасного излучения являются лампы накаливания, работающие при пониженном напряжении, когда они излучают преимущественно невидимые инфракрасные лучи и незначительную долю составляют видимые световые лучи.

Промышленностью выпускаются излучатели различных типов. Главными признаками, определяющими область наиболее эффективного использования излучателя каждого типа, являются рабочая температура, длина волны максимального излучения и зона равномерной плотности излучения.

Основными источниками инфракрасных лучей являются ламповые излучатели с зеркальными отражателями (длина волны максимального излучения 1,05 мкм), кварцевые трубчатые (2 – 3 мкм), неметаллические стержневые нагреватели с рефлектором (6 – 8 мкм) и трубчатые электронагреватели (ТЭН).

В сельскохозяйственном производстве для сушки сельскохозяйственной продукции, обогрева молодняка животных и птиц удобно применять источники инфракрасного (ИК) излучения. Специфической особенностью ИК излучения является его тепловое действие и хорошая проникающая способность.

Инфракрасные излучатели можно получить от инфракрасных ламп – это «световые» излучатели или лампы – термоизлучатели и трубчатых электрических нагревателей или спиралей из материалов и сплавов, имеющих высокое удельное сопротивление, – «темные» излучатели.

«Светлые» источники имеют конструкцию ламп накаливания, однако их тело накала рассчитано на меньшую, чем в осветительных лампах накаливания

температуру в пределах 2270 – 2770 К, для увеличения доли инфракрасного излучения и сокращения доли видимого излучения. Максимум спектральной плотности излучения таких ламп смещен в длинноволновую часть спектра и приходится на излучение с длиной волны 1000 – 1400 нм.

Электротехническая промышленность выпускает специальные инфракрасные излучатели в виде ламп накаливания типа ИКЗ 220 мощностью 250, 500 Вт – инфракрасный излучатель с зеркальным отражателем, а также ИКЗС и ИКЗК со светлой или красной колбой.

Пониженная температура тела накала инфракрасных ламп способствует увеличению их срока службы до 5000 ч.

Инфракрасные излучатели (лампы) типа КГ 220-1000, которые представляют собой цилиндрическую трубку диаметром около 10 мм и длиной 370 мм. Тело накала лампы выполнено в виде вольфрамовой спирали, смонтированной по оси трубки на вольфрамовых подержках. Ввод в лампу выполнен посредством молибденовых электродов, впаянных в кварцевые ножки. Концы спирали тела накала накручены на внутреннюю часть вводов. Цоколи выполнены из никелевой ленты со швом, в который введены наружные молибденовые выводы. Трубка изготавливается из кварцевого стекла и наполняется аргоном с содержанием йода. Добавление внутрь колбы йода позволяет уменьшить распыление вольфрама и тем самым увеличить срок службы ламп до 3000 ч.

«Темные» источники инфракрасного излучения конструктивно состоят из металлической трубки, внутрь которой помещается спиральный нагреватель из нихромовой проволоки и заполняется огнестойкой изоляционной массой. Спектр излучения «темных» излучателей находится в диапазоне длин волн 1400 – 10000 нм с максимумом спектральной плотности излучения при 4000 нм.

Для применения теплоэлектронагревателей (ТЭН) в качестве инфракрасного обогрева они производятся с различной единичной мощностью

от 400 до 1500 Вт и более на напряжение 220 В. Срок службы ТЭНов до 10000 ч.

**Ультрафиолетовые лучи** - это электромагнитные колебания частотой от 1015 до 1017 Гц. Примыкают к фиолетовому участку видимой части спектра и вызывают сильную ионизацию воздуха, интенсивные фотоэлектрические и химические явления, обладают бактерицидными и разнообразными биологическими действиями.

Источниками ультрафиолетового излучения являются ртутно-кварцевые и газоразрядные лампы.

Газоразрядные бактерицидные лампы выпускаются на номинальную мощность 15, 30, 60 Вт, на номинальное напряжение 220 В и частоту 50 Гц. Колбы (трубки) этих ламп изготавливаются из увиолевого стекла, которое хорошо пропускает ультрафиолетовые лучи. Бактерицидные лампы по своему устройству, принципу действия и схемам включения не отличаются от люминесцентных ламп низкого давления, за исключением того, что на стенках трубки отсутствует покрытие люминофором.

Для повышения бактерицидного действия они снабжаются алюминиевыми облучателями с полированной отражающей поверхностью, что обеспечивает пространственное распределение ультрафиолетового излучения в верхнюю и нижнюю полусферу.

Лампы ультрафиолетового излучения используются для стерилизации, стимулирования и угнетения биологических процессов и химических реакций, для дезинфекции помещений, воздуха, воды, рабочих столов, посуды, инструментов, одежды и т.д.

Наиболее эффективны для этих целей ультрафиолетовые лучи коротковолнового диапазона (длина волны от 0,20 до 0,28 мкм) (от 200 до 280 нм), которые излучают газоразрядные бактерицидные лампы. При этом доза облучения оказывает существенное влияние на биологический процесс. Так, малые дозы облучения стимулируют развитие плесневых грибков. Более продолжительное облучение продуктов, фруктов и овощей снижает поражение

их плесенью. Периодическое облучение мяса позволяет хранить его в незамороженном виде при обычной температуре, и оно остается сочным и свежим.

Ультрафиолетовые лучи коротковолнового диапазона применяются для дезинсекции складских помещений, для уничтожения амбарных вредителей и др. Эффективность обеззараживания воздуха от бактерий и плесени достигает до 99 %.

Ультрафиолетовое излучение с длиной волны от 0,28 до 0,32 мкм (от 280 до 320 нм) широко используется в медицине и ветеринарии. Оно вызывает загар кожных покровов, способствует образованию витамина D в организме человека и животных, а также его сохранению в таких пищевых продуктах, как молоко, дрожжи, мука и др.

Ультрафиолетовые лучи длинноволнового диапазона (от 0,32 до 0,40 мкм) применяются для возбуждения светящихся и флюоресцирующих веществ в сигнальных устройствах, например в робототехнике и в установках люминесцентного анализа.

Застекленная поверхность задерживает часть солнечного света. При одинарном застеклении окон коэффициент пропускания ультрафиолетовых лучей с длиной волны 10 – 380 нм – составляет 10 – 15 %, а при двойном застеклении до 25 %.

Для повышения пропускания ультрафиолетовых лучей в помещениях применяют увиолевые стекла.

Следует отметить, что при работе с ультрафиолетовыми излучателями необходимо соблюдать меры предосторожности от возможных ожогов кожных покровов и предохранять глаза защитными очками с темными стеклами и прилегающей плотной манжеткой.

Для защиты источника инфракрасного и ультрафиолетового излучений от механических повреждений, а также от загрязнения, влаги и так далее, его заключают в специальные кожухи, применяют различные защитные сетки. Для

перераспределения потока излучения в пространстве применяют отражатели. Источник ИК и УФ излучения совместно с арматурой называется облучатель.

Облучательные установки непосредственно влияют на развитие и рост сельскохозяйственных животных и птиц.

Устройство, служащее для передачи лучистой энергии определенного спектрального состава и интенсивности от источника излучения объекту облучения, называют облучательными установками. Поглощенная телом энергия излучения частично преобразуется в фотопродукты, вызывая качественные изменения в фотоприемнике.

В сельскохозяйственном производстве применяют облучательные установки для ультрафиолетового, инфракрасного и местного обогрева.

В воде и в воздухе бактерицидное УФИ снижает содержание бактерий; ВИ в зеленом листе растения накапливается в виде углеводов; под действием ИКИ нагреваются поверхности.

Энергия излучения, преобразованная фотоприемником в другие виды энергии, отнесенная к величине площади облучаемой поверхности фотоприемника, называется *дозой облучения* или *экспозицией*. В общем случае доза облучения  $H$  определяется как произведение эффективной облученности  $E_{эф}$  на время облучения  $\tau$

$$dH = E_{эф}(\tau) d\tau \text{ или } H = \int_0^{\tau} E_{эф}(\tau) d\tau. \quad (9.1)$$

В стационарных процессах

$$H = E_{эф} \cdot \tau, \quad (9.2)$$

$$E_{эф} = \frac{\Phi_{эф}}{A}. \quad (9.3)$$

Из (9.2) следует, что одинаковая доза облучения может быть получена при различных соотношениях облученности и времени действия

$$H = E_{эф1} \cdot \tau_1 = E_{эф2} \cdot \tau_2 = E_{эф3} \cdot \tau_3, \quad (9.4)$$

причем  $E_{эф1} \neq E_{эф2} \neq E_{эф3}$ .

В предположении, что реакция приемника согласуется только с дозой облучения, получен закон аддитивности Бунзена-Роско, который гласит, что реакция приемника зависит только от поглощенной энергии излучения, а различие в сомножителях (облученность и время) существенного значения не имеет. Закон этот условный и пригоден для относительно небольших уровней облученности.

Все облучательные установки классифицируются по следующим признакам: назначению; типу применяемого источника; взаимному расположению источника и приемника излучения.

*По назначению.* Оптические излучения охватывают область электромагнитных колебаний от 1,0 нм до 1,0 мм. Эта область делится на три зоны: ультрафиолетовое излучение, видимое излучение, охватывающее всю цветовую гамму от фиолетового до красного цвета, и инфракрасное излучение. Каждой зоне или ее части соответствуют свои излучательные установки:

- УФ-С –  $\lambda = 100 - 280$  нм (бактерицидное излучение). В этом диапазоне работают установки обеззараживания воды, воздуха, тары и других материалов и поверхностей;

- УФ-В –  $\lambda = 280 - 315$  нм (зона сильного биологического действия). В этом диапазоне работают установки эритемного (витального) облучения, стимуляции и лечения живых организмов;

- УФ-А –  $\lambda = 315 - 380$  нм (эффективная люминесценция). В этом диапазоне работают установки для люминесцентного анализа;

- УФ –  $\lambda = 100 - 380$  нм (зона всего ультрафиолета). В этом диапазоне работают установки ультрафиолетовой обработки семенного материала для повышения посевных качеств и получения мутантов, установки для борьбы с летающими насекомыми.

- ФАР –  $\lambda = 360 - 720$  нм (физиологически активная радиация). В этом диапазоне работают установки для облучения рассады тепличных культур и взрослых растений;

- ВИ –  $\lambda = 380 - 760$  нм (зона видимого излучения). Эта зона используется для осветительных установок как рабочего, так и технологического характера;

- ИКБ –  $\lambda = 760 - 10\ 000$  нм (ближнее инфракрасное излучение). В этой зоне работают установки нагрева, обогрева, сушки, борьбы с насекомыми и их личинками (инсектицидные) и инфракрасной обработки семенного материала.

Комбинированные установки включают в себя различные зоны оптического излучения. В них используются как одинаковые лампы, например ДРТ, имеющие излучение по всей ультрафиолетовой зоне и в зоне видимого излучения, так и комбинации из различных ламп, например в установках ИКУФ (инфракрасные и ультрафиолетовые).

*По типу применяемого источника излучения.* Практически для всех зон оптического излучения выпускаются соответствующие источники излучения. В таблице 9.1 приведены типы ламп, используемых для освещения и облучения в сельском хозяйстве.

*По взаимному расположению источника и приемника излучения.* **Стационарные установки** отличаются неизменностью взаимного расположения источника и приемника. Установки для обогрева и облучения животных, люминесцентного анализа, обеззараживания, как правило, выполняются стационарными. К таким установкам относятся ОБУ, ББП, ЭО, УФ-зоны, все облучатели для растениеводства, инфракрасные и комбинированные облучатели.

**Передвижные установки** отличаются от стационарных тем, что в течение одного рабочего цикла облучатели занимают два и более положений. Переносные установки также относятся к передвижным. Возможна замена приемника под облучателем, например в сушильных установках; в камере сушки заменяют обрабатываемые детали.

**Подвижные установки** отличаются тем, что в них либо облучатель движется непрерывно над приемником излучения (установки УОК, УО-4, УО-4М), либо приемник непрерывно движется под облучательной установкой, например зерно на транспортере, обрабатываемое оптическим излучением.

В подвижной установке облученность изменяется во времени достаточно медленно. Такое изменение облученности может быть получено изменением подводимой к источнику мощности (установки переменной облученности).

**Импульсные установки.** В таких установках энергия от источника к приемнику передается периодически, с определенной частотой, причем паузы в передаче энергии значительно больше времени облучения (импульса).

Таблица 9.1

## Области применения источников оптического излучения

Зоны ОИ		Тип лампы	Наименование и расшифровка типа ламп
Наименование	Интервал волн, нм		
УФ-С	100 – 280	ДБ ДРТ	Дуговая бактерицидная низкого давления Дуговая ртутная трубчатая высокого давления
УФ-В	280 – 315	ЛЭ ДРТ	Люминесцентная эритемная низкого давления
УФ-А	315 – 380	ЛУФ ЛУФТ ЛУФЩ ДРТ	Лампа ультрафиолетовая для люминесцентного анализа То же с колбой-фильтром То же щелевая
УФ	100 – 380	ДРТ	
ФАР	360 – 720	ЛФ ДРИ ДНаТ ДРЛФ  ДКсТ	Фитолампа растениеводческая низкого давления Дуговая ртутная иодированная Дуговая натриевая трубчатая Дуговая ртутная люминесцентная фитолампа высокого давления Дуговая ксеноновая трубчатая лампа сверхвысокого давления
ВИ	380 – 760	В, Г, Б, БК  ЛБ ЛДЦ ЛД ЛХБ ЛТБ ДРЛ  ДРИ ДНаТ	Лампы накаливания осветительные: вакуумные (В), газополные (Г), биспиральные (Б), биспиральные криптоновые (БК) Люминесцентные осветительные лампы низкого давления  Дуговая ртутно-люминесцентная лампа высокого давления
ИКБ	760 – 5000  1200 – 7000	ИКЗ ИКЗК КИ КГ ТЭН	Инфракрасные зеркальные То же с красным фильтром Кварцевая иодированная Кварцевая галогенная Термоэлектрический нагреватель

**Установки ИКУФ-1М.** Они предназначены для одновременного инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка животных.

Облучатель представляет собой жесткую коробчатую конструкцию, на обоих концах которой размещены инфракрасные лампы типа ИКЗК-220-250, а между ними – ультрафиолетовая лампа типа ЛЭ-15. Пускорегулирующее устройство ультрафиолетовой лампы установлено сверху на облучателе и закрыто кожухом, снизу облучатель закрыт защитной сеткой. Над ультрафиолетовой лампой установлен отражатель. Наличие герметичных патронов и держателя стартера, а также применение резиновых уплотнений делает конструкцию облучателя пылевлагозащищенной. К сети его подключают штепсельным разъемом.

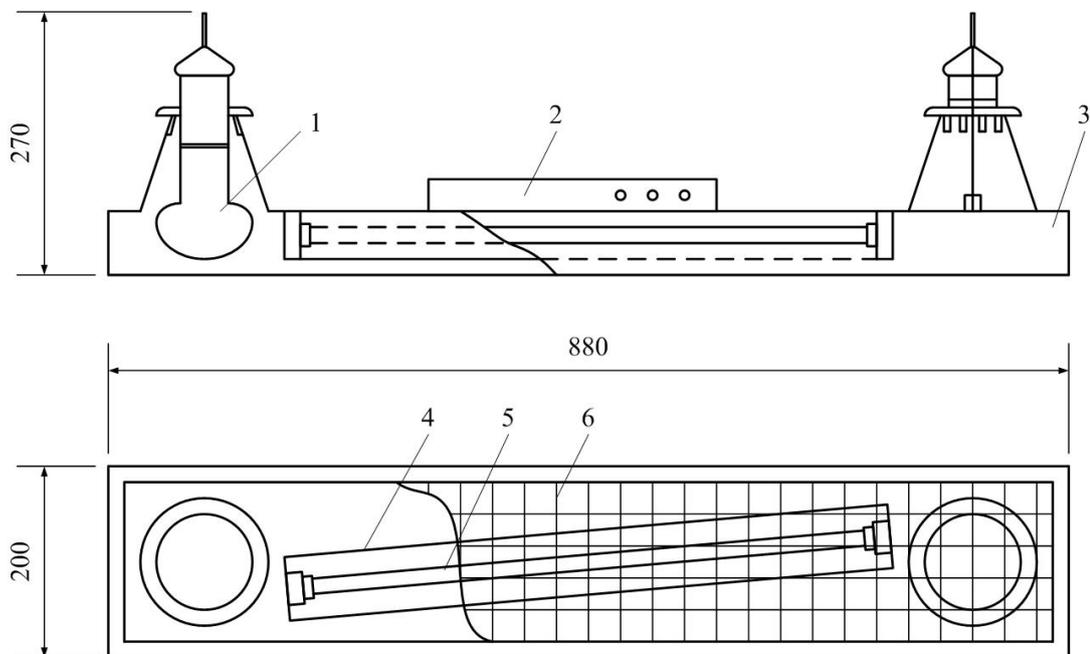


Рис. 9.1. Внешний вид облучательной установки ИКУФ-1М:

1 – ИК лампа типа ИКЗК; 2 – пускорегулирующая аппаратура включения эритемной лампы; 3 – корпус облучателя; 4 – отражатель; 5 – эритемная лампа типа ЛЭ-15; 6 – решетка

Установка ИКУФ-1М состоит из блоков управления, 40 облучателей и ответвительных коробок. Число облучателей и ответвительных коробок зависит от числа ското-мест.

Технические данные ИКУФ-1М:

- напряжение питания – 380/220 В;
- число фаз питающей сети – 3;
- частота сети – 50 Гц;
- номинальная мощность инфракрасных ламп – 2 х 250 Вт;
- номинальная мощность ультрафиолетовых ламп – 20 Вт;
- количество ИК ламп - 2 шт;
- тип ИК ламп - ИКЗК-220-250;
- мощность – 2 х 250 Вт;
- рабочее напряжение ламп – 220 В;
- доза излучения – 70%;
- срок службы ламп – 5000 ч;
- количество УФ ламп – 1 шт;
- тип УФ ламп – ЛЭ-15;
- номинальное напряжение лампы – 127 В;
- мощность лампы – 15 Вт;
- эритемный поток лампы - 300 мэр;
- срок службы лампы – 3000 ч.

Блок управления содержит пускозащитную аппаратуру, реле времени и элементы управления. На дверце блока управления смонтированы две кнопочные станции, переключатель автоматического и ручного управления, четыре сигнальные лампы и предохранитель. Конструкция блока управления пылевлагозащищенная.

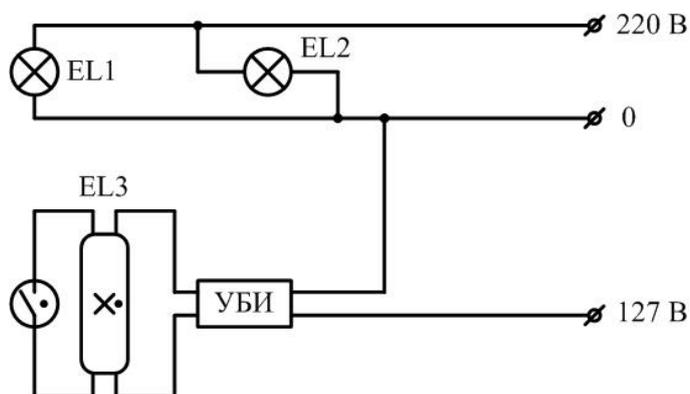


Рис. 9.2. Электрическая схема ИКУФ-1М

Электрическая схема установки предусматривает два режима работы: автоматический по заданной программе и ручной. Переход на необходимый режим осуществляют тумблером на блоке управления. При автоматическом управлении продолжительность включения лампы и пауз между включениями устанавливаются с помощью реле времени типа 2РВМ по заданной программе.

Инфракрасные лампы разделены на две группы, имеющие каждая собственный пускатель и автоматический выключатель, что позволяет включать и выключать одну из групп самостоятельно, например при неполном заполнении свиарника.

Ультрафиолетовое облучение проводят три раза в сутки по 40 мин. И управление им осуществляется по одной программе реле 2РВМ.

При ручном управлении группы ультрафиолетовых и инфракрасных ламп включают соответствующими пусковыми кнопками, а выключают кнопкой «Стоп»; наличие напряжения на лампах определяют по сигнальным лампам.

При монтаже установки ИКУФ-1М блоки управления устанавливают на стене в отдельном помещении или тамбуре. Облучатели подвешивают на тросиках или цепочках на трубе. При этом должна быть предусмотрена возможность изменения высоты подвеса облучателя. При монтаже следует предусмотреть, чтобы облучатели были равномерно распределены по фазам.

**Установка ИКУФ-2 «Комфорт».** Она предназначена для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка животных и птиц, а также для ионизации воздуха в помещениях.

Установка ИКУФ-2 «Комфорт» разработана на базе установки ИКУФ-1 и отличается от нее тем, что вместо ламп типа ЛЭ-15 используются лампы типа ЛЭ-30, инфракрасные облучатели установлены на подвижных кронштейнах и имеют встроенный ионизатор воздуха.

Облучатель представляет собой корытообразный корпус, внутри которого установлены отражатель и ультрафиолетовая лампа ЛЭ-30. Пускорегулирующий аппарат установлен в верхней части корпуса и закрыт кожухом. К корпусу прикреплены кронштейны с инфракрасными

облучателями. Каждый облучатель имеет ионизатор воздуха для увеличения количества отрицательно заряженных ионов воздуха, благоприятно влияющих на рост и развитие молодняка сельскохозяйственных животных и птиц. К сети облучатель подключают при помощи штепсельного разъема. Ионизатор подвешивают рядом с облучателем.

В зависимости от количества ското-мест в свинарнике-маточнике установка ИКУФ-2 «Комфорт» может иметь 60 или 40 облучателей.

Инфракрасные лампы типа ИКЗК-220-250 размещены в облучателях на подвижных кронштейнах, шарнирно соединенных с корпусом ультрафиолетового облучателя. Шарнирное соединение позволяет перемещать кронштейны с облучателями и изменять расстояние между инфракрасными лампами от 550 до 1300 мм, что дает возможность более эффективно использовать установку.

Электрическая схема предусматривает автоматический режим работы установки по заданной программе и ручного управления.

Шкаф управления ИКУФ-2 «Комфорт» включает пускозащитную аппаратуру, реле времени и элементы автоматического управления и сигнализации.

Питание установки осуществляется от четырехпроводной сети переменного тока напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц.

В дальнейшем предполагается в систему управления ИКУФ-2 «Комфорт» ввести

- регулятор мощности для изменения интенсивности инфракрасного обогрева при постоянной высоте подвеса облучателей;
- электронное программное устройство, позволяющее установить необходимый режим работы обогрева и облучения и имеющее более широкий диапазон регулирования;
- устройство для регулирования и контроля уровня ионизации воздуха.

**Установка «Луч».** Она предназначена для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка животных и птиц.

Установка состоит из пульта управления с двумя автотрансформаторами типа АТ-10, 40 облучателей и 20 ответвительных клеммных коробок. Конструкция аппарата пылевлагозащищенная.

Пульт управления состоит из пускозащитной аппаратуры, двухпрограммного реле времени и элементов управления. Облучатель включает две инфракрасные лампы типа ИКЗК-250 и ультрафиолетовую эритемную лампу типа ЛЭ-15 (рис. 9.3). В арматуре облучателя установлены пускорегулирующий аппарат ультрафиолетовой лампы ЛЭ-15, устройство для подвески облучателя и вводное устройство для питающего кабеля.

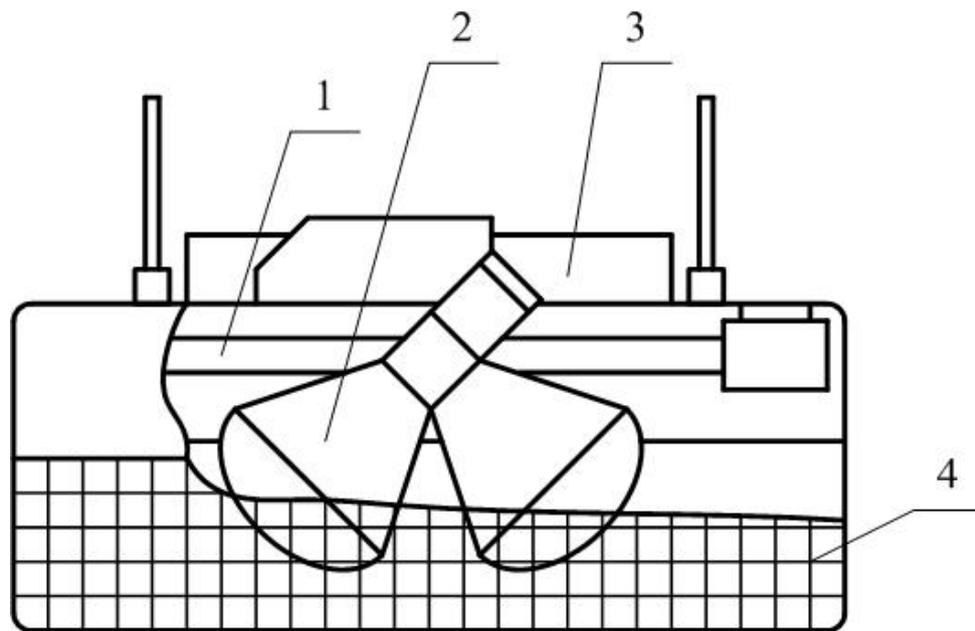


Рис. 9.3. Облучательная установка «Луч»:

1 – эритемная лампа; 2 – ИК-лампа; 3 – ПРА; 4 - решетка

Конструкция крепления инфракрасных ламп позволяет устанавливать лампы под углом 45, 70 и 90° к обогреваемой поверхности, что дает возможность более эффективно использовать инфракрасный поток и более равномерно распределять его по обогреваемой поверхности.

Управление инфракрасных и ультрафиолетовых ламп осуществляется их включением и выключением по заданной программе.

Установки комплектуют автотрансформаторами АТ-10 или бесконтактными тиристорными регуляторами мощности, которые позволяют автоматизировать управление в соответствии с заданной программой (рис. 9.4).

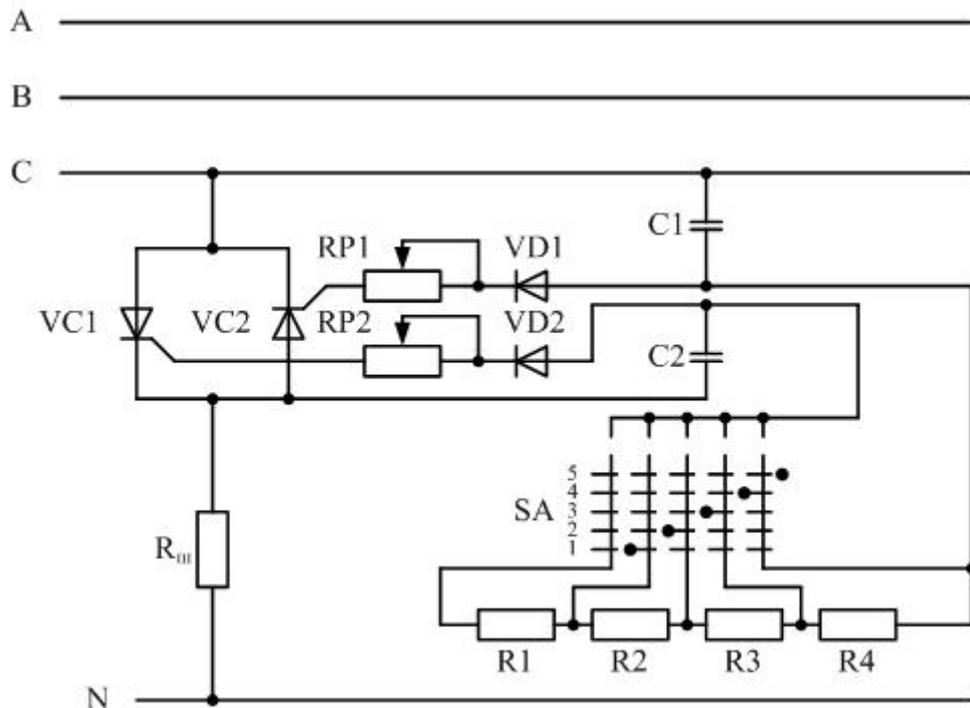


Рис. 9.4. Тиристорный регулятор напряжения облучательной установки «Луч»

Температуру обогрева регулируют при помощи автотрансформаторов изменением напряжения, подаваемого на инфракрасные лампы в зависимости от температуры воздуха в помещении и возраста животных или птиц. Высоту подвеса облучателей над поверхностью определяют с учетом средней температуры воздуха в помещении, угла наклона ламп, вида животных и птиц.

Установка рассчитана на питание от сети трехфазного переменного тока напряжением 380/220 В, частотой 50 Гц, ее номинальная мощность 20 кВт.

1. Изучить конструкцию облучателей и обеих комбинированных установок ИКУФ и «Луч».
2. Изучить электрические схемы облучательных установок ИКУФ, «Луч».
3. Исследовать электротехнические и оптические параметры облучателя ИКУФ:
  - определить номинальные параметры (мощность, потребляемую из сети отдельными лампами и всем облучателем, напряжение на лампах, токи ламп и коэффициент мощности);
  - изменение тех же величин в зависимости от напряжения питания;
  - при номинальном напряжении для постоянной высоты подвеса опытным путем измерить облученности горизонтальной поверхности по продольной и поперечной осям облучателя, отдельно в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах излучения в зависимости от расстояния до центра проекции облучателя на горизонтальную поверхность.
4. По полученным опытным данным построить зависимости облучателей от расстояния. По этим же опытным данным построить приближенные кривые равных облучателей горизонтальной поверхности под облучателем отдельно для ИК- и УФ-лучей.
5. Оформить отчет о работе, сделать выводы.

### МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Ознакомиться с назначением, областью применения и конструкцией установок ИКУФ-1М и «Луч» для одновременного инфракрасного и ультрафиолетового облучения животных и птицы. Изучить электрические схемы и принципы действия обеих установок.



## Результаты измерений при ультрафиолетовом излучении

Номер измерения	$U_{cx}$		$I_{ЛЭ}$		$P_{ЛЭ}$		$\cos\varphi$	$E$		$E_{УФ}$	
	В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.		лк	о.е.	Вт/м <sup>2</sup>	о.е.

При этом вместо потоков источников излучения измеряют освещенность и облученность в одной точке под источником.

Очевидно, что в относительных единицах и характер, и численное значение зависимостей потоков и создаваемых ими облученностей от напряжения питания будут одинаковыми.

При необходимости зависимости потоков от напряжения в абсолютных единицах легко рассчитать по паспортному номинальному потоку источника и облученности в относительных единицах.

По данным таблиц 9.2 и 9.3 построить в относительных единицах кривые изменения электротехнических и оптических параметров облучателя от напряжения питания.

Измерить облученность горизонтальной поверхности под облучателем, устанавливаемом на высоте 0,5 – 1 м, по его продольной и поперечной осям. Облученности определять отдельно для видимых, УФ- и ИК-лучей. Измерения проводить только в одной четверти облучаемой поверхности (рис. 9.6), полагая, что распределение потоков симметрично относительно обеих осей  $x$  и  $y$ . Результаты записать в таблицу 9.4.

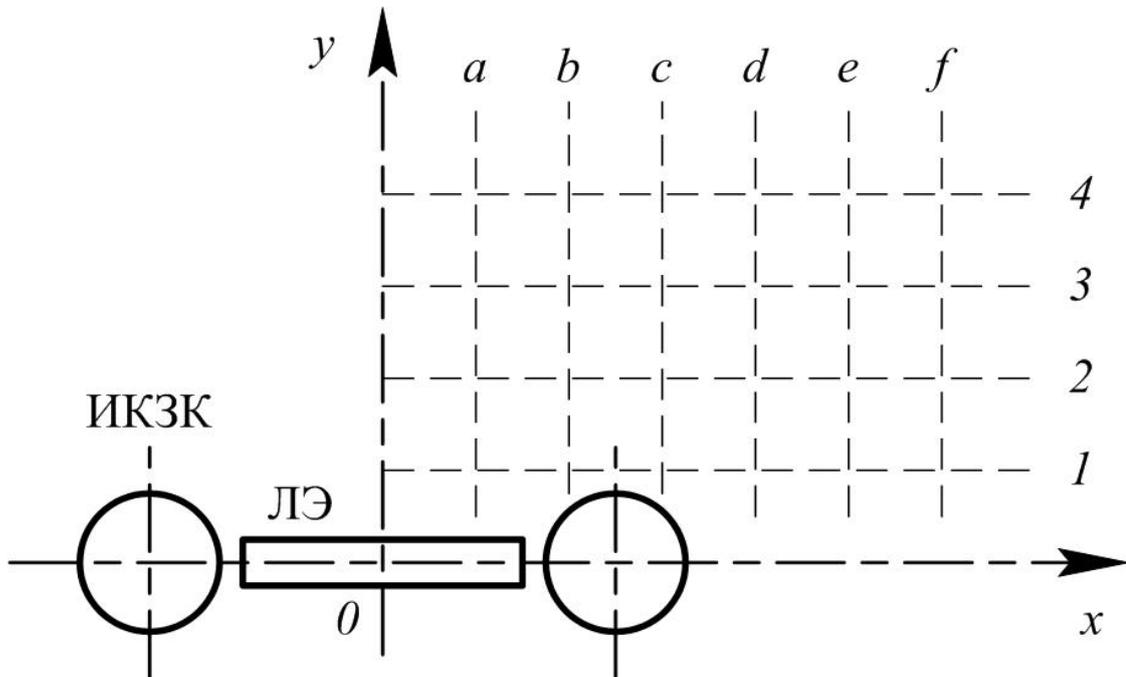


Рис. 9.6 Координатная сетка для размещения измерительных приемников оптического излучения под облучателем ИКУФ-1М

Координаты точек измерений можно определить точкой пересечения взаимно перпендикулярных вспомогательных линий, например  $xу(0)$ ,  $ax$ , ...,  $4a$ ,  $3c$  и т.д. Расстояние между вспомогательными линиями должно быть не более 10 см.

По данным таблицы 9.4 построить кривые изменения ИК- и УФ-облученностей ( $E_{ИК}$  и  $E_{УФ}$ ) по осям  $x$  и  $y$  по всей длине и ширине поверхности под облучателем. На основании табличных данных построить отдельно кривые равных облученностей  $E_{ИК}$  и  $E_{УФ}$  под облучателем. Для этого на миллиметровой бумаге вычертить в масштабе облучатель (тонкими линиями) и координатную сетку на два квадранта. Во всех узлах координатной сетки разноцветными карандашами отметить значения  $E_{ИК}$  и  $E_{УФ}$ . Затем по этим значениям как можно точнее провести разными цветами кривые равных облученностей для ИК- и УФ-лучей.

## Данные для построения кривых изменения ИК- и УФ-облученностей

Номер измерения	Координаты точки измерения	$E$ , лк	Облученность в точке			
			$E_{ИК}$		$E_{УФ}$	
			дел.	Вт/м <sup>2</sup>	дел.	Вт/м <sup>2</sup>

Для повышения точности построения кривых расстояние между взаимно перпендикулярными линиями  $a, b, c \dots$  и  $1, 2, 3 \dots$  координатной сетки можно уменьшить.

### Контрольные вопросы

1. Какое влияние оказывают ультрафиолетовые лучи на живые организмы?
2. Каково воздействие инфракрасных лучей на живые организмы?
3. Что называют продольной кривой светораспределения светильника или облучателя?
4. В чем сущность понятия фотореактивации?
5. Назовите преимущества совместного ультрафиолетового и инфракрасного облучения животных?
6. Поясните сущность закона взаимозаменяемости.
7. Объясните принцип действия тепловых и фотоэлектрических приемников оптического излучения.
8. Расскажите о принципе действия ламп ЛЭ и ИКЗК.

**Тесты по лабораторной работе 9**

**1. К «темным» ИК излучателям относятся ...**

- а) ИК лампы зеркальные, в колбе красного цвета;
- б) трубчатые электронагреватели (ТЭН);
- в) пленочные электронагреватели (ПЛЭН).

**2. Какие люминесцентные лампы применяются в облучательных установках типа ИКУФ и Луч?**

- а) ЛБ;
- б) ЛХБ;
- в) ЛЭ;
- г) ЛД.

**3. Укажите диапазон длин волн УФ излучения.**

- а) 380 – 100 нм;
- б) 380 – 760 нм;
- в) 280 – 315 нм;
- г) 760 – 1000 нм;
- д) 380 – 720 нм.

**4. Диапазон физиологической активной радиации составляет ...**

- а) 380 – 100 нм;
- б) 380 – 760 нм;
- в) 280 – 315 нм;
- г) 760 – 1000 нм;
- д) 380 – 720 нм.

**5. Для чего служат установки ИКУФ?**

- а) для ИК обогрева;
- б) для УФ облучения;
- в) для ИК и УФ облучения;
- г) для создания видимого излучения.

**6. Укажите диапазон длин волн ИК излучения.**

- а) 380 – 10 нм;
- б) 200 – 275 нм;
- в) 380 – 760 нм;
- г) 760 –  $10^6$  нм;
- д) 3000 –  $10^6$  нм.

**7. Какое действие вызывает ИК излучение?**

- а) люминесцентный анализ;
- б) эритемное действие;
- в) нагрев и бактерицидное действие.

**8. Укажите диапазон длин волн зоны УФ-А.**

- а) 320 – 380 нм;
- б) 200 – 275 нм;
- в) 380 – 760 нм;
- г) 275 – 320 нм;
- д) 760 –  $10^6$  нм;
- е) 3000 –  $10^6$  нм.

**9. С помощью какого реле задается программа облучения животных и птиц?**

- а) с помощью задающего устройства;
- б) с помощью тиристорного регулирования;
- в) с помощью реле времени.

**10. Укажите основную область использования зоны спектра УФ-В.**

- а) люминесцентный анализ;
- б) эритемное действие;
- в) нагрев и бактерицидное действие.

## Коэффициенты отражения стен и потолка

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения, %
Плоскость с белой поверхностью (побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами)	70
Плоскость со светлой поверхностью (побеленные стены при незанавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок)	50
Плоскость с серой поверхностью (бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями)	30
Плоскость с темной поверхностью (стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный нештукатуренный кирпич; стены с темными обоями)	10

Коэффициент использования светового потока светильников с  
типовыми КСС

Тип КСС	Значение $\eta_{oy}$ , %											
	при $\rho_n = 0,7, \rho_c = 0,5, \rho_p = 0,3$ при $i_n$ равном:						при $\rho_n = 0,7, \rho_c = 0,5, \rho_p = 0,1$ при $i_n$ равном:					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	35	50	61	73	83	95	34	47	56	66	75	86
Д-1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79
Д-2	4	52	68	84	93	103	42	51	64	75	84	92
Г-1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94
Г-2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96
Г-3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	80	90	93
Г-4	70	77	84	90	94	99	65	71	78	83	86	87
К-1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92
К-2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100
К-3	76	85	96	106	110	116	73	80	90	94	99	102
Л	32	49	59	71	83	91	31	46	55	65	74	83

## Приложение 3

Коэффициент использования светового потока светильников с  
типовыми КСС

Тип КСС	Значение $\eta_{oy}$ , %											
	при $\rho_n = 0,7, \rho_c = 0,3, \rho_p = 0,1$ при $i_n$ равном:						при $\rho_n = 0,5, \rho_c = 0,5, \rho_p = 0,3$ при $i_n$ равном:					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	26	36	46	56	67	80	32	45	55	67	74	84
Д-1	28	40	49	59	68	74	36	48	57	66	76	85
Д-2	33	43	56	74	80	76	42	51	65	71	90	85
Г-1	42	52	69	78	73	76	45	56	65	78	76	84
Г-2	48	60	73	84	90	94	55	66	80	92	96	103
Г-3	57	66	76	84	84	91	63	72	83	91	96	100
Г-4	62	69	76	81	84	85	68	73	81	87	91	94
К-1	65	73	81	86	89	90	70	78	86	92	96	100
К-2	67	75	84	93	97	100	72	80	91	99	103	108
К-3	68	77	86	95	98	101	74	83	93	101	106	107
Л	24	40	50	62	71	77	32	47	57	69	79	90

## Приложение 4

Коэффициент использования светового потока светильников с  
типовыми КСС

Тип КСС	Значение $\eta_{oy}$ , %											
	при $\rho_n = 0,5, \rho_c = 0,5, \rho_p = 0,1$ при $i_n$ равном:						при $\rho_n = 0,5, \rho_c = 0,3, \rho_p = 0,1$ при $i_n$ равном:					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75
Д-1	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73
Д-2	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86
Г-1	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88
Г-2	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93
Г-3	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90
Г-4	65	71	78	81	84	85	62	68	74	81	83	85
К-1	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90
К-2	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99
К-3	72	79	88	94	97	99	68	76	85	93	95	99
Л	30	45	55	65	70	78	24	40	49	60	70	76

## Приложение 5

Коэффициент использования светового потока светильников с  
типовыми КСС

Тип КСС	Значение $\eta_{oy}$ , %											
	при $\rho_n = 0,3, \rho_c = 0,1, \rho_p = 0,1$ при $i_n$ равном:						при $\rho_n = 0,1, \rho_c = 0,1, \rho_p = 0,1$ при $i_n$ равном:					
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	17	29	38	46	58	67	16	28	38	45	55	65
Д-1	27	35	42	82	61	68	21	33	40	49	58	66
Д-2	28	36	48	63	75	81	25	33	47	61	70	78
Г-1	35	45	60	73	68	77	34	44	56	71	68	74
Г-2	43	54	68	79	85	90	43	53	66	77	82	86
Г-3	53	62	73	80	84	86	53	61	71	78	82	85
Г-4	61	66	72	78	81	83	59	65	71	78	80	81
К-1	62	71	77	83	86	88	60	69	77	84	85	86
К-2	68	72	80	89	93	97	65	71	79	88	92	95
К-3	64	73	83	90	94	97	64	72	81	88	91	94
Л	20	35	44	48	65	69	17	33	42	53	63	70
Л-Ш	-	-	-	-	-	-	12	26	35	47	58	68
Ш	-	-	-	-	-	-	9	17	25	36	49	62

## Приложение 6

Удельная мощность общего равномерного освещения светильников с  
лампами накаливания мощностью 60 Вт

$H_p$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup> , светильников с КСС					
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3
2 – 3	10 – 15	24,6	23,5	23,0	19,8	17,4	16,9
	15 – 25	23,9	21,5	20,1	17,6	15,8	15,6
	25 – 50	21,1	19,5	17,6	15,8	14,7	14,4
	50 – 150	17,8	16,2	15,3	14,1	13,3	13,2
	150 – 300	16,2	15,1	14,4	13,6	13,1	13,1
	СВЫШЕ 300	15,4	14,4	13,6	13,2	12,8	12,8
3 – 4	10 – 15	34,2	30,2	28,8	23,9	20,8	20,1
	15 – 25	27,5	24,4	24,4	20,8	18,1	17,6
	25 – 50	24,4	21,8	20,8	18,1	16,2	15,2
	50 – 150	20,1	18,1	16,4	15,1	14,2	13,9
	150 – 300	17,6	16,0	15,3	13,9	13,3	13,3
	СВЫШЕ 300	15,4	14,4	13,6	13,2	12,8	12,8
4 – 6	10 – 15	60,3	48,7	39,6	31,7	26,4	25,3
	15 – 20	45,2	38,4	33,3	26,9	22,6	22,2
	20 – 30	34,2	30,2	28,8	23,9	20,4	20,1
	30 – 50	27,5	24,4	24,4	20,8	18,1	17,7
	50 – 120	23,5	21,1	19,8	17,3	15,6	15,4
	120 – 300	20,1	17,8	16,4	14,9	14,1	14,1
	СВЫШЕ 300	16,0	15,1	14,4	13,5	13,1	13,1

**Примечание.** Освещенность 100 лк;  $\rho_n = 0,5$ ,  $\rho_c = 0,3$ ,  $\rho_p = 0,1$ ;  $k_3 = 1,3$ ;  
 $z = 1,15$ ; условный КПД = 100%.

Удельная мощность общего равномерного освещения светильников с  
люминесцентными лампами типа ЛБ-40

$H_p$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup> , светильников с КСС			
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1
2 – 3	10 – 15	6,1	5,2	5,0	4,1
	15 – 25	4,8	4,2	4,2	3,6
	25 – 50	4,2	3,8	3,6	3,1
	50 – 150	3,5	3,1	2,9	2,6
	150 – 300	3,0	2,8	2,6	2,5
	СВЫШЕ 300	2,7	2,5	2,5	2,3
3 – 4	10 – 15	10,5	8,5	4,9	5,5
	15 – 20	5,4	4,9	4,2	4,7
	20 – 30	5,9	5,2	5,0	4,2
	30 – 50	3,7	3,7	4,2	3,6
	50 – 120	4,1	3,7	3,4	3,0
	120 – 300	3,5	3,1	2,9	2,6
	СВЫШЕ 300	2,8	2,6	2,3	2,3
4 – 6	10 – 17	20,0	12,9	11,0	7,6
	17 – 25	12,2	9,6	7,8	5,9
	25 – 35	8,8	7,8	6,3	5,0
	35 – 50	6,9	5,9	5,4	4,4
	50 – 80	5,0	4,6	4,6	3,8
	80 – 150	4,5	4,0	3,8	3,3
	150 – 400	3,5	3,4	3,1	2,8
	СВЫШЕ 400	3,0	2,8	2,6	2,4

**Примечание.** Освещенность 100 лк;  $\rho_n = 0,5$ ,  $\rho_c = 0,3$ ,  $\rho_p = 0,1$ ;  $k_z = 1,5$ ;  $z = 1,1$ ; условный КПД = 100%.

Удельная мощность общего равномерного освещения светильников с  
лампами типа ДРЛ

$H_p$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup> , светильников с КСС							
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3	К-1	К-2
3 – 4	10 – 15	14,9	12,0	9,8	7,8	6,5	-	-	-
	15 – 20	11,2	9,5	8,3	6,7	5,6	-	-	-
	20 – 30	8,5	7,4	7,1	5,9	5,0	-	-	-
	30 – 50	6,8	6,0	6,0	5,1	4,5	-	-	-
	50 – 120	5,8	5,2	4,9	4,3	3,9	-	-	-
	120 – 300	4,9	4,4	4,1	3,7	3,5	-	-	-
	СВЫШЕ 300	3,9	3,7	3,5	3,4	3,2	-	-	-
4 – 6	10 – 17	28,5	18,4	15,7	10,8	8,2	8,5	-	-
	17 – 25	17,4	13,6	11,2	8,5	7,0	7,0	-	-
	25 – 35	12,5	11,2	8,9	7,1	6,0	6,1	-	-
	35 – 50	9,8	8,5	7,6	6,2	5,4	5,3	-	-
	50 – 80	7,1	6,5	6,5	5,5	4,7	4,6	-	-
	80 – 150	6,4	5,7	5,5	4,7	4,2	4,1	-	-
	150 – 400	5,4	4,8	4,5	4,0	3,7	3,6	-	-
СВЫШЕ 400	4,2	3,9	3,7	3,4	3,3	3,3	-	-	
6 – 8	50 – 65	13,0	11,2	9,0	7,3	6,0	5,9	5,4	-
	65 – 90	10,4	8,9	7,8	6,5	5,5	5,4	5,0	-
	90 – 135	7,8	6,9	6,8	5,7	4,9	4,8	4,6	-
	135 – 250	6,5	5,8	5,8	5,0	4,3	4,2	4,1	-
	250 – 500	5,7	5,1	4,8	4,2	3,8	3,8	3,9	-
	СВЫШЕ 500	4,2	3,9	3,7	3,4	3,3	3,8	3,3	-
8 – 12	70 – 100	17,4	13,6	11,2	8,5	7,0	6,8	6,1	-
	100 – 130	13,6	11,2	9,2	7,3	6,1	5,9	5,4	-
	130 – 200	9,8	8,5	7,6	6,3	5,4	5,3	4,9	-
	200 – 300	7,5	6,5	6,5	5,5	4,8	4,7	4,4	-
	300 – 600	6,4	5,7	5,6	4,8	4,2	4,1	4,1	-
	600 – 1500	5,4	4,9	4,5	4,1	3,7	3,7	3,6	-
	СВЫШЕ 1500	4,2	3,9	3,7	3,4	3,3	3,3	3,3	-
12 – 16	130 – 200	-	13,6	11,2	8,4	7,0	6,8	6,3	5,4
	200 – 350	-	9,5	8,0	6,8	5,7	5,5	5,1	4,6
	350 – 600	-	6,6	6,7	5,6	4,8	4,7	4,5	4,2
	600 – 1300	-	5,6	5,4	4,7	4,2	4,1	4,0	3,7
	1300 – 4000	-	4,6	4,3	3,8	3,6	3,5	3,5	3,3
	СВЫШЕ 4000	-	3,9	3,7	3,4	3,3	3,3	3,3	3,2

**Примечание.** Освещенность 100 лк;  $\rho_n = 0,5$ ,  $\rho_c = 0,3$ ,  $\rho_p = 0,1$ ;  $k_3 = 1,5$ ;  $z = 1,15$ ; условный КПД = 100%.

Удельная мощность равномерного освещения светильников с лампами  
типа ДНаТ

$H_p$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup> , светильников с КСС							
		Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3	К-1	К-2
3 – 4	10 – 15	9,1	7,4	6,0	4,8	3,8	3,8	-	-
	15 – 20	6,8	5,8	5,0	4,1	3,4	3,4	-	-
	20 – 30	5,2	4,6	4,4	3,6	3,1	3,0	-	-
	30 – 50	4,2	4,0	3,7	3,1	2,7	2,7	-	-
	50 – 120	3,5	3,2	3,0	2,6	2,4	2,3	-	-
	120 – 300	3,0	2,7	2,5	2,3	2,1	2,1	-	-
	СВЫШЕ 300	2,4	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	-	-
4 – 6	10 – 17	17,4	11,3	9,6	6,6	5,0	5,2	-	-
	17 – 25	10,6	8,3	6,8	5,2	4,3	4,3	-	-
	25 – 35	7,7	6,8	5,5	4,4	3,7	3,8	-	-
	35 – 50	6,0	5,2	4,7	3,8	3,3	3,2	-	-
	50 – 80	4,3	4,0	4,0	3,4	2,9	2,8	-	-
	80 – 150	3,9	3,5	3,4	2,9	2,6	2,5	-	-
	150 – 400	3,3	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	-	-
СВЫШЕ 400	2,6	2,4	2,3	2,1	2,0	2,0	-	-	
6 – 8	50 – 65	8,0	6,8	5,5	4,5	3,7	3,6	3,3	-
	65 – 90	6,4	5,5	4,8	4,0	3,4	3,3	3,0	-
	90 – 135	4,8	4,3	4,2	3,5	3,0	2,9	2,8	-
	135 – 250	4,0	3,5	3,5	3,0	2,7	2,6	2,5	-
	250 – 500	3,5	3,1	2,9	2,6	2,3	2,3	2,3	-
	СВЫШЕ 500	2,6	2,4	2,3	2,1	2,0	2,0	2,0	-
8 – 12	70 – 100	10,6	8,3	6,8	5,2	4,3	4,2	3,8	-
	100 – 130	8,3	6,8	5,6	4,5	3,8	3,6	3,3	-
	130 – 200	6,0	5,2	4,7	3,8	3,3	3,2	3,0	-
	200 – 300	4,6	4,0	4,0	3,4	2,9	2,9	2,7	-
	300 – 600	3,9	3,5	3,4	2,9	2,6	2,5	2,5	-
	600 – 1500	3,3	3,0	2,8	2,5	2,3	2,2	2,2	-
	СВЫШЕ 1500	2,6	2,4	2,3	2,1	2,0	2,0	2,0	-
12 – 16	130 – 200	-	8,3	6,8	5,2	4,3	4,2	3,8	3,3
	200 – 350	-	5,8	4,9	4,2	3,5	3,4	3,1	2,8
	350 – 600	-	4,1	4,1	3,4	2,9	2,9	2,8	2,6
	600 – 1300	-	3,3	3,3	2,9	2,6	2,5	2,5	2,3
	1300 – 4000	-	2,6	2,6	2,4	2,3	2,1	2,2	2,0
	СВЫШЕ 4000	-	2,3	2,3	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0

**Примечание.** Освещенность 100 лк;  $\rho_n = 0,5$ ,  $\rho_c = 0,3$ ,  $\rho_p = 0,1$ ;  $k_z = 1,5$ ;  $z = 1,15$ ; условный КПД = 100%.

Значения типовых КСС круглосимметричного светового прибора ( $\Phi_{сн} = 1000$  лм)

$\alpha$ , град	Типовые кривые силы света круглосимметричного светового прибора												
	М	Д-1	Д-2	Д-3	Г-1	Г-2	Г-3	К-1	К-2	К-3	Ш-1	Ш-2	Ш-3
0	159,2	233,4	295,0	377,3	503,0	670,7	894,2	1192	1583	2120	154,8	119,6	78,3
5	159,2	232,9	294,0	375,5	499,8	664,8	883,8	1173	1549	2062	155,5	119,0	78,6
10	159,2	229,2	290,5	370,3	490,2	647,5	852,5	1118	1449	1893	158,2	118,6	79,4
15	159,2	228,5	286,5	361,6	474,4	618,5	801,1	1026	1288	1595	164,5	120,2	81,4
20	159,2	224,7	277,2	349,8	452,7	579,5	731,2	902	1052	1261	175,5	126,0	81,7
25	159,2	220,0	269,6	334,3	425,1	530,2	643,8	750	810	832	190,7	134,0	83,3
30	159,2	214,1	255,5	316,0	392,1	471,4	541,3	574	515	249	210,8	145,0	87,2
35	159,2	207,1	246,0	294,7	354,1	404,7	439,9	380	196	0	235,1	159,6	94,8
40	159,2	199,3	226,0	270,7	311,7	330,9	301,0	174	0	-	261,8	180,4	105,4
45	159,2	190,6	215,5	244,2	265,2	251,4	168,8	0	-	-	281,6	209,7	121,3
50	159,2	180,0	189,6	215,4	215,5	167,3	32,6	-	-	-	282,1	243,3	137,1
55	159,2	170,5	179,0	184,6	162,9	81,8	0	-	-	-	257,2	269,7	162,0
60	159,2	159,2	147,5	152,0	108,3	0	-	-	-	-	212,9	275,0	199,0
65	159,2	147,1	137,6	118,2	52,6	-	-	-	-	-	161,7	247,6	230,0
70	159,2	134,3	100,9	83,1	0	-	-	-	-	-	113,65	194,0	252,0
72	159,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	95,9	167,0	243,2
74	159,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	79,4	139,0	225,0
75	159,2	121,0	92,3	47,4	-	-	-	-	-	-	71,5	125,2	212,3
76	159,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63,8	111,1	199,0
78	159,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49,1	84,5	165,5
80	159,2	106,9	51,2	11,1	-	-	-	-	-	-	35,8	60,4	127,7
82	159,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,8	39,5	89,1
84	159,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,8	22,5	53,6
85	159,2	92,5	44,4	0	-	-	-	-	-	-	10,0	16,2	39,0
86	159,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2	10,1	25,0
88	159,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	2,5	6,4
90	159,2	77,7	19,9	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0

**Список литературы**

1. Багаев, А.А. Электротехнология: учебное пособие / А.А. Багаев, А.И. Багаев, Л.В. Куликова. – Барнаул: изд-во АГАУ, 2006 – 320 с.;
2. Баев, В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению – М.: КолосС, 2008. – 191 с., ил.;
3. Баранов Л.А. Светотехника и электротехнология. / Л.А. Баранов, В.А. Захаров. – М.: КолосС, 2006. – 344 с.: ил.;
4. Библия электрика: ПУЭ, МПОТ, ПТЭ – М.: Эксмо, 2012. – 752 с.
5. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов. / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник. – М.: КолосС, 2007. – 344 с.: ил.
6. Воробьев, В.А. Электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства. – М.: КолосС, 2005. – 280 с., ил.;
7. Карпов, В.Н. Энергосбережение в оптических электротехнологиях АПК. Прикладная теория и частные методики. / В.Н. Карпов, С.А. Ракутько. – СПб.: СПбГАУ, 2009. – 100 с.;
8. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: справочник / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива, 2007. – 225 с., ил.;
9. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Светотехника и электротехнология» / сост. Е.А. Печагин, Ж.А. Зарандия. – Тамбов: изд. Тамбовского государственного технического университета, 2005. – 32 с.;
10. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга, 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с., ил.;
11. Электротехнический справочник: в 4-т. Т. 4. Использование электрической энергии / под общей ред. профессора МЭИ В.Г. Герасимова и [др.] (гл. ред. А.И. Попов) – 9-е изд., стер. – М.: издательство МЭИ, 2004. – 696 с.

169  
СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 Измерение освещенности объективным методом	7
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 Исследование светотехнических характеристик ламп накаливания	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 Исследование электрических и световых характеристик люминесцентных ламп	40
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 Исследование люминесцентной лампы с балластными сопротивлениями	56
Лабораторная работа № 5 Исследование характеристик электрического разряда ламп высокого давления	64
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 Исследование электрических и световых характеристик компактных люминесцентных ламп	88
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 Экспериментальное определение основных характеристик светильников	98
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 Определение освещенности помещения опытным и расчетным путем	118
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 Исследование облучательных установок и автоматическое управление облучательными установками	139
Приложение	161
Список литературы	170

*Шевченко Максим Валерьевич, Калинин Андрей Викторович*

СВЕТОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ.  
ИСТОЧНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Учебное пособие*

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.

Подписано к печати 18.09.2013 г. Формат 60×90/16.

Уч.-изд.л. – 4,9. Усл.-п.л. – 6,8.

Тираж 100 экз. Заказ 132.

---

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства ДальГАУ  
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86



