

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электротехнологии

В. П. Степанцов

СВЕТОТЕХНИКА

*Рекомендовано
Учебно-методическим объединением
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве лабораторного практикума
для студентов учреждений высшего образования,
обучающихся по специальности
1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства
(электроэнергетика)»*

Минск
БГАТУ
2012

УДК 628.9(07)
ББК 31.294я7
С79

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой энергоэффективных технологий МГЭУ
им. А. Д. Сахарова *В. А. Пащинский*;
заместитель генерального директора ОАО «Белсельэлектросетьстрой»
В. В. Сорока

Степанцов, В. П.
С79 Светотехника : лабораторный практикум / В. П. Степан-
цов. – Минск : БГАТУ, 2012. – 148 с.
ISBN 978-985-519-550-5.

Приведены методические указания к лабораторным работам по разделу «Светотехника» дисциплины «Электротермия и светотехника», позволяющие провести исследование состояния современного светотехнического оборудования, всесторонне проанализировать эффективность его эксплуатации в условиях сельскохозяйственного производства, сформировать собственное мнение и сделать выводы о путях модернизации светотехнических установок в условиях конкретного хозяйства или предприятия.

Практикум носит практико-ориентированный характер, предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)» и может быть использован учащимися средних специальных учебных заведений, обучающимися по специальности 2-74 06 31 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства».

УДК 628.9(07)
ББК 31.294я7

ISBN 978-985-519-550-5

© БГАТУ, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум подготовлен в соответствии с действующей программой курса «Электротермия и светотехника» (приложение 1). Материал к каждой работе содержит цель и задачи работы, краткие теоретические сведения по исследуемым в работе вопросам со ссылкой на литературные источники, описание методики и последовательности выполнения работы, обработки данных и представления результатов, минимальные требования к содержанию отчета по результатам выполнения работы, контрольные вопросы и задания для самостоятельной работы. Описание методики и последовательности выполнения работы поясняется рисунками, схемами, таблицами.

В приложениях приведены краткие сведения о теории рассматриваемых вопросов, дающие представление об объеме материала, необходимого для подготовки к выполнению работы. Более полно теория, требуемая для подготовки к защите работы, изложена в рекомендуемой литературе.

Объем лабораторной работы, продолжительностью, как правило, 80–90 минут, рассчитан с учетом предварительной тщательной подготовки к ее выполнению – изучения необходимого теоретического материала и оформления макета отчета в соответствии с рекомендуемым в работе содержанием. В течение отведенного времени на выполнение работы необходимо изучить устройство стенда для измерений и его материальное обеспечение (приборы, лампы, светильники и т. д.), провести необходимые исследования, обработать результаты измерений, построить необходимые графики, защитить перед преподавателем полученные результаты, выводы, заключения.

Перед первым занятием в учебной лаборатории студент должен ознакомиться с приведенными ниже: организацией и порядком выполнения работ; обязанностями и ответственностью студента.

Издание предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)».

Автор выражает искреннюю благодарность кандидату технических наук, доценту, заведующему кафедрой энергоэффективных технологий МГЭУ им. А. Д. Сахарова В. А. Пашинскому и заместителю генерального директора ОАО «Белсельэлектросетьстрой» В. В. Сороке за проделанную работу по тщательному рецензированию рукописи и справедливые замечания, устранение которых способствовало значительному улучшению ее качества.

ОРГАНИЗАЦИЯ, ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ И ОТЧЕТНОСТЬ

1. Лабораторные работы выполняются бригадой студентов в составе 2–4 человек по установленному преподавателем графику.

2. В составе бригады каждый студент должен выполнить все предусмотренные учебной программой и календарно-производственным планом изучения дисциплины лабораторные работы.

3. Работы выполняются в строгом соответствии с изложенным в методических указаниях порядком. Экспериментальная часть работы считается выполненной после утверждения результатов опытов преподавателем.

Преподаватель может изменить объем экспериментальной части лабораторной работы.

4. Результаты произведенных измерений и наблюдений должны вноситься в заранее заготовленный макет отчета, оформляемый в специально заведенной тетрадке (журнале исследований), обязательной для каждого студента.

По результатам обработки исходных данных измерений и наблюдений строятся графики, определяющие тенденции поведения исследуемых объектов при изменении параметров питающей электрической сети, окружающей среды, времени или других. Приводятся анализ их поведения и выводы, вытекающие из полученных результатов.

5. При защите результатов выполнения лабораторной работы студент должен продемонстрировать перед преподавателем приобретенные знания и умения, ответить на вопросы по теме исследования.

Лабораторная работа засчитывается в том случае, если студент показывает знание цели, физической сущности, методики ее выполнения, устройства испытываемого светотехнического оборудования, может объяснить и проанализировать полученные результаты.

ОБЯЗАННОСТИ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТУДЕНТА

До и во время выполнения работ в лаборатории студент обязан:

1. Изучить правила техники безопасности при выполнении работ в учебной лаборатории и принять их к обязательному исполнению. Сей факт засвидетельствовать росписью в специальном журнале с указанием даты ознакомления.

2. Выполнять все требования преподавателя и лаборанта, относящиеся к соблюдению правил техники безопасности и охраны труда, порядку выполнения работ и поведению студентов, сохранности лабораторного оборудования и приборов.

3. Перед выполнением работы внимательно изучить устройство лабораторного стенда, назначение приборов и аппаратов. Проверить электрическую схему, обратив особое внимание на целостность соединительных проводов, положение выключателей, переключателей и других аппаратов управления, которые должны находиться в отключенном или нейтральном состоянии. При обнаружении неисправностей немедленно сообщить о них преподавателю или лаборанту. Не приступать к выполнению лабораторной работы до их полного устранения.

4. Включать электрическую схему под напряжение только после проверки ее преподавателем или лаборантом и по указанию преподавателя. При включении убедиться, что никто из рядом находящихся не может попасть под напряжение. При каждом включении предупреждать коллег словом «**ВКЛЮЧАЮ**».

5. Работы выполнять в строгом соответствии с инструкцией. В случае неясности обращаться к преподавателю за разъяснением. Помнить, что только при внимательном и аккуратном выполнении работы могут быть получены достоверные результаты.

6. Результаты произведенных измерений и исследований заносить в заранее заготовленные таблицы наблюдений. При неудовлетворительных результатах опыт необходимо повторить.

7. При выполнении лабораторной работы находиться только на своем рабочем месте, не трогать оборудование и приборы, не относящиеся к работе, соблюдать тишину и порядок.

8. Об окончании работ сообщить преподавателю, отключить установку, сдать выданные приборы, привести в порядок рабочее место.

9. При нарушении правил техники безопасности или внутреннего распорядка в учебной лаборатории, требований преподавателя или лаборанта студент может быть отстранен от проведения работ и вновь допущен к ним лишь с разрешения декана.

10. О порче машин, приборов, аппаратов или другого оборудования лаборатории студент обязан немедленно сообщить преподавателю или лаборанту. Причиненные неумышленные, легко исправляемые повреждения студент обязан во внеурочное время в присутствии лаборанта устранить.

11. В соответствии с Правилами внутреннего распорядка университета за порчу инвентаря и оборудования лаборатории студент несет материальную ответственность.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы. Изучить устройство приборов для измерения эффективного действия оптического излучения, их принцип действия, параметры и характеристики, правила пользования и методику измерений.

Задачи работы:

1. Ознакомиться с устройством, принципом действия, параметрами и характеристиками приборов для измерения эффективного действия оптического излучения (люксметров, пульсметров, радиометров, уфиметров, фитофотометров и др.).

2. Освоить методику измерения освещенности, энергетической, витальной и инфракрасной облученности, фитооблученности и коэффициента пульсации освещенности.

3. Определить значения освещенности (витальной и инфракрасной облученности, фитооблученности и коэффициента пульсации освещенности), создаваемые искусственными источниками оптического излучения.

Общие сведения. Устройство приборов для измерения эффективного действия оптического излучения, их принцип действия, параметры и характеристики, правила пользования и методику измерений изучить по рекомендованной литературе и изложенному в Приложении 2 теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в Приложении 2, рекомендованной литературе и Интернет-ресурсам изучить устройство, принцип действия, параметры и характеристики приборов для измерения эффективного действия оптического излучения (люксметров, пульсметров, радиометров, уфиметров, фитофотометров и др.).

2. Подготовить форму для отчета о лабораторной работе и, в соответствии с изученным теоретическим материалом, привести в ней краткие сведения о цели и задачах занятия, назначении и принципе

действия изучаемых приборов, их принципиальные электрические схемы, параметры и характеристики.

Методические указания по выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе и рекомендуемой литературе, паспортам и натуральным образцам приборов изучить устройство, принцип действия, параметры и характеристики, правила и методику применения указанных преподавателем приборов. Их технические параметры представить по форме таблицы 1.1.

Таблица 1.1

Технические параметры приборов, применяемых для измерения эффективного действия оптического излучения

Наименование	Тип	Диапазон измерения	Погрешность измерения
Люксметры	Ю-116		
	ТКА-ПКМ/31		
	...		
Пульсметры	ТКА-ПКМ/31		
	«Эколайт-02»		
	...		
Радиометры	ТКА-ПКМ		
	ТКА-01/3		
	...		
Уфиметр	УФМ-71		
Фитофотометр	ФФМ-71		
Дозиметр	ДАУ-81		
Пиранометр Янишевского			
Термостолбик			

2. Произвести измерения освещенности, витальной и инфракрасной облученности, фитооблученности и коэффициента пульсации освещенности, создаваемые источниками оптического излучения на заданной преподавателем поверхности. Результаты измерений представить по форме таблицы 1.2.

3. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Таблица 1.2

Результаты измерений параметров оптического излучения

Измеряемый параметр оптического излучения	Тип используемого прибора	Единица измерения	Шкала прибора	Полученный результат	Погрешность измерения, %
Освещенность		лк			
		лк			
Коэффициент пульсации освещенности		%			
Энергетическая облученность:					
– в диапазоне УФ-А		мВт · м ⁻²			
– в диапазоне УФ-В		мВт · м ⁻²			
– в диапазоне УФ-С		мВт · м ⁻²			
Витальная облученность		мвит · м ⁻²			
Фитооблученность		фТ · м ⁻²			
Инфракрасная облученность*		Вт · м ⁻²			
		Вт · м ⁻²			

* При измерении инфракрасной облученности термостолбиком для получения значения инфракрасной облученности (Вт · м⁻²) показания милливольтметра (мВ) умножить на переводной коэффициент, приблизительно равный 43 Вт · м⁻² · мВ⁻¹.

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения о назначении и принципе действия изучаемых приборов, их принципиальные электрические схемы.
3. Технические характеристики изучаемых приборов (табл. 1.1).
4. Результаты измерений параметров оптического излучения (табл. 1.2).

Вопросы для подготовки к защите отчета о лабораторной работе:

1. Какие требования предъявляются к образцовым приемникам оптического излучения?
2. Какие фотоэлектрические приемники применяют в физических методах измерения оптического излучения? Поясните принцип действия фотоэлементов с внешним фотоэффектом, фотоэлементов с внутренним фотоэффектом, фотоэлементов в запирающем слое (вентильные фотоэлементы). Укажите их преимущества и недостатки.
3. Как устроен селеновый фотоэлемент?
4. Перечислите основные характеристики первичных преобразователей оптического излучения, используемых в приборах, и поясните, изменение каких параметров они отражают.
5. Какие приборы для измерения параметров видимого излучения Вы знаете? Их устройство, область применения и основные технические характеристики.
6. Какие приборы для измерения параметров витального (бактерицидного, фотосинтетического) излучения Вы знаете? Их устройство, область применения и основные технические характеристики.
7. Какие приборы для измерения инфракрасной облученности Вы знаете? Их устройство, область применения и основные технические характеристики.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру ламп накаливания общего назначения, получить практические навыки определения их параметров и характеристик.

Задачи работы:

1. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру ламп накаливания общего назначения.

2. Исследовать зависимости мощности, температуры тела накала, светового потока и световой отдачи ламп от величины напряжения питания.

Общие сведения. Устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные параметры и характеристики ламп накаливания общего назначения изучить по рекомендованной литературе и изложенному в Приложении 3 теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в Приложении 3 и рекомендуемой литературе, изучить:

– принцип действия источников теплового излучения и основные законы, описывающие их работу;

– устройство, обозначение, номенклатуру и основные характеристики ламп накаливания общего назначения.

2. В соответствии с требованиями приведенного ниже раздела «Содержание отчета» подготовить макет отчета о лабораторной работе, в котором привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, обозначении и основных характеристиках ламп накаливания общего назначения, схему стенда для их исследования, формы таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство стенда для проведения исследования зависимости мощности, температуры тела накала, светового потока и световой отдачи источников теплового излучения от величины напряжения питания (рис. 2.1).

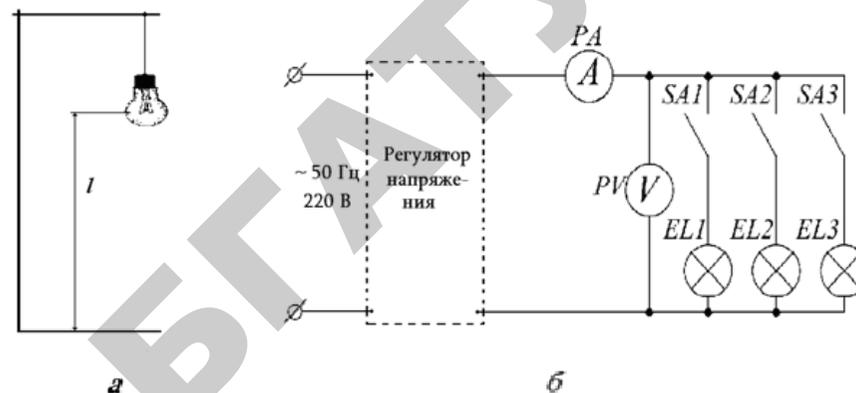


Рис. 2.1. Конструктивная (а) и принципиальная электрическая схемы (б) экспериментального лабораторного стенда

2. По представленным в лаборатории натурным образцам и планшетах ознакомиться с устройством ламп накаливания общего назначения.

3. На экспериментальном стенде для заданных преподавателем ламп накаливания и значений напряжения (180–240 В) определить потребляемый ими ток (I , А) и создаваемую ими освещенность (E_C , лк) в заданной точке поверхности. Результаты измерений представить по форме таблицы 2.1.

Таблица 2.1

Результаты измерений параметров ламп накаливания общего назначения

Тип лампы	Измерено			Вычислено				
	U , В	I , А	E_C , лк	P , Вт	Φ_C , лм	η_C , лм · Вт ⁻¹	T , К	R_T , Ом
	180							
	200							
	220							
	240							

Примечание. U , I , P – напряжение, ток и мощность ламп; E_C – освещенность; T , R_T – температура и сопротивление тела накала лампы; Φ_C , η_C – световой поток и световая отдача лампы; l – расстояние от точки измерения до центра проекции лампы на плоскость (рис. 2.1а).

Напряжение на лампе задавать регулятором напряжения, величины напряжения и тока определить по показаниям приборов PV и PA, освещенность измерять люксметром.

4. По результатам измерений рассчитать потребляемую лампой мощность (P , Вт), температуру (T , К) и сопротивление тела накала (R_T , Ом), световой поток (Φ_C , лм) и световую отдачу (η_C , лм · Вт⁻¹) исследуемых ламп. Результаты вычислений занести в таблицу 2.1.

5. По результатам расчетов температуры тела накала (T , К) определить значения длины волны (λ_{\max} , мкм), при которой спектральная плотность излучения характеризуется максимальным значением, и спектральной плотности излучения ($\phi_{\lambda,T}$, Вт · м⁻² · мкм⁻¹) при λ_{\max} . Результаты расчетов представить в виде таблицы 2.2.

Таблица 2.2

Зависимости длины волны (λ_{\max}), при которой спектральная плотность излучения ($\phi_{\lambda,T}$) имеет максимальное значение, и значений спектральной плотности излучения ($\phi_{\lambda,T}$) при λ_{\max} от температуры тела накала ламп

Тип лампы	T , К	λ_{\max} , мкм	$\phi_{\lambda,T}$, Вт · м ⁻² · мкм ⁻¹
	T_1		
	T_2		
	T_3		
	T_4		

Примечание. $\phi_{\lambda,T}$, λ_{\max} – спектральная плотность излучения и длина волны, при которой спектральная плотность излучения имеет максимальное значение; T_1 , T_2 , T_3 и T_4 – температура тела накала лампы, принятая по результатам расчетов при подключении лампы на напряжение 180, 200, 220 и 240 В соответственно (см. табл. 2.1).

6. По результатам произведенных вычислений для заданных преподавателем ламп представить графические зависимости:

– потребляемой мощности (P), температуры (T) и сопротивления тела накала (R_T), светового потока (Φ_C) и световой отдачи (η_C) ламп от напряжения питания (U), то есть P , T , R_T , Φ_C и $\eta_C = f(U)$;

– значения длины волны (λ_{\max}), при которой спектральная плотность излучения ($\phi_{\lambda,T}$) имеет максимальное значение, и спектральной плотности излучения ($\phi_{\lambda,T}$) при λ_{\max} от температуры тела накала ламп (T), то есть λ_{\max} , $\phi_{\lambda,T} = f(T)$.

7. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

Вычисление приведенных в таблицах 2.1 и 2.2 расчетных величин рекомендуется производить с использованием следующих формул:

1. Мощность лампы:

$$P = UI, \quad (2.1)$$

где U – напряжение питания лампы, В;

I – потребляемый лампой ток, А.

2. Световой поток для круглосимметричного источника¹ (светораспределение P и кривая силы света M) приближенно можно определить как

$$\Phi_C = 4\pi l^2 E_C,$$

где Φ_C – световой поток исследуемой лампы, лм;

l – расстояние от лампы до точки измерения освещенности (рис. 2.1), м;

E_C – измеренное значение освещенности в расчетной точке, лк.

При $l = 0,5$ м, что имеет место в экспериментальном лабораторном стенде:

$$\Phi_C = 3,14 E_C. \quad (2.2)$$

3. Сопротивление нити накала лампы в рабочем режиме:

$$R_T = U/I. \quad (2.3)$$

4. Температура тела накала лампы:

$$T = \frac{R_T - R_0}{\alpha R_0} + T_0, \quad (2.4)$$

где R_0 – сопротивление тела накала лампы при температуре окружающей среды ($T_0 = 293$ К), Ом;

$\alpha = 0,005$ К⁻¹ – температурный коэффициент сопротивления вольфрама.

Значение R_0 для исследуемой лампы определяется по справочной таблице, размещенной на лабораторном стенде.

5. Световая отдача лампы:

$$\eta_C = \Phi_C/P. \quad (2.5)$$

¹ Исследуемые в лабораторной работе лампы могут быть приняты за круглосимметричные излучатели (класс светораспределения P , кривая силы света M).

6. Тело накала лампы условно рассматривается как полный излучатель (абсолютно черное тело), поэтому длину волны (λ_{\max} , мкм), при которой спектральная плотность излучения ($\varphi_{\lambda,T}$) имеет максимальное значение, приблизительно можно определить исходя из закона смещения Вина:

$$\lambda_{\max} T = 2896, \quad (2.6)$$

а значение спектральной плотности излучения ($\varphi_{\lambda,T}$, Вт · м⁻² · мкм⁻¹) при λ_{\max} как

$$\varphi_e(\lambda, T)_{\max} = C_3 T^5, \quad (2.7)$$

где C_3 – постоянная, равная $1,041 \cdot 10^{-11}$ Вт · м⁻² · мкм⁻¹ · град.⁻⁵.

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения об устройстве, обозначении и номенклатуре, основных характеристиках ламп накаливания, включая кварцевые галогенные лампы накаливания.
3. Конструктивную и принципиальную электрическую схемы экспериментального лабораторного стенда.
4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 2.1 и 2.2).
5. Графические зависимости по п. 6 методических указаний к данной работе.
6. Выводы по результатам проделанной работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета о лабораторной работе:

1. Сформулируйте известные Вам законы теплового излучения.
2. Поясните принцип действия ламп накаливания и расскажите об их устройстве, обозначении, номенклатуре, основных параметрах и характеристиках.
3. Поясните принцип действия кварцевых галогенных ламп накаливания и расскажите об их устройстве, обозначении, номенклатуре и основных параметрах.
4. Перечислите и поясните основные электрические, светотехнические и эксплуатационные характеристики ламп накаливания.
5. Как влияет отклонение питающего напряжения от его номинального значения на электрические, светотехнические и эксплуатационные параметры ламп накаливания?
6. Приведите основные пути повышения световой эффективности и срока службы ламп накаливания.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАЛЛАСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СВОТТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Цель работы. Ознакомиться с устройством, основными параметрами, схемами включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления и исследовать влияние вида балластного сопротивления на их электрические и светотехнические параметры.

Задачи работы:

1. Изучить устройство, принцип действия, обозначение, основные параметры и характеристики газоразрядных ламп низкого давления, работу схем их включения в сеть и используемую при этом пускорегулирующую аппаратуру.
2. Исследовать влияние вида балластного сопротивления и напряжения питания на мощность, напряжение зажигания, световую отдачу люминесцентных ламп и $\cos\phi$ схем их включения.
3. Изучить влияние вида балластного сопротивления на форму напряжения на лампе и балластном сопротивлении.

Общие сведения. Устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные параметры и характеристики газоразрядных ламп низкого давления изучить по рекомендованной литературе и изложенному в Приложении 4 теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в Приложении 4 и рекомендуемой литературе, изучить:
 - основные положения теории электрического разряда в газах и парах металлов, стабилизации режима дугового разряда газоразрядных ламп;
 - устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру, основные параметры и характеристики газоразрядных ламп низкого давления;
 - схемы включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления и их работу, устройство, номенклатуру и характеристики пускорегулирующей аппаратуры.

2. В соответствии с требованиями приведенного ниже раздела «Содержание отчета» подготовить макет отчета о лабораторной работе, в котором привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре, основным параметрам и характеристикам газоразрядных ламп низкого давления, схему стенда для проведения их исследований, формы таблиц для регистрации параметров газоразрядных ламп низкого давления и пускорегулирующей аппаратуры, результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство стенда для исследования влияния вида балластного сопротивления и напряжения питания на мощность, напряжение зажигания, световую отдачу лампы и $\cos\varphi$ схемы включения, а также вида балластного сопротивления на форму напряжения на лампе и балластном сопротивлении (рис. 3.1).

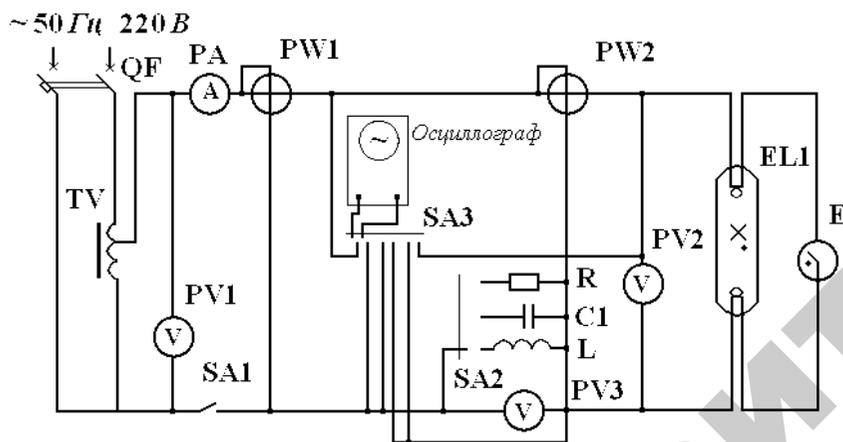


Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема экспериментального стенда для исследования схем включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления с использованием активного (R), емкостного (C) и индуктивного (L) балласта

2. По представленным на экспериментальном стенде натурным образцам и планшетам изучить устройство газоразрядных ламп низкого давления, пускорегулирующих аппаратов и элементов схем их включения в сеть. Технические параметры изучаемого оборудования представить по форме таблиц 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

Технические параметры газоразрядных ламп низкого давления

Наименование лампы	Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм	Габариты, мм	
					диаметр	длина

Таблица 3.2

Технические параметры пускорегулирующих аппаратов, применяемых для включения газоразрядных ламп низкого давления

Наименование	Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Ток, А	$\cos\varphi$	Габариты, мм		
						длина	ширина	высота

3. На экспериментальном стенде исследовать влияние вида балластного сопротивления (активного, индуктивного и емкостного) на параметры люминесцентной осветительной лампы и схемы ее включения. Результаты произведенных измерений записать по форме таблицы 3.3.

Таблица 3.3

Параметры люминесцентной лампы при использовании различного балластного сопротивления для стабилизации режима дугового разряда

Балластное сопротивление	Измерено										Вычислено			
	$U_{зс}, В$	$U_{зл}, В$	$U_{пл}, В$	$U_c, В$	$U_{л}, В$	$U_{б}, В$	$P, Вт$	$P_{л}, Вт$	$I, А$	$E_c, лк$	$\Phi_c, лм$	$\eta_c, лм \cdot Вт^{-1}$	$P_{б}, Вт$	$S, ВА$
Активное														
Индуктивное														
Емкостное														

Примечание. $U_{зс}, U_{зл}, U_{пл}$ – напряжения включения («зажигания») стартера, лампы и погасания лампы соответственно; $U_c, U_{л}, U_{б}$ – напряжения сети, на балластном сопротивлении и лампе; $P_{л}, P_{б}, P$ – мощности, потребляемые лампой, балластным сопротивлением и всей схемой включения; I – ток схемы включения; E_c – освещенность условной поверхности; Φ_c, η_c – световой поток и световая отдача лампы; $S, \cos\varphi$ – полная мощность и коэффициент мощности схемы включения лампы.

Напряжение питания схемы включения лампы задавать регулятором TV. Значения напряжений, тока и мощностей определять по показаниям соответствующих приборов PV и PA PW. Освещенность (E_C) в заданной точке измерять люксметром.

Напряжения зажигания и погасания лампы, а также зажигания стартера определить изменением величины напряжения питания от 0 до 240 В. Остальные характеристики определить при напряжении питания 220 В.

Балластные сопротивления включать в схему переключателем SA2.

4. По результатам измерений рассчитать потребляемую балластным сопротивлением мощность, световой поток и световую отдачу лампы, полную мощность и коэффициент мощности схемы включения. Результаты расчетов представить в соответствующих ячейках таблицы 3.3.

5. Установив регулятором TV (рис. 3.1) номинальное напряжение питания люминесцентной лампы (220 В), изучить влияние вида балластного сопротивления на форму напряжений на лампе и балластном сопротивлении. Форму изменения напряжений в сети, на лампе и балластном сопротивлении зарисовать с экрана осциллографа, подключая его переключателем SA3 на соответствующее напряжение.

6. По результатам произведенных измерений и вычислений проанализировать влияние вида балластного сопротивления на напряжения зажигания ($U_{3л}$) и погасания лампы ($U_{пл}$), мощности, потребляемые лампой ($P_л$) и балластным сопротивлением ($P_б$), световой поток (Φ_C) и световую отдачу (η_C) лампы, коэффициент мощности ($\cos\varphi$) схемы включения (табл. 3.3).

7. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

Вычисление приведенных в таблице 3.3 величин рекомендуется производить с использованием следующих формул:

1. Световой поток люминесцентной лампы:

$$\Phi_C = \frac{E_C \pi^2 L H_p}{\frac{\alpha \pi}{180} + \frac{\sin 2\alpha}{2}}, \quad (3.1)$$

где E_C – освещенность, создаваемая люминесцентной лампой на условной поверхности, лк;

L – длина люминесцентной лампы, м;
 H_p – ближайшее расстояние от люминесцентной лампы до условной поверхности, на которой измеряется освещенность, м;
 α – угол, под которым виден линейный излучатель с точки расчета, град.

Учитывая конструктивные параметры экспериментального стенда ($L = 0,9$ м; $H_p = 0,1$ м; $\alpha = 77,4^\circ$), световой поток лампы определим как $\Phi_C = 0,56E_C$.

2. Световая отдача лампы:

$$\eta_C = \Phi_C / P_{л}. \quad (3.2)$$

3. Мощность, теряемая в балластном сопротивлении:

$$P_б = P - P_{л}. \quad (3.3)$$

4. Полная мощность, потребляемая схемой включения люминесцентной лампы (лампой и балластным сопротивлением):

$$S = U_C I. \quad (3.4)$$

5. Коэффициент мощности схемы включения:

$$\cos\varphi = P/S. \quad (3.5)$$

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения об устройстве, обозначении и номенклатуре, основных параметрах и характеристиках газоразрядных ламп низкого давления и схемах их включения в сеть.
3. Технические параметры газоразрядных ламп низкого давления и пускорегулирующих аппаратов, применяемых для их включения (табл. 3.1 и 3.2).
4. Принципиальная электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.
5. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 3.3).
6. Результаты анализа и выводы о преимуществах (недостатках) использования балластных сопротивлений в соответствии с п. 6 указаний по выполнению работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета о лабораторной работе:

1. Поясните принцип действия газоразрядных ламп, виды электрического разряда в газах и парах металлов, условия его возникновения и стабилизации рабочего режима.

2. Как устроена люминесцентная лампа? Ее принцип действия, обозначение и номенклатура.

3. Перечислите преимущества и недостатки люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания, их основные электрические, светотехнические и эксплуатационные параметры.

4. Приведите осциллограммы мгновенных значений напряжения, тока и светового потока газоразрядной лампы при стабилизации разряда с использованием различных балластных сопротивлений (активное, индуктивное, емкостное) и по осциллограммам объясните порядок ее перезажигания и работы.

5. Расскажите о принципе работы известных Вам схем включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления, об используемой при этом пускорегулирующей аппаратуре, о путях ее совершенствования.

6. Поясните структуру шифра условного обозначения пускорегулирующих аппаратов для люминесцентных ламп.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВОТТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ИХ РАЗГОРАНИИ

Цель работы. Изучить устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру, основные параметры и характеристики, схемы включения в сеть газоразрядных ламп высокого давления.

Задачи работы:

1. Изучить устройство и принцип действия, обозначение и номенклатуру газоразрядных ламп высокого давления, работу схем их включения в сеть и используемую при этом пускорегулирующую аппаратуру.

2. Исследовать изменение электрических и светотехнических параметров газоразрядных ламп высокого давления в период их разгорания.

3. Исследовать зависимости электрических и светотехнических параметров газоразрядных ламп высокого давления от величины напряжения питания.

Общие сведения. Устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные параметры и характеристики газоразрядных ламп высокого давления, схемы включения в сеть и используемую при этом пускорегулирующую аппаратуру изучить по рекомендованной литературе и изложенному в Приложении 5 теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в Приложении 5 и рекомендуемой литературе, изучить:

– устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру, основные параметры и характеристики газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ;

– схемы включения в сеть газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ, их работу; устройство, номенклатуру и характеристики применяемой для этих целей пускорегулирующей аппаратуры.

Таблица 4.1

2. В соответствии с требованиями приведенного ниже раздела «Содержание отчета» подготовить макет отчета о лабораторной работе, в котором привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре, основным параметрам и характеристикам изученных газоразрядных ламп высокого давления, схему стенда для проведения их исследований, формы таблиц для регистрации их параметров, результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство стенда для исследования изменения электрических и светотехнических параметров газоразрядных ламп высокого давления в период их разгорания и зависимости их электрических и светотехнических параметров от величины напряжения питания (рис. 4.1).

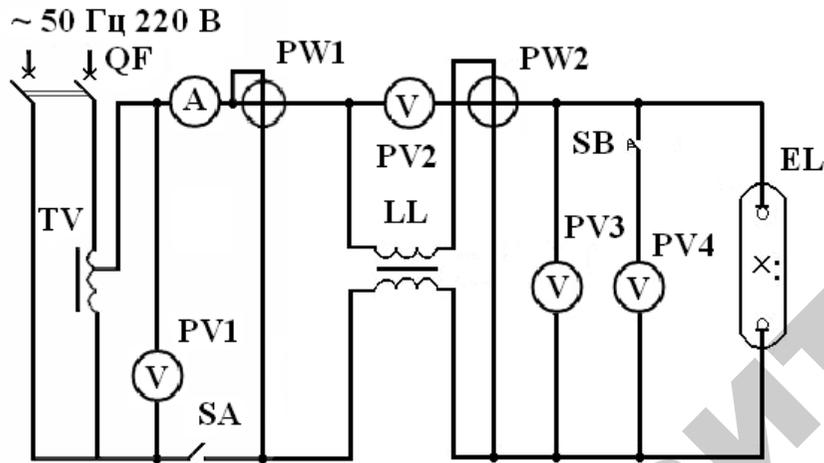


Рис. 4.1. Принципиальная электрическая схема стенда для исследования изменения электрических параметров газоразрядных ламп высокого давления при включении

2. По представленным на экспериментальном стенде натурным образцам и планшетах ознакомиться с устройством газоразрядных ламп высокого давления, пускорегулирующих аппаратов и элементов схем включения. Технические параметры изучаемых ламп записать в таблицу 4.1.

Технические параметры газоразрядных ламп высокого давления

Тип лампы	Номинальная мощность, Вт	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Световой поток, лм	Номинальный срок службы, ч	Габариты, мм		Тип цоколя
						диаметр колбы	длина	

3. Установить напряжение 220 В и поочередно включить указанные преподавателем лампы в сеть. По установленным на стенде приборам через каждые 30 секунд с момента включения лампы измерять исследуемые электрические и светотехнические параметры. Измерение напряжения на лампе в начальный момент включения осуществлять вольтметром PV4, подключая его через кнопку SB. Результаты измерений записать в соответствующие ячейки таблицы 4.2.

Таблица 4.2

Изменение электрических и светотехнических параметров газоразрядной лампы высокого давления при разгорании

Тип лампы	Измерено							Вычислено				
	t, c	$P, Вт$	I, A	$U_B, В$	$U_L, В$	$P_L, Вт$	$E_C, лк$	$\Phi_C, лм$	$\eta_C, лм \cdot Вт^{-1}$	$S, ВА$	$P_B, Вт$	$\cos\phi$
	0											
	30											
	60											
	...											
	420											

Примечание. t – время; U_C – напряжение сети; P, I – потребляемая мощность и ток схемы включения; U_B, U_L – напряжения на лампе и балластном сопротивлении (дросселе); E_C – освещенность условной поверхности; Φ_C, η_C – световой поток лампы и световая отдача лампы; $S, \cos\phi$ – полная мощность и коэффициент мощности схемы включения лампы; P_B – мощность, теряемая в дросселе.

4. После разгорания лампы (примерно через 5–7 мин после включения) изменить автотрансформатором подаваемое на схему напряжение и по достижению установившегося режима работы (примерно через 2–4 мин) измерять исследуемые электрические и светотехнические параметры при заданном напряжении. Результаты измерений записать в соответствующие ячейки таблицы 4.3.

Таблица 4.3

Влияние отклонения напряжения сети на параметры лампы и схемы включения

Тип лампы	Измерено							Вычислено				
	$U_C, В$	$P, Вт$	$I, А$	$U_B, В$	$U_L, В$	$P_L, Вт$	$E_C, лк$	$\Phi_C, лм$	$\eta_C, лм \cdot Вт^{-1}$	$S, ВА$	$P_B, Вт$	$\cos\varphi$
	240											
	230											
	220											
	210											
	200											
	190											
	180											

См. примечание к табл. 4.2.

5. По результатам измерений рассчитать световой поток и световую отдачу лампы, потребляемую балластным сопротивлением мощность, полную мощность и коэффициент мощности схемы включения. Результаты расчетов представить в соответствующих ячейках таблиц 4.2 и 4.3.

6. По результатам вычислений построить графические зависимости изменения:

– напряжений на лампе (U_L) и дросселе (U_B), мощностей, потребляемых схемой включения (P) и лампой (P_L), тока (I) и светового потока лампы (Φ_C) в период разгорания лампы (t);

– мощностей, потребляемых схемой включения (P), лампой (P_L) и дросселем (P_B), тока (I), светового потока (Φ_C) и световой отдаче (η_C) лампы и коэффициента мощности ($\cos\varphi$) от величины напряжения питающей сети (U_C).

7. Проанализировать полученные результаты измерений, расчетов и построенных графических зависимостей и по результатам анализа сделать выводы о характере и количественных показателях изменения электрических и светотехнических параметров лампы и элементов схемы ее включения в сеть при разгорании и изменении величины питающего напряжения.

8. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

Вычисление приведенных в таблицах 4.2 и 4.3 расчетных величин рекомендуется производить по следующим формулам:

1. Световой поток исследуемой лампы Φ_C , лм:

$$\Phi_C = 4\pi l^2 K E_C, \quad (4.1)$$

где $l = 1$ – расстояние от лампы до точки измерения освещенности, м;
 K – коэффициент, учитывающий пространственное распределение светового потока (для лабораторной установки принять равным для ламп типа: ДРЛ – 0,35; ДРИ – 0,2; ДНаТ – 0,29);
 E_C – значение освещенности в точке измерения, лк.

2. Световая отдача лампы:

$$\eta_C = \Phi_C / P_L. \quad (4.2)$$

3. Полная мощность, потребляемая лампой и элементами схемы ее включения:

$$S = U_C I. \quad (4.3)$$

4. Мощность, теряемая в балластном сопротивлении:

$$P_B = P - P_L. \quad (4.4)$$

5. Коэффициент мощности схемы включения:

$$\cos\varphi = P/S. \quad (4.5)$$

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения об устройстве, обозначении и номенклатуре, основных характеристиках газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ и схемах их включения в сеть.
3. Технические параметры газоразрядных ламп (табл. 4.1).
4. Принципиальная электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.

5. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 4.2 и 4.3).
6. Графические зависимости, результаты анализа и выводы в соответствии с пп. 6 и 7 методических указаний по выполнению работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета о лабораторной работе:

1. Поясните принцип действия газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ, ДНаТ.
2. Расскажите об устройстве, обозначении, номенклатуре и основных параметрах газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ (двухэлектродной и четырехэлектродной), ДРИ, ДНаТ.
3. Приведите основные электрические, светотехнические и эксплуатационные характеристики и области применения газоразрядных ламп высокого давления типа ДРЛ, ДРИ, ДРТ.
4. Поясните работу известных Вам схем включения ламп ДРЛ в сеть. Объясните структуру обозначения электромагнитных пускорегулирующих аппаратов, применяемых для управления их работой.
5. Поясните работу известных Вам схем включения газоразрядных ламп ДРИ и ДНаТ в сеть. Укажите номенклатуру и характеристики применяемой для их включения пускорегулирующей аппаратуры, принцип работы зажигающих устройств на примере УИЗУ и ИЗУ.
6. Разъясните структуру условного обозначения пускорегулирующих аппаратов для газоразрядных ламп высокого давления.
7. Почему повторный пуск газоразрядной лампы высокого давления возможен только после ее остывания?
8. Как влияет колебание напряжения питания на основные характеристики газоразрядных ламп высокого давления?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ
ВИДИМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Цель работы. Экспериментально определить световую отдачу, исследовать ее зависимость от изменения питающего напряжения и проанализировать энергоэффективность применения в осветительных установках существующих источников.

Задачи работы:

1. Экспериментально определить значения номинальной световой отдачи источников.
2. Исследовать влияние колебания питающего напряжения на изменение световой отдачи источников.
3. Проанализировать энергоэффективность использования в осветительных установках источников видимого излучения.

Общие сведения. Устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные параметры и характеристики источников видимого излучения, применяемых в осветительных установках, изучить по рекомендованной литературе и изложенному в Приложениях 3–6 теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в Приложении 6 и рекомендуемой литературе, изучить принцип действия, устройство, обозначение, номенклатуру, основные характеристики и схемы включения светодиодов и индукционных ламп.
2. По теоретическому материалу, приведенному в Приложениях 3–5 и рекомендуемой литературе, повторить материал об устройстве, основных характеристиках и схемах включения ламп накаливания, люминесцентных ламп и ламп типа ДРЛ, ДРИ и ДНаТ.
3. В соответствии с требованиями приведенного ниже раздела «Содержание отчета» подготовить макет отчета о лабораторной работе, в котором привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, обозначении и основных характеристиках светодиодов и индукционных ламп, схему стенда для определения световой отдачи, формы таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство стенда для определения световой отдачи источников видимого излучения и ее зависимости от значения питающего напряжения. Принципиальная электрическая схема стенда приведена на рисунке 5.1.

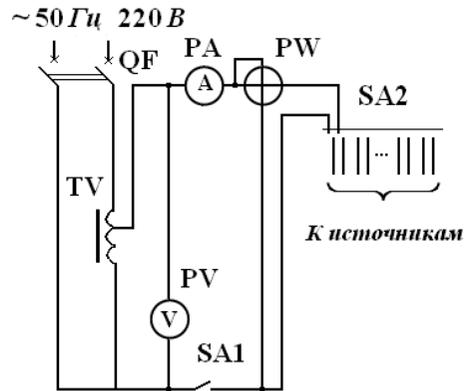


Рис. 5.1. Принципиальная электрическая схема экспериментального стенда для определения световой отдачи источников и исследования ее зависимости от значения питающего напряжения

2. По представленным в лаборатории натурным образцам, платам и планшетам ознакомиться с устройством и схемами включения светодиодов и индукционных ламп².

Технические параметры изучаемых и исследуемых источников видимого излучения представить по форме таблицы 5.1.

3. На экспериментальном стенде для заданных преподавателем источников видимого излучения и значений напряжения (180–240 В) определить³ потребляемые ими мощность (P , Вт) и ток (I , А), создаваемую ими освещенность (E_c , лк) в заданной точке поверхности. Результаты измерений представить по форме таблицы 5.2.

² Ознакомление с устройством и схемами включения других источников видимого излучения (лампы накаливания, люминесцентные, включая компактные, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) осуществляется при выполнении лабораторных работ №№ 2–4.

³ Для ламп накаливания, люминесцентных, ДРЛ, ДРИ и ДНаТ указанные в таблице 5.2 параметры могут быть приняты по результатам выполнения лабораторных работ №№ 2–4.

Номинальные технические параметры источников видимого излучения

Наименование ламп	Тип	Номинальная мощность, Вт	Напряжение питания, В	Световой поток, лм	Габариты, мм	
					диаметр	длина
Лампа накаливания						
Люминесцентная лампа						
Компактная люминесцентная лампа						
Лампа ДРЛ						
Лампа ДРИ						
Лампа ДНаТ						
Индукционная лампа						
Светодиод						

Напряжение питания схемы включения ламп задавать регулятором напряжения TV, величины напряжения, тока и потребляемой активной мощности определить по показаниям соответствующих приборов PV, PA и PW, освещенность (E_c) в заданной точке измерять люксметром Ю-116 (ТКА-ПКМ/31).

4. По результатам измерений определить световой поток (Φ_c , лм) и световую отдачу (η_c , лм · Вт⁻¹) исследуемых ламп. Результаты вычислений занести в таблицу 5.2.

5. По результатам измерений и вычислений для заданных преподавателем ламп представить графические зависимости изменения потребляемой мощности (P), тока (I), светового потока (Φ_c) и световой отдачи (η_c) от напряжения питания (U_c).

6. По световой отдаче источников (табл. 5.2) провести анализ и сделать выводы об энергоэффективности (экономии электрической энергии) при замене в осветительной установке:

- ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы и лампы со светодиодами;
- светильников с лампами накаливания на светильники с люминесцентными лампами, лампами ДРЛ, ДРИ и ДНаТ, лампами со светодиодами, индукционными лампами;

– светильников с люминесцентными лампами на светильники с индукционными лампами;

– светильников с лампами ДРЛ на светильники с лампами ДРИ и ДНаТ.

Таблица 5.2

Технические параметры исследуемых источников видимого излучения при различном напряжении питания

Исследуемые источники		Измерено				Вычислено	
наименование	тип	U_C , В	I , А	P , Вт	E_C , лк	Φ_C , лм	η_C , лм · Вт ⁻¹
		180					
		200					
		220					
		240					
...							
		180					
		200					
		220					
		240					

7. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

Вычисление приведенных в таблице 5.2 расчетных величин рекомендуется производить с использованием следующих формул:

1. Световой поток лампы:

$$\Phi_C = KE_C, \quad (5.1)$$

где K – переводной коэффициент⁴, лм/лк;

E_C – освещенность, создаваемая лампой в точке размещения первичного преобразователя люксметра на лабораторном стенде, лк.

2. Световая отдача лампы с учетом потерь мощности в пускорегулирующем аппарате (при ее наличии):

$$\eta_C = \Phi_C / P. \quad (5.2)$$

⁴ Экспериментально определенное значение коэффициента K , учитывающее конструктивные особенности условий измерения, приведено на лабораторном стенде.

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.

2. Краткие сведения об устройстве, обозначении и номенклатуре, основных характеристиках светодиодов и индукционных ламп и схемах их включения в сеть.

3. Номинальные технические параметры источников видимого излучения, применяемых в осветительных установках (табл. 5.1).

4. Принципиальная электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.

5. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 5.2).

6. Графические зависимости изменения потребляемой мощности, тока, светового потока и световой отдачи от напряжения питания в соответствии с п. 5 методических указаний по выполнению работы.

7. Выводы об энергоэффективности источников в соответствии с п. 6 методических указаний по выполнению работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета о лабораторной работе:

1. Как устроена индукционная лампа? Ее принцип действия, обозначение и номенклатура.

2. Перечислите преимущества и недостатки индукционных ламп по сравнению с люминесцентными лампами, параметры их основных электрических, светотехнических и эксплуатационных характеристик.

3. Поясните принцип действия светодиодов и расскажите об их устройстве, основных параметрах и характеристиках, схемах включения в сеть.

4. Как влияет отклонение питающего напряжения от номинального значения на электрические, светотехнические и эксплуатационные параметры исследованных Вами ламп?

5. Назовите примерную величину экономии электрической энергии в осветительных установках при замене в них:

– ламп накаливания на люминесцентные лампы, включая компактные, лампы ДРЛ, ДРИ и ДНаТ, светодиодные лампы;

– люминесцентных ламп на лампы ДРЛ, ДРИ и ДНаТ, светодиодные лампы;

– ламп ДРЛ на лампы ДРИ и ДНаТ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Цель работы. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и основные характеристики осветительных приборов, методику определения их светотехнических параметров.

Задачи работы:

1. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и основные характеристики представленных в лаборатории осветительных приборов.

2. Экспериментально определить распределение светового потока светильников в нижнюю и верхнюю полусферы, их класс светораспределения, форму КСС и КПД.

3. По результатам исследований классифицировать светильники по светотехническим характеристикам и условиям защиты от окружающей среды, привести их условное обозначение в соответствии с общепринятой [1, 3, 5–9] структурой.

4. Экспериментально определить равномерность освещенности рабочей поверхности, создаваемой целевым световодом.

Общие сведения. Устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные характеристики светильников изучить по рекомендованной литературе и изложенному в Приложении 7 теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в Приложении 7 и рекомендуемой литературе, изучить:

– устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные характеристики светильников;

– методику определения основных характеристик светильников (светового потока в нижнюю и верхнюю полусферы, класса светораспределения, формы КСС и КПД) и их классификации по светотехническим параметрам;

– структуру условного обозначения светильников.

2. В соответствии с требованиями подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета о лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы,

устройстве, обозначении и основных характеристиках светильников, схему экспериментального стенда для проведения исследований, формы таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство экспериментального стенда для определения светового потока светильников, класса их светораспределения, формы КСС и КПД (рис. 6.1).

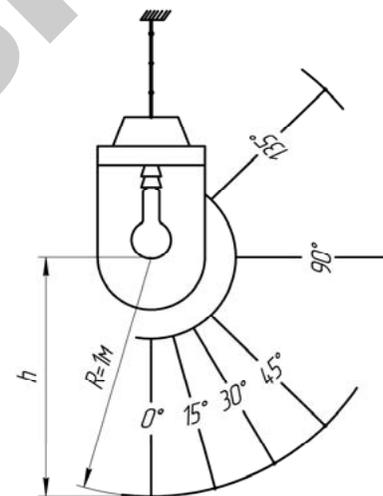


Рис. 6.1. Схема экспериментальной установки

2. По представленным в лаборатории натурным образцам ознакомиться с устройством, принципом действия, обозначением и основными характеристиками осветительных приборов. Результаты ознакомления с устройством светильников представить по форме таблицы 6.1.

3. На лабораторном экспериментальном стенде исследовать светораспределение заданных преподавателем светильников. Для чего исследуемые светильники подвесить в затемненном пространстве на высоте $h = 1\text{ м}$ над фотоэлементом люксметра на специально предназначенной для этой цели конструкции. Включить светильник в сеть на напряжение, равное номинальному напряжению примененного в нем источника.

Таблица 6.1

Основные характеристики конструкции осветительных приборов

Наименование осветительного прибора	Тип осветительного прибора	Источник света		Выполнение, материал			Наличие уплотнения	
		тип	кол-во	корпус	рассеиватель	отражатель	токоподводящего устройства	между отражателем и рассеивателем

Перемещая при помощи специального рычага фотоэлемент люксметра вокруг светильника по окружности радиусом $r = 1$ м, измерить в заданных точках пространства создаваемую светильником освещенность. Результаты измерений записать в таблицу 6.2.

Таблица 6.2

Распределение светового потока светильника в пространстве

Измерено		Вычислено
Угол направления (измерения) света α , град.	Освещенность E_{α} , лк	Сила света I_{α} , кд
0°		
5°		
15°		
25°		
...		
180°		

4. По результатам измерений рассчитать силу света I_{α} в исследуемых точках пространства, световой поток в нижнюю Φ_{\downarrow} и верхнюю Φ_{\uparrow} полусферы и КПД светильника. Результаты расчетов записать в соответствующие ячейки таблиц 6.2–6.4.

5. По результатам расчетов (табл. 6.2) построить кривые силы света для исследованных светильников $I_{\alpha} = f(\alpha)$.

Таблица 6.3

Распределение светового потока светильника в нижнюю и верхнюю полусферы

Параметры	Угол направления света, град.							
	Нижняя полусфера				Верхняя полусфера			
	0–10	10–20	...	80–90	90–100	100–110	...	170–180
Световой поток в телесном угле, лм								
Световой поток в нижнюю и верхнюю полусферы, лм								
Световой поток светильника Φ_{Σ} , лм								
Световой поток лампы в светильнике $\Phi_{\text{л}}$, лм								
КПД светильника, %								

Примечание. Световой поток лампы в светильнике определить по каталогу.

Таблица 6.4

Классификация исследованных светильников

Условное обозначение светильника	Класс по светораспределению	Типовая кривая силы света	Защитный угол	КПД, %	Степень защиты	
					от пыли	от влаги

6. По результатам ознакомления с устройством (п. 2) классифицировать исследованные светильники и привести их условное обозначение. Результаты представить по форме таблицы 6.4.

7. Исследовать равномерность освещенности, создаваемой щелевым световодом на расчетной поверхности (рис. 6.2). Для чего включить КОУ в сеть и после разгорания лампы (примерно через 5 минут), перемещая фотоэлемент по заданной преподавателем поверхности под КОУ, измерить в заданных точках создаваемую им освещенность.

После чего измерить освещенность в заданных точках (фоновую освещенность) при отключенной осветительной установке. Результаты измерений записать в таблицу 6.5 и по ним рассчитать освещенность на расчетной поверхности, создаваемую осветительной

установкой. Построить кривую распределения освещенности на расчетной поверхности $E = f(l)$.

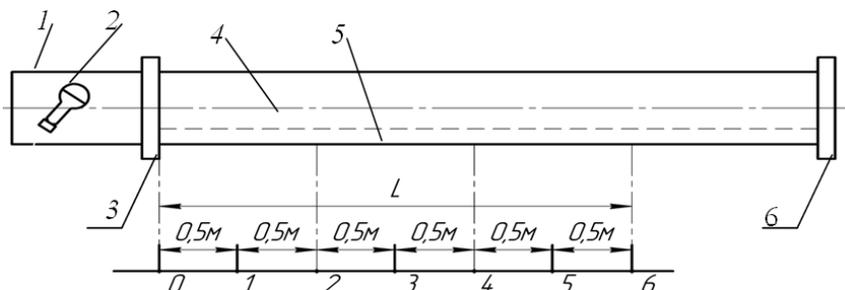


Рис. 6.2. Конструкция комплекта осветительного устройства со щелевым световодом со схемой проведения измерений:

1 – камера; 2 – кассета с источниками света; 3 – переходной элемент с прозрачными стеклами; 4 – световой канал световода; 5 – оптическая щель канала; 6 – торцевое устройство

Таблица 6.5

Распределение освещенности от КОУ на расчетной поверхности

Расстояние от начала проекции щелевода l , м	Измерено		Вычислено
	Освещенность при включенном КОУ E_C , лк	Освещенность при отключенном КОУ E_E , лк	Освещенность, создаваемая КОУ E , лк
0			
0,5			
1,0			
...			
и т. д.			

8. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

Вычисление приведенных в таблицах 6.2–6.5 расчетных величин рекомендуется производить с использованием следующих формул:

1. Сила света в заданном направлении:

$$I_\alpha = \frac{E_\alpha l_i}{\cos \beta}, \quad (6.1)$$

где l_i – расстояние от светильника до фотоэлемента люксметра, м;

β – угол между нормалью к поверхности фотоэлемента люксметра и направлением силы света.

Поскольку для экспериментального стенда параметры $\beta = 0$ и $l_i = h = 1$ м, то при расчете принять $I_\alpha = E_\alpha$.

2. Коэффициент полезного действия светильника η :

$$\eta = \frac{\Phi}{\Phi_L} = \frac{\Phi_U + \Phi_\Gamma}{\Phi_L}, \quad (6.2)$$

Значения Φ_U , Φ_Γ и Φ_L принимаются по данным таблицы 6.3.

3. Световой поток в телесном угле, ограниченном меридианным углом $\Delta\alpha = \alpha_i - \alpha_{i-1}$:

$$\Phi_{\Delta\alpha} = I_{\alpha_i - \alpha_{i-1}} \omega_{\alpha_i - \alpha_{i-1}}, \quad (6.3)$$

где $\omega_{\alpha_i - \alpha_{i-1}}$ – телесный угол, соответствующий меридианному углу.

Принять по данным учебного пособия [8, Приложение 2].

4. Световой поток в нижнюю и верхнюю полусферы:

$$\Phi_U = I_5 \omega_{0-10} + I_{15} \omega_{10-20} + \dots + I_{75} \omega_{70-80} + I_{85} \omega_{80-90}, \quad (6.4)$$

$$\Phi_\Gamma = I_{95} \omega_{90-100} + I_{105} \omega_{100-120} + \dots + I_{165} \omega_{160-170} + I_{175} \omega_{170-180}. \quad (6.5)$$

5. Типовую кривую силы света светильников найти путем построения экспериментальной кривой по данным таблицы 6.2, ее пересчета на световой поток 1000 лм и сравнения со стандартными кривыми, представленными на стенде лабораторной работы и в пособии [8, рис. 4.1 и Приложение 9].

6. Защитный угол светильника γ определяется по результатам измерений геометрических размеров светильника и расчета по формуле (П7.2) (Приложение 7).

7. Освещенность, создаваемую КОУ на расчетной поверхности, по полученным результатам измерений (табл. 6.5) определить по формуле:

$$E = E_C - E_E. \quad (6.6)$$

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения об устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре и основных характеристиках светильников, методике определения их основных характеристик и классификации.

3. Конструктивная схема экспериментального лабораторного стенда.

4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 6.1–6.5).

5. Графические зависимости:

– кривые силы света исследованных светильников $I_{\alpha} = f(\alpha)$;

– распределения освещенности, создаваемой КОУ на расчетной поверхности $E = f(l)$.

6. Выводы по результатам проделанной работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета о лабораторной работе:

1. Какие световые приборы относят к классу светильников (пржекторов, комплектных осветительных устройств). Приведите их определение?

2. Приведите анализ основных преимуществ и недостатков исполнения осветительных установок с применением светильников, прожекторов и комплектных осветительных устройств в их сопоставлении.

3. Перечислите основные светотехнические характеристики светильников. Поясните их физический смысл и назначение. Приведите методику и расчетные формулы их определения.

4. Поясните методику экспериментального определения кривой силы света светильников. Какие основные расчетные формулы светотехники при этом используются?

5. Как определяются световой поток и класс светораспределения светильников при известной кривой распределения силы света?

6. Каким образом экспериментальным путем можно определить КПД светильника? Приведите методику и используемые при этом расчетные формулы.

7. Каковы, на Ваш взгляд, основные пути совершенствования световых приборов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы. Изучить основные качественные показатели осветительных установок и освоить методику экспериментального определения коэффициента использования светового потока и добавочной освещенности в лабораторных условиях.

Задачи работы:

1. Освоить методику экспериментального определения качественных показателей освещенности рабочей поверхности действующей осветительной установки.

2. Определить освещенность, создаваемую осветительной установкой на горизонтальной поверхности макета бытового помещения, построить кривые изолюкс и получить расчетное значение коэффициента неравномерности освещенности.

3. Определить коэффициенты добавочной освещенности и использования светового потока осветительной установки макета помещения и оценить влияние на них окраски поверхностей (стен, потолка, пола).

Общие сведения. Нормативные качественные показатели осветительных установок, физический смысл коэффициентов использования светового потока, неравномерности освещенности и добавочной освещенности изучить по рекомендованной литературе и изложенному в Приложении 8 теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в Приложении 8 и рекомендуемой литературе, изучить нормативные требования к качественным показателям осветительных установок (коэффициентам пульсации и неравномерности освещенности, показателям ослепленности, дискомфорта и цилиндрической освещенности), их физический смысл и влияние на зрительную работоспособность работающих в помещении.

2. В соответствии с требованиями подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета о лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, качественных показателях осветительных установок, схему эксперимен-

тального стенда для проведения исследований, формы таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство экспериментального стенда, приборов и оборудования для определения коэффициентов использования светового потока, неравномерности освещенности и добавочной освещенности (рис. 7.1).

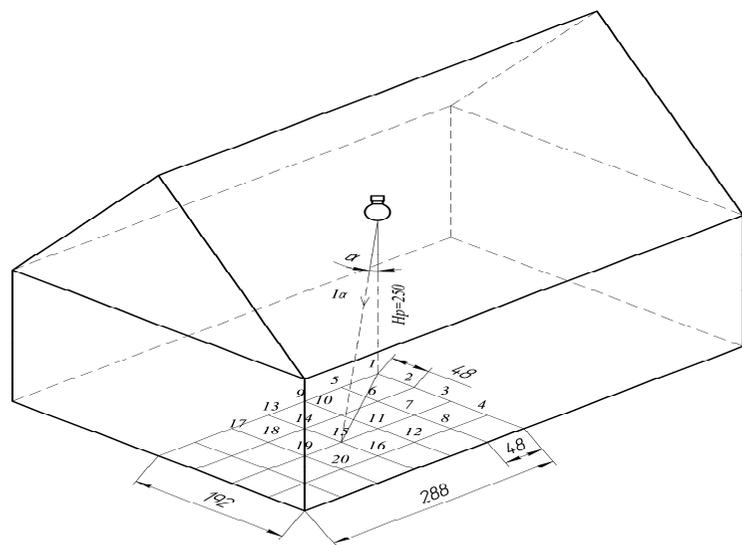


Рис. 7.1. Месторасположение контрольных точек на макете помещения

2. В заданных преподавателем контрольных точках горизонтальной поверхности на уровне пола макета помещения люксметром произвести замеры освещенности. При симметричном расположении светильника относительно продольной и поперечной осей замеры достаточно произвести только в одной четверти макета помещения. Результаты измерений представить по форме таблицы 7.1.

Все измерения повторить при другой окраске потолка, стен и рабочей поверхности, для чего в макете предварительно изменить их облицовку (окраска поверхностей белой и черной красками).

Соединив точки с одинаковыми значениями освещенности для обоих вариантов измерений, построить кривые горизонтальных изолюкс на уровне пола для всего макета помещения.

Таблица 7.1

Результаты измерения освещенности в контрольных точках горизонтальной поверхности пола макета помещения

Окраска (цвет): потолка, стен и рабочей поверхности	Черная поверхность				Белая поверхность			
	1	2	3	4	1	2	3	4
	5	6	7	8	5	6	7	8
<u>Номер контрольной точки</u>	9	10	11	12	9	10	11	12
<u>Освещенность, лк</u>								
	13	14	15	16	13	14	15	16
	17	18	19	20	17	18	19	20
Среднее значение освещенности, лк								
Коэффициент неравномерности освещения								

3. Воспользовавшись приведенной на рисунке 7.2 кривой распределения силы света установленного в макете светового прибора, вычислить по формуле (7.1) значение освещенности $E_{p,п}$ в заданных преподавателем контрольных точках и по формуле (7.2) определить значение коэффициента добавочной освещенности μ .

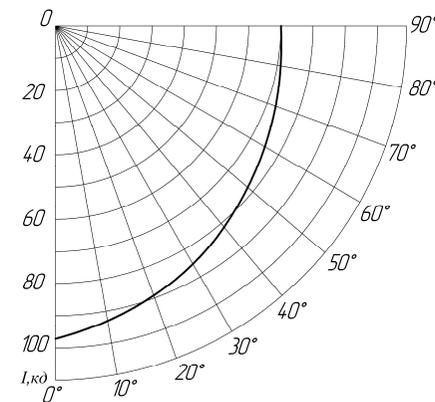


Рис. 7.2. Кривая распределения силы света светового прибора в макете помещения

4. Изобразить график зависимости коэффициента добавочной освещенности в контрольных точках от расстояния l между ними и стенкой $\mu = f(l)$.

5. По среднему значению освещенности горизонтальной поверхности пола макета помещения $E_{\text{ср}}$ (табл. 7.1) определить коэффициент использования светового потока η осветительной установки макета помещения по формулам (7.3, 7.4). При расчетах площадь освещаемой поверхности принять равной $0,576 \cdot 0,384 = 0,2212 \text{ м}^2$.

6. С помощью пульсметра измерить коэффициенты пульсации освещенности, создаваемые различными источниками оптического излучения (лампами накаливания, люминесцентными лампами, лампами ДРЛ, ДРИ и ДНаТ) на рабочих поверхностях лабораторных столов. Результаты измерений представить по форме таблицы 7.2.

Таблица 7.2

Результаты измерения коэффициентов пульсации освещенности рабочих поверхностей

Рабочая поверхность учебной лаборатории		Рабочая поверхность лабораторных столов при освещении лампами			
измерено	нормированное значение	накаливания	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ

7. По результатам измерений сравнить полученное значение коэффициента пульсации освещенности с допустимыми по ТКП 45-2.04-153-2009⁵ и сделать вывод о соответствии осветительной установки нормативным требованиям.

8. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Методика вычислений:

Вычисление значений освещенности $E'_{\text{р.п}}$ в контрольных точках, коэффициентов добавочной освещенности μ и использования светового потока η рекомендуется производить с использованием следующих формул:

1. Освещенность $E'_{\text{р.п}}$ в контрольной точке горизонтальной поверхности:

$$E'_{\text{р.п}} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{H_{\text{р}}^2}, \quad (7.1)$$

где I_{α} – сила света светового прибора в направлении контрольной точки, кд;

α – угол между направлением силы света I_{α} и осью симметрии светового прибора, град.;

$H_{\text{р}}$ – высота подвеса светового прибора над уровнем пола макета помещения, м.

2. Коэффициент добавочной освещенности μ в контрольной точке:

$$\mu = \frac{E}{E'_{\text{р.п}}}, \quad (7.2)$$

где E – определенная экспериментальным путем освещенность в контрольной точке, лк.

3. Коэффициент использования светового потока η :

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{р.п}}}{\Phi_{\text{ист}}}, \quad (7.3)$$

где $\Phi_{\text{ист}}$ – световой поток осветительного прибора, определенный по справочным данным для данного типа источника, лм;

$\Phi_{\text{р.п}}$ – световой поток, достигший рабочей поверхности, лм, определяемый как:

$$\Phi_{\text{р.п}} = E_{\text{ср}} S, \quad (7.4)$$

где $E_{\text{ср}}$ – среднее значение освещенности горизонтальной поверхности пола макета помещения, лк;

S – площадь горизонтальной поверхности пола макета помещения, м^2 .

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.

2. Краткие сведения об основных качественных показателях осветительных установок и методике экспериментального определения в лабораторных условиях коэффициентов использования светового потока, добавочной освещенности и пульсации освещенности.

⁵ Лаборатория относится к III разряду зрительной работы с нормированной освещенностью на горизонтальной плоскости 0,8 м от пола, равной 300 лк. Допустимое значение коэффициента пульсации освещенности равно при системах освещения: общее – 15 %; комбинированное – 20 % от системы общего освещения и 15 % от системы местного освещения.

3. Конструктивная схема экспериментального лабораторного стенда.

4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 7.1 и 7.2).

5. Графические зависимости:

– коэффициента добавочной освещенности в контрольных точках от расстояния l между ними и стенкой $\mu = f(l)$;

– кривых горизонтальных изолукс на уровне пола макета помещения.

6. Выводы по результатам проделанной работы.

Вопросы для подготовки к защите отчета о лабораторной работе:

1. Какие нормируемые ТКП 45-2.04-153-2009 качественные показатели освещенной рабочей поверхности Вы знаете? Поясните их физический смысл и влияние на зрительную работоспособность работающих в помещении.

2. К каким нежелательным ситуациям может привести увеличение коэффициента пульсации освещенности рабочей поверхности? Какими приборами его можно определить?

3. Как оценивается и учитывается коэффициент неравномерности освещенности? Какие основные факторы влияют на его значение?

4. Что характеризует коэффициент использования светового потока осветительной установки? Какие основные факторы влияют на его значение?

5. Как учитывается отраженная составляющая падающего на рабочую поверхность светового потока осветительной установки при точечном методе расчета?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Цель работы. Изучить способы и схемные решения, применяемые для управления установками искусственного освещения, конструкцию и принципы действия электротехнических устройств для их реализации.

Задачи работы:

1. Ознакомиться с устройством, принципами действия и подготовкой к работе устройств, применяемых для управления осветительными установками – реле времени; фотореле; светочувствительные автоматические выключатели; автоматические выключатели с датчиками присутствия, движения и фотоакустическими таймерами.

2. Изучить принципы и применяемые на практике схемные решения ступенчатого регулирования освещенности рабочей поверхности.

3. Изучить способы и устройства, применяемые для плавного регулирования светового потока источников оптического излучения.

4. Исследовать влияние амплитудного, фазового и частотного способов регулирования светового потока источников на изменение светотехнических и электрических параметров ламп накаливания и люминесцентных ламп. Определить область применения указанных способов регулирования светового потока источников.

Общие сведения. Способы и схемные решения, применяемые для управления установками искусственного освещения, конструкцию и принципы действия электротехнических устройств для их реализации изучить по рекомендованной литературе и изложенному в Приложении 9 теоретическому материалу.

Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы:

1. По теоретическому материалу, приведенному в Приложении 9 и рекомендуемой литературе, и натурным образцам изучить:

– устройство, принцип действия и основные характеристики устройств, применяемых для управления осветительными установками, – реле времени; фотореле; светочувствительные автоматические выключатели; автоматические выключатели с датчиками присутствия, движения и фотоакустическими таймерами;

– способы и схемные решения ступенчатого регулирования освещенности рабочей поверхности;

– способы плавного регулирования светового потока источников, их достоинства и недостатки;

– работу принципиальной схемы тиристорного регулятора напряжения и преобразователя частоты.

2. В соответствии с требованиями подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета о лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, принципе действия и основных параметрах изучаемых в работе электротехнических устройств, принципиальные схемы ступенчатого и плавного регулирования освещенности, принципиальную схему стенда для проведения исследований, формы таблиц для регистрации результатов измерений.

Методические указания по выполнению работы:

1. Изучить устройство экспериментального стенда для проведения исследований способов ступенчатого и плавного регулирования освещенности, влияние амплитудного, фазового и частотного способов регулирования светового потока источников на изменение светотехнических и электрических параметров ламп накаливания и люминесцентных ламп.

2. По представленным на экспериментальном стенде образцам изучить устройство, принцип действия и основные характеристики устройств, применяемых для управления осветительными установками:

2.1. *Фотореле ФР-75.* Произвести его настройку на требуемый уровень освещенности. Для этого, установив датчик люксметра в измеряемой точке и изменяя напряжение на источнике света, добиться требуемой освещенности. Снять крышку фотореле. Подать питание на фотореле. Установить в измеряемую точку фоторезистор фотореле и, изменяя сопротивление резистора, добиться четко срабатывания фотореле при заданной освещенности.

2.2. *Реле времени 2РВМ.* Проверить правильность регулировки рычагов микропереключателей. Для этого повернуть по часовой стрелке программный диск, микропереключатели должны надежно включаться. Регулирующими штифтами на программном диске установить различное время срабатывания микропереключателей. Вращением программного диска установить время суток по часовой и минутной шкалам. Включить часовой механизм, освободив стопор анкерного механизма. Закрыть крышку реле времени.

Включить питание 2РВМ, опробовать работу реле. Определить интервал времени между срабатываниями микропереключателей.

2.3. *Программное реле управления светом ПРУС-1.* Проверить правильность регулировки рычагов микропереключателей. Для этого повернуть по часовой стрелке барабан, микропереключатели должны надежно включаться. Регулирующими гайками установить рычаги на различное время срабатывания микропереключателей. Установить требуемую продолжительность светового дня и время суток. Включить часовой механизм, освободив штопор анкерного механизма. Закрыть крышку блока управления. Включить питание ПРУС-1, опробовать его работу в ручном и автоматическом режимах. Определить интервал времени между срабатываниями микропереключателей.

2.4. *Электронное программируемое астрономическое реле времени РСЗ-524 (РСЗ-525).* Подключить схему управления осветительной установкой электронным программируемым астрономическим реле времени (рис. 8.1а). Произвести настройки программы реле, включая установки: даты; текущего времени; режима dSt (OFF – отключено); часового пояса; географических координат или кода местности; времени включения (отключения) относительно времени захода (восхода) солнца; времени отключения (включения) в ночное время суток (Приложение 9).

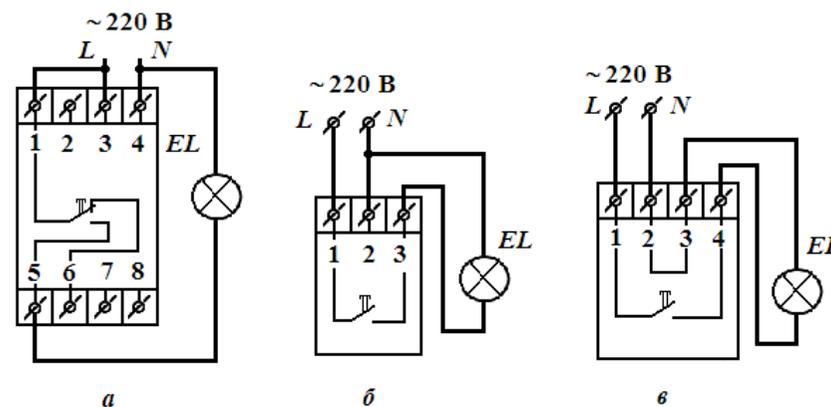


Рис. 8.1. Электрическая схема подключения осветительной установки с электронным программируемым астрономическим реле времени (а), автоматическим выключателем с датчиком движения (б), фотоакустическим автоматическим выключателем (в)

2.5. Автоматические выключатели освещения с датчиком движения (присутствия). Подключить схему управления датчиком движения (присутствия) осветительной установкой (рис. 8.1б). Произвести настройки продолжительности включения осветительной установки при обнаружении объекта движения (присутствия) и реакции на помехи, создаваемые естественной освещенностью.

Продолжительность включения осветительной установки при обнаружении объекта движения изменяется переменным резистором, имеющим обозначение символа часов или надпись «TIME». Настройка реакции на помехи, создаваемые естественной освещенностью, осуществляется переменным резистором, имеющим обозначение символа луны или надпись «LUX».

2.6. Фотоакустические (фотошумовые) автоматические выключатели освещения. Подключить схему управления осветительной установкой фотоакустическим (фотошумовым) датчиком (рис. 8.1в).

Произвести настройки продолжительности включения осветительной установки при возникновении шума, уровня шума, необходимого для включения освещения, и реакции на помехи, создаваемые естественной освещенностью⁶.

2.7. Регулятор яркости свечения ламп – диммер. Подключить схему управления осветительной установкой с помощью диммера ручного управления. Произвести регулировку яркости источника света. Регулировка яркости источника света осуществляется вращением ручки потенциометра – при вращении по часовой стрелке яркость лампы возрастает, против часовой стрелки – уменьшается.

3. На действующих макетах лабораторного стенда ознакомиться с работой различных схем ступенчатого регулирования уровня освещенности. Принципы ступенчатого регулирования освещенности и управления освещением изложены в Приложении 9.

4. На экспериментальном стенде (рис. 8.2) исследовать влияние способов регулирования светового потока источников (изменением частоты, фазы зажигания и амплитуды питающего напряжения) на изменение их светотехнических и электрических параметров.

Включив автоматический выключатель QF, подать напряжение на электрическую схему стенда. При исследовании изменения

светотехнических и электрических параметров люминесцентных ламп и ламп накаливания переключатель SA2 соответственно переключить в положение «лл» или «лн».

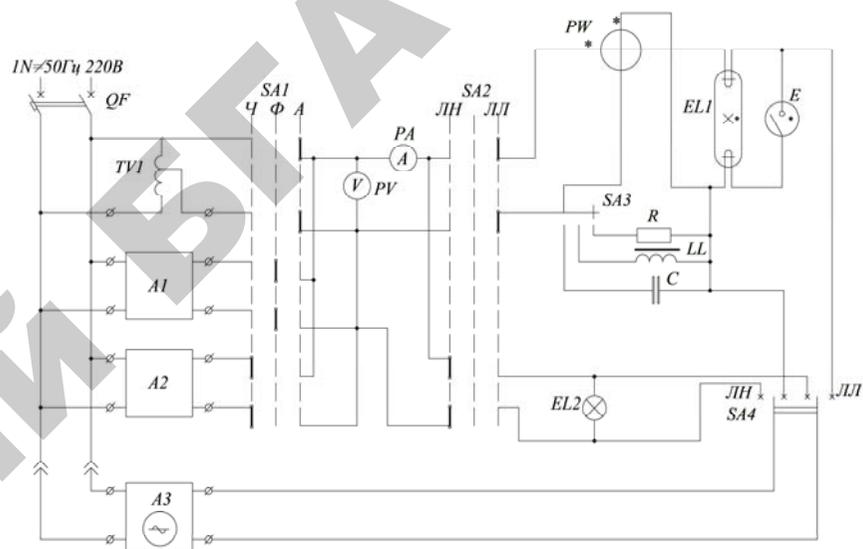


Рис. 8.2. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда: SA1 – переключатель режима регулирования изменением: Ч – частоты, Ф – фазы зажигания, А – амплитуды питающего напряжения; A1 – регулятор напряжения РНТО; A2 – регулятор частоты; A3 – осциллограф

Переключателем SA1 задать способ регулирования (Ч – изменением частоты, Ф – изменением фазы зажигания и А – изменением амплитуды питающего напряжения). Изменяя соответствующим регулятором напряжение питания от 220 В через каждые 20 В в сторону уменьшения, измерить напряжение U , ток лампы I , мощность лампы $P_{л}$ (для лампы накаливания определяется произведением тока на напряжение, для люминесцентной лампы – по показателям ваттметра PW) и освещенность E в контрольной точке.

Включить осциллограф в сеть. Переключателем SA4 подключить осциллограф к исследуемой лампе (положение «лн» или «лл»). Установив номинальное напряжение сети (220 В), снять осциллограмму напряжения на лампе. Затем, уменьшая напряжение питания, снять осциллограмму напряжения на лампе при ее погасании.

⁶ Если подобные настройки предусмотрены моделью фотоакустического автоматического выключателя освещения, установленного на лабораторном стенде.

Осциллограммы напряжений на лампе зарисовать в отчет. Результаты измерений представить в форме таблицы 8.1.

Таблица 8.1

Влияние способов плавного регулирования светового потока на электрические и светотехнические характеристики источников

Тип источника света	Способ регулирования											
	изменением амплитуды питающего напряжения				изменением фазы зажигания				изменением частоты питающего напряжения			
	U, В	I, А	P _п , Вт	E, лк	U, В	I, А	P _п , Вт	E, лк	U, В*	I, А	P _п , Вт	E, лк
Лампы накаливания	220 200 180 и т. д.				220 200 180 и т. д.				220 200 180 и т. д.			
Люминесцентные лампы с индуктивным балластом	220 200 180 и т. д.				220 200 180 и т. д.				220 200 180 и т. д.			

* Напряжение, измеренное при частоте 5 кГц.

5. По результатам измерений для исследуемых способов регулирования построить следующие графические зависимости $I = f(U)$, $P_{п} = f(U)$, $E = f(U)$.

6. Проанализировать полученные осциллограммы, результаты измерений и построенных графических зависимостей и по результатам анализа сделать выводы о целесообразности и области применения указанных способов регулирования светового потока источников.

При анализе сравнить:

6.1. Способы ступенчатого регулирования освещенности по следующим показателям: сложность схемы управления; материальные затраты на установку (провода, кабели, электротехнические изделия и др.); обеспечение требуемой равномерности освещенности на рабочей поверхности.

Сделать вывод о целесообразности применения различных способов ступенчатого регулирования освещенности.

6.2. Способ плавного регулирования светового потока по следующим показателям:

а) относительному изменению светового потока (освещенности):

$$\gamma = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max}} \cdot 100 \%, \quad (8.1)$$

где E_{\max} и E_{\min} – максимальное и минимальное значения освещенности, получаемые при использовании того или иного способа регулирования;

б) сложности реализации способа (простота схемы, материалоемкость, энергозатраты);

в) глубине пульсации светового потока (глубину пульсации светового потока приближенно можно определить по осциллограммам изменения тока как соотношение периодов темных пауз и периодов горения источников или измерить пульсметром).

Сделать вывод о целесообразности применения способов плавного регулирования светового потока источников света.

7. Оформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Содержание отчета:

1. Название, цель и задачи работы.
2. Принципиальная электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.
3. Краткие сведения об устройстве, принципе действия и основных характеристиках изученных электротехнических устройств.
4. Схемы ступенчатого регулирования освещенности рабочей поверхности и управления осветительной установкой.
5. Результаты произведенных измерений (табл. 8.1).
6. Осциллограммы напряжения на лампах в регулировочных режимах.
7. Принципиальные схемы тиристорного регулятора напряжения и преобразователя частоты.
8. Графические зависимости тока, мощности и освещенности от питающего напряжения для исследованных режимов $I = f(U)$, $P_{п} = f(U)$, $E = f(U)$.
9. Выводы. Анализ преимуществ и недостатков способов плавного и ступенчатого регулирования освещенности.

Вопросы для подготовки к защите отчета о лабораторной работе:

1. Расскажите об устройстве, принципе действия и основных характеристиках известных Вам реле времени (фотореле; светочувствительных автоматических выключателей; автоматических выключателей с датчиками присутствия, движения и фотоакустическими таймерами).

2. Расскажите об устройстве, принципе действия и основных характеристиках фотореле ФР-75.

3. Расскажите об устройстве, принципе действия и основных характеристиках реле времени 2РВМ.

4. Расскажите об устройстве, принципе действия и основных характеристиках программного реле управления светом ПРУС-1.

5. Назовите основные принципы, положенные в основу автоматического управления осветительными установками.

6. Поясните известные Вам способы ступенчатого регулирования освещенности рабочей поверхности при управлении осветительной установкой. Приведите примеры их схемных решений.

7. Поясните причины изменения светового потока источников оптического излучения при амплитудном, фазовом и частотном регулировании.

8. Поясните принцип действия тиристорного регулятора напряжения (преобразователя частоты) и, используя принципиальную электрическую схему, расскажите о его работе.

9. Укажите преимущества и недостатки известных Вам способов плавного и ступенчатого регулирования освещенности. Сделайте вывод о целесообразности их применения в схемах управления осветительными установками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов, Л. А. Светотехника и электротехнология : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. 110302 «Электрификация и автоматизация сел. хоз-ва» / Л. А. Баранов, В. А. Захаров. – Москва : Колос, 2008. – 344 с.

6. Кнорринг, Г. М. Справочная книга по проектированию электрического освещения / Г. М. Кнорринг, Ю. Б. Оболенцев, В. М. Крючков; под ред. Г. М. Кнорринга. – Ленинград : Энергия, 1976. – 384 с. : ил.

2. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – 2-е изд. – Минск : Техноперспектива, 2008. – 271 с. : ил.

3. Качество промышленного освещения / Ц. Е. Кроль, Е. И. Мясоедова, С. Г. Терешкович. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 224 с. : ил.

4. Николаенок, М. М. Электрическое освещение : конспект лекций для студ. спец. 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства» / М. М. Николаенок, Р. И. Кустова. – Минск : БГАТУ, 2006. – 144 с.

5. Светотехника : пособие для студ. вузов спец. 1-74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства» / М. М. Николаенок [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2009. – 185 с.

7. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – Москва : Энергоатомиздат, 1995. – 528 с. : ил.

9. Степанцов, В. П. Светотехника : учебное пособие / В. П. Степанцов, Р. И. Кустова. – Минск : БГАТУ, 2012. – 568 с. : ил.

8. Степанцов, В. П. Светотехническое оборудование в сельскохозяйственном производстве : справочное пособие / В. П. Степанцов. – Минск : Ураджай, 1987. – 216 с. : ил.

10. Степанцов, В. П. Электрооборудование осветительных и облучательных установок : справочное пособие / В. П. Степанцов [и др.]. – Минск : Ураджай, 1991. – 191 с. : ил.

11. ТКП 45-2.04-153-2009. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования. – Минск : Министерство архитектуры и строительства, 2009. – 59 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

Приложение 1

Содержание раздела «Светотехника» учебной дисциплины «Электротермия и светотехника»

Введение. Предмет дисциплины «Электротермия и светотехника», ее роль и место в системе подготовки инженера. Состояние, перспективы, экономические и социальные аспекты использования электротермии и оптического излучения в технологических процессах сельскохозяйственного производства.

1. Физические основы оптического излучения.

1.1. Оптическое излучение: понятия, природа, свойства, параметры. Природа и спектр оптического излучения. Характеристики отдельных участков спектра оптического излучения, их воздействие на живые организмы и растения, сфера использования в сельскохозяйственном производстве. Основные понятия и определения: спектральная плотность потока излучения; поток и сила излучения; плотность облучения (облученность); экспозиция (доза) облучения; плотность потока на поверхности излучателя (светимость). Система энергетических величин измерения оптического излучения. Взаимозависимость параметров оптического излучения: определение облученности при известном значении силы излучения; определение потока излучения по кривой распределения силы излучения; определение облученности горизонтальной поверхности, поверхности сферы и цилиндра. Расчет потока излучения по кривой силы излучения.

1.2. Взаимодействие оптического излучения с приемником. Приемники оптического излучения, их способность к поглощению, отражению и пропусканию оптического излучения, коэффициенты поглощения, отражения и пропускания. Взаимодействие тел с потоком оптического излучения, их спектральная (абсолютная и относительная) чувствительность. Понятие интегральной чувствительности приемников к оптическому излучению. Закономерности взаимодействия оптического излучения с приемниками (законы Бугера–Ламберта, квантовой эквивалентности Эйнштейна, Бунзена–Роско, Арндта–Шульца). Понятие эффективного потока. Количественная оценка эффективного действия оптического излучения. Понятие образцового приемника. Система световых величин и единиц их измерения.

2. Измерение параметров оптического излучения. Светотехнические измерения. Методы измерения оптического излучения.

Измерение интегрального, активного и эффективного потоков оптического излучения. Первичные преобразователи оптического излучения (фотоэлементы с запирающим слоем, внешним и внутренним фотоэффектом) и их основные характеристики. Приборы для измерения светового действия оптического излучения (люксметры) – назначение, устройство и характеристики. Использование приборов для измерения освещенности (облученности) для определения параметров других величин оптического излучения.

3. Источники оптического излучения. Источники оптического излучения и их классификация. Электрические, светотехнические, эксплуатационные и стоимостные параметры источников оптического излучения.

3.1. Тепловые источники оптического излучения. Использование основных положений теории теплового излучения (законов Стефана–Больцмана, Планка, смещения Вина, Кирхгофа) при разработке тепловых источников оптического излучения. Световой КПД идеального и реального излучателя. Понятие цветовой температуры. Лампы накаливания общего назначения: устройство, обозначение, характеристики. Зависимость параметров ламп накаливания от условий эксплуатации. Кварцевые галогенные лампы накаливания: принцип действия вольфрамо-йодного цикла, устройство, обозначение, характеристики, область применения.

3.2. Газоразрядные источники оптического излучения. Электрический разряд в газах и парах металлов, условия возникновения разряда, вольтамперная характеристика. Механизм возникновения оптического излучения при электрическом разряде. Работа газоразрядных источников в электрической сети постоянного тока, условия стабилизации электрического разряда. Особенности работы газоразрядной лампы с активным, индуктивным и емкостным балластным сопротивлением в сети переменного тока. Классификация газоразрядных источников оптического излучения. Газоразрядные лампы низкого давления видимого излучения (люминесцентные лампы): устройство, обозначение, светотехнические, энергетические, эксплуатационные и стоимостные параметры. Зависимость параметров люминесцентных ламп от условий эксплуатации. Пути совершенствования люминесцентных ламп. Пускорегулирующая аппаратура для включения в сеть люминесцентных ламп: разновидности, схемы, их работа, устройство элементов. Структура обозначения пускорегулирующей аппаратуры. Перспективы и преимущества электронной пускорегулирующей аппаратуры. Газоразрядные

лампы высокого и сверхвысокого давления видимого излучения: ртутные люминесцентные (типа ДРЛ); металлогалогенные (ДРИ); натриевые (ДНаТ); ксеноновые (ДКсТ). Устройство, обозначения, характеристики, области применения, зависимость параметров от условий эксплуатации. Пускорегулирующая аппаратура для включения в сеть газоразрядных ламп высокого давления: разновидности, схемы, устройство, их работа, обозначение.

3.3. Твердотельные источники оптического излучения. Светодиодные источники оптического излучения и схемы их включения в сеть: устройство, обозначение, характеристики, схемы включения в сеть. Факторы, определяющие выбор типа источника света. Сравнительный анализ характеристик источников света (достоинства и недостатки).

4. Установки искусственного освещения.

4.1. Осветительные приборы. Световые приборы и их классификация. Светильники: устройство, классификация (по светораспределению, форме кривой силы света, способу установки, степени защиты от попадания пыли и влаги, климатическому исполнению и категории размещения, степени пожаро- и взрывозащиты, целевому назначению), номенклатура, характеристики, обозначение. Прожекторы: номенклатура, устройство, характеристики и область применения. Комплектные осветительные устройства: номенклатура, устройство, характеристики и область применения.

4.2. Параметры осветительных установок и их нормирование. Понятие о контрасте, пороговой яркости и пороговом контрасте, видимости. Условия видимости окружающих предметов. Подходы к нормированию освещенности, необходимой для выполнения зрительных работ. Нормы проектирования естественного и искусственного освещения производственных и общественных зданий. Особенности нормирования освещенности сельскохозяйственных зданий и сооружений. Качественные характеристики осветительных установок. Понятие цвета излучения, пульсации светового потока и освещенности, ослепленности и зрительного дискомфорта, нормирование и обеспечение требуемых уровней их значения. Классификация помещений по степени воздействия климатических и механических факторов окружающей среды на электро- и светотехническое оборудование. Категория размещения, климатическое исполнение и степени защиты светотехнического оборудования и электротехнических изделий.

4.3. Проектирование установок искусственного освещения помещений. Требования, предъявляемые к осветительным установкам. Состав и содержание проектной документации. Последовательность рассмотрения и содержание вопросов проектирования светотехнической части установки искусственного освещения. Выбор типа источников света, системы и вида освещения, нормируемой освещенности и коэффициента запаса. Определение расчетной освещенности при ее нормировании на наклонной (вертикальной) поверхности. Выбор типа светильников и их размещение в освещаемом пространстве. Светотехнический расчет осветительных установок: точечным методом, в том числе пространственных и линейных изолукс, методами коэффициента использования светового потока и удельной мощности. Особенности светотехнического расчета осветительных установок с линейными излучателями.

4.4. Проектирование осветительных установок производственных территорий, дорог и улиц. Особенности расчета установок наружного освещения. Нормирование освещенности производственных территорий, строительных площадок, дорог и улиц. Освещение открытых пространств светильниками: высота установки и способы размещения светильников, методы расчета осветительных установок, в том числе коэффициента использования светового потока и точечный метод. Прожекторное освещение. Размещение прожекторов. Построение расчетной изолуксы. Расчет осветительной установки методами компоновки изолукс и удельной мощности.

5. Электрические сети осветительных установок.

5.1. Электротехническое оборудование осветительных установок. Электроустановочные материалы и изделия. Провода и кабели, номенклатура, характеристика и области применения. Выключатели и переключатели, светорегуляторы, штепсельные соединения и блоки. Устройства защитного отключения. Вводно-распределительные устройства, осветительные щитки, блоки управления и защиты.

5.2. Электроснабжение осветительных установок. Источники питания и требования к качеству электроэнергии. Схемы электрических сетей осветительных установок. Системы заземления и требования к сечению нулевых проводников. Учет электрической энергии и компенсация реактивной мощности.

5.3. Проектирование электрической сети осветительных установок. Выбор напряжения и схемы питания. Компоновка групп

и трассы сети, определение мест расположения и выбор групповых щитков. Выбор марки проводов и способов прокладки сети. Определение электрических нагрузок осветительной сети. Определение сечения проводников электрической сети по допустимой потере напряжения. Определение вставок защитных аппаратов. Проверка сечения проводников на соответствие аппаратам защиты.

5.4. Управление осветительными установками. Общие требования и подходы к автоматизации управления осветительными установками. Принципы регулирования светового потока осветительной установки. Электротехнические изделия, оборудование, приборы и устройства для автоматического управления осветительными установками. Схемы автоматического управления осветительными установками.

6. Эксплуатация осветительных установок. Организация эксплуатации. Порядок и объем работ по техническому обслуживанию и ремонту. Способы и сроки чистки светильников, замены источников. Средства доступа к светильникам и электротехническим изделиям осветительной установки. Энергосбережение при проектировании и эксплуатации осветительных установок. Пути повышения эффективности и рациональная экономия электрической энергии в светотехнических установках. Определение расхода электрической энергии в осветительных установках. Оценка эффективности внедрения нового светотехнического оборудования. Техника безопасности и охрана труда при эксплуатации осветительных и облучательных установок. Перспективы совершенствования светотехнических изделий и приборов, энергоресурсосбережения, обслуживания и рациональной эксплуатации осветительных установок.

Устройство, параметры и характеристики приборов для измерения оптического излучения

Наиболее известными приборами, базирующимися на физических методах оценки эффективного действия оптического излучения, являются: люксометры для измерения светового действия; пульсметры – коэффициента пульсации освещенности (светового потока); яркометры (яркомеры) – яркости (светимости) источников и поверхностей; измерители цветовой температуры – координат цветности XYZ (в системе МКО31 и МКО64) и коррелированной цветовой температуры; радиометры – энергетической облученности в спектральном диапазоне ультрафиолетового излучения (200...280, 280...315 и 315...400 нм); уфиметры – витальной облученности; фитофотометры – фитооблученности; или их комбинации, например, «Пульсметр + Люксметр», «Люксметр + Яркомер», «Люксметр + УФ-Радиометр», «Люксметр + Яркомер + Пульсметр» и др.

В указанных приборах оптическое излучение, как правило, оценивают по его воздействию на изменение электрических, физических или тепловых параметров приемников (первичных преобразователей) излучения. Приемниками оптического излучения в приборах служат фотоэлементы (вакуумные или газонаполненные, фотоумножители, фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, вентильные (в запирающем слое), основными характеристиками которых являются: спектральная чувствительность; фотоэлектрическая зависимость; вольтамперная характеристика; угловая погрешность; частотная характеристика; инерционность; утомление; старение.

Люксметр Ю-116 состоит из селенового фотоэлемента типа Ф55С, четырех специальных насадок для увеличения пределов измерения (М, Р и Т) и исправления угловой погрешности (К), резисторов, двух выключателей и электроизмерительного прибора, размещенных в пластмассовом корпусе (рис. П2.1). В корпусе фотоприемника размещен селеновый фотоэлемент и могут быть помещены одна из насадок для увеличения пределов измерения (М, Р и Т) и насадка для исправления угловой погрешности (К).

Две шкалы электроизмерительного прибора, отградуированные в люксах, имеют пределы измерений, соответственно на 100 и 30 делений. Диапазоны измерений освещенности – от 5–100 лк без использования насадок до 5000–100 000 лк с насадками К и Т. Погреш-

ность измерения – до 10 % исследуемой величины без использования насадок и до 15 % с использованием насадок.

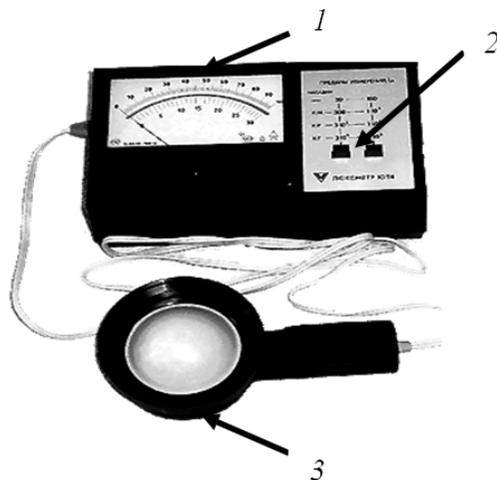


Рис. П2.1. Общий вид люксметра Ю-116:

1 – электроизмерительный прибор; 2 – переключатель пределов измерения;
3 – корпус фотоприемника

Прибор не имеет корректирующего фильтра, поэтому при измерении освещенности от источника, чей спектральный состав значительно отличается от спектрального состава стандартного источника, по которому он градуировался, его показания следует умножать на поправочный коэффициент, равный при освещении лампами: ДНаТ и ДРИ – 1,22; ДРЛ – 1,1; ЛБ и ЛХБ – 1,16; ЛЕ, ЛХЕ, ЛДЦ, ЛД и ламп накаливания – 1,0.

С помощью люксметра Ю-116 можно приближенно определить и энергетическую облученность в области фотосинтетически активной радиации, умножив показания прибора на переводной коэффициент, равный для ламп: накаливания – 4,4; ДРЛФ400 – 3,9; ДРЛФ1000 – 4,9; ДНаТ400 – 3,0; ЛБ – 3,4; ЛФ – $3,7 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{клк}^{-1}$.

При подготовке к измерению люксметр устанавливают в горизонтальное положение, отсоединяют фотоэлемент от измерителя и стрелку измерительного прибора с помощью корректора устанавливают на нулевое деление шкалы. После чего присоединяют фотоэлемент к измерителю и производят измерения. С целью ускорения

поиска диапазона измерений необходимо последовательно установить насадки КТ, КР, КМ и при каждой насадке сначала нажимать правую кнопку, а затем левую на передней панели измерителя.

Следует отметить, что селеновые элементы не отличаются стабильностью. Их следует поверять в установленные сроки. Причем поверке должен подвергаться не только фотоэлемент, но и весь прибор, так как фотоэлементы не взаимозаменяемы и могут работать без превышения приведенной погрешности измерений только со своим люксметром.

Прибор комбинированный ТКА-ПКМ/31 (люксметр) предназначен для измерения освещенности в видимой части спектра (380–760 нм). Конструктивно состоит из двух функциональных блоков: фотометрическая головка и блок обработки сигналов, соединенные между собой гибким двухжильным кабелем (рис. П2.2).



Рис. П2.2. Общий вид люксметра ТКА-ПКМ/31

На лицевой стороне блока обработки сигналов расположены переключатель каналов измерений и жидкокристаллический индикатор, в фотометрической головке – фотоприемник для регистрации измерений, а на задней стенке фотометрической головки – крышка батарейного отсека.

Принцип действия прибора заключается в преобразовании фотоприемником оптического излучения в электрический сигнал с последующей цифровой индикацией числовых значений освещенности. Для измерения освещенности достаточно расположить фотометрическую головку прибора в плоскости измеряемого объекта.

Технические параметры люксметра ТКА-ПКМ/31:

- Диапазон измерения – 10–200 000 лк.
- Предел допускаемой основной относительной погрешности – $\pm 8,0\%$.
- Пределы измерения (переключение производится вручную), лк, до: 20; 200; 2000; 20 000 и 200 000.
- Источник питания – батарея (типоразмер «Крона»).
- Масса прибора – 0,4 кг.
- Габариты, не более, мм:
 - блок обработки сигналов – 130×70×30;
 - фотометрическая головка – $\varnothing 36 \times 21$.

Несколько расширенный диапазон измерения имеет люксметр **ТКА ЛЮКС** (рис. П2.3). Его технические параметры:

- Диапазон измерения – 1–200 000 лк.
- Основная относительная погрешность измерения освещенности – не более 6,0 %.
- Время непрерывной работы прибора – не менее 8,0 ч.
- Рабочие условия эксплуатации:
 - температура окружающего воздуха – 0–40 °С;
 - относительная влажность воздуха при температуре 25 °С – 65±15 %;
 - атмосферное давление – 86–107 кПа.
- Масса прибора – не более 0,4 кг.



Рис. П2.3. Общий вид люксметра ТКА ЛЮКС

Для питания прибора используется батарея типа «Крона».

Люксметры TESTO позволяют не только измерять освещенность, но и сохранять результаты измерений в памяти прибора. При этом результаты измерений могут быть переданы в память компьютера, а с помощью специального программного обеспечения по ним может быть сформирован список объектов замеров или построены графики изменения интенсивности освещения.

Люксметр **TESTO 540** (рис. П2.4а) имеет диапазон измерений от 0 до 100 000 лк. Первичный преобразователь (приемник оптического излучения) адаптирован к спектральной чувствительности глаза человека. В приборе реализована функции Hold для легкого считывания данных измерений и отображения максимального и минимального значений измерений. Разрешение прибора – 1 лк в диапазоне 0...19,999 лк и 10 лк в остальном диапазоне. Погрешность измерений – 5 %. Рабочая температура – 0–50 °С. Габариты – 113×46×25 мм. Масса прибора – 95 г. Для питания прибора используется батарейка AAA.



Рис. П2.4. Общий вид приборов TESTO 540 (а) и TESTO 545 (б)

Люксметр **TESTO 545** (рис. П1.4б) может работать в качестве накопителя данных (логгера), записывая измерения через заданные промежутки времени. В приборе реализована функция усреднения результатов по времени и количеству замеров. Объем памяти прибора – до 3000 измерений. В памяти сохраняется до 99 названий мест проведения замеров. Данные по месту замеров могут быть распечатаны на принтере TESTO.

Технические параметры прибора:

- Диапазон измерения – 1–100 000 лк.
- Погрешность измерения – 3,0 %.
- Разрешение прибора – 1 лк в диапазоне 32 000 лк и 10 лк в остальном диапазоне.
- Рабочая температура – 0–50 °С.
- Габариты (без первичного преобразователя) – 220×68×50 мм.
- Масса прибора – 500 г.

Для питания прибора используется батарея типа «Крона».

Для измерения коэффициента пульсации источников излучения и освещенности в видимой области спектра 380–760 нм может быть применен **Пульсметр + Люксметр** серии ТКА (рис. П2.5а).



Рис. П2.5. Общий вид приборов Пульсметр + Люксметр серии ТКА (а) и Люксметр + Яркоммер + Пульсметр «Эколайт-02» (б)

Принцип действия прибора заключается в преобразовании фотоприемным устройством оптического излучения в электрический сигнал с последующей обработкой его микроконтроллером и цифровой индикацией на жидкокристаллическом дисплее числовых значений коэффициента пульсаций в % и освещенности в лк. Прибор также предоставляет возможность передачи информации через RS-232 или USB порты.

Первичный преобразователь оптического излучения прибора (полупроводниковый кремниевый фотодиод) оборудован системой светофильтров, формирующих его спектральную чувствительность,

соответствующую относительной световой спектральной эффективности глаза человека.

Показания коэффициента пульсации индицируются в процентах, при этом прибор определяет максимальное, минимальное и среднее значения освещенности пульсирующего излучения и рассчитывает значение коэффициента пульсации.

Основные технические параметры прибора:

- Диапазон измерения:
 - освещенности – 10–200 000 лк;
 - коэффициента пульсации – 1–100 %.
- Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения:
 - освещенности – ± 8 %;
 - коэффициента пульсации – ± 10 %.
- Время непрерывной работы прибора – не менее 8,0 ч.
- Рабочие условия эксплуатации:
 - температура окружающего воздуха – 0–40 °С;
 - относительная влажность воздуха при температуре 25 °С – до 95 %;
 - атмосферное давление – 80–110 кПа.
- Габариты прибора (не более):
 - измерительный блок – 160×85×30 мм;
 - фотометрическая головка – $\varnothing 36 \times 21$ мм.
- Масса прибора (не более) – 0,5 кг.
- Средняя наработка на отказ (не менее) – 2000 ч.

Для питания прибора используется батарея типа «Крона».

Люксметр + Яркоммер + Пульсметр «Эколайт-02» применяют для измерения освещенности, создаваемой различными произвольно пространственно расположенными источниками; яркости самосветящихся объектов; коэффициента пульсации газоразрядных ламп и освещенности в диапазоне 380–760 нм (рис. П2.5б).

Прибор состоит из блока обработки информации БОИ-2, фотоприемника ФГ-01 и кабеля связи блока обработки информации и фотоприемника. Его технические параметры:

- Диапазон измерения:
 - освещенности – 10–200 000 лк;
 - яркости – 1–200 000 $\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$;
 - коэффициента пульсации – 1–100 %.
- Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения:

- освещенности – $\pm 8,0\%$;
- яркости – $\pm 10,0\%$;
- коэффициента пульсации – $\pm 10,0\%$.
- Габариты прибора (не более):
- измерительный блок – $210 \times 70 \times 40$ мм;
- фотометрическая головка – $150 \times 50 \times 25$ мм.
- Масса прибора (не более) – 0,5 кг.

Для питания прибора используется алкалиновая батарейка типоразмера АА.

Радиометр **ТКА-ПКМ** служит для измерения энергетической облученности в спектральных диапазонах ультрафиолетового излучения – 315–400 нм (зона УФ-А), 280–315 нм (УФ-В) и 200–280 нм (УФ-С). Особенностью его конструкции является использование одной несменной фотометрической головки для измерения излучения в трех спектральных диапазонах (рис. П2.6а).



Рис. П2.6. Общий вид радиометра ТКА-ПКМ (а) и люксметра + радиометра ТКА-01/3 (б)

Технические параметры прибора:

- Диапазон измерения энергетической облученности ($\text{мВт} \cdot \text{м}^{-2}$):
- в спектральном диапазоне 200–280 нм – 10–200 000;
- в спектральном диапазоне 280–315 нм – 10–60 000;
- в спектральном диапазоне 315–400 нм – 10–60 000.
- Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения – $\pm 17,0\%$.

- Погрешность коррекции – $\pm 10,0\%$.
- Время непрерывной работы прибора (не менее) – 8 ч.
- Рабочие условия эксплуатации:
- температура окружающего воздуха – 0–40 °С;
- атмосферное давление – 80–110 кПа.
- Масса прибора (не более) – 0,4 кг.

Для питания прибора используется батарея типа «Крона».

Люксметр + радиометр **ТКА-ПКМ** (ТКА-01/3) служит для измерения освещенности в видимой области спектра (380–760 нм) и энергетической облученности в области спектра ультрафиолетового излучения (280–400 нм). Его внешний вид приведен на рисунке П2.6б.

Технические параметры прибора:

- Диапазон измерения энергетической облученности:
- освещенности – 10–200 000 лк;
- энергетической облученности – 10–60 000 $\text{мВт} \cdot \text{м}^{-2}$.
- Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения:
- освещенности – $\pm 8,0\%$;
- энергетической облученности – $\pm 10,0\%$.
- Время непрерывной работы прибора (не менее) – 8 ч.
- Рабочие условия эксплуатации:
- температура окружающего воздуха – 0–40 °С;
- относительная влажность воздуха при температуре 25 °С – до 95 %;
- атмосферное давление – 80–110 кПа.
- Масса прибора – 0,43 кг.

Для питания прибора используется батарея типа «Крона».

Уфиметр УФМ-71 предназначен для измерения сферической витальной облученности, создаваемой искусственными источниками.

В качестве первичного преобразователя уфиметра использован вакуумный фотоэлемент с внешним фотоэффектом Ф-27, спектральная чувствительность которого приближается к спектру витального действия УФ-излучения. На лицевой панели уфиметра размещены измерительный прибор (микроамперметр), переключатель пределов измерения, два выключателя (один из которых предназначен для включения прибора, а второй для включения режима установки измерительного прибора на ноль) и ручка потенциометра «Установка нуля». Автономное электропитание прибора состоит из четырех 338 элементов постоянного тока.

Диапазон измерений прибора (от 0 до 3000 мвит · м⁻²) разделен на пять поддиапазонов: 0–30; 0–100; 0–300; 0–1000; 0–3000 мвит · м⁻². Погрешность измерений не превышает 15 %.

Прибор отградуирован по образцовому источнику УФ-излучения, поэтому при измерении витальной облученности, создаваемой другими источниками, результаты необходимо умножать на поправочный коэффициент, равный для ламп типов ЛЭ и ДРТ соответственно 1,6 и 1,45.

Фитофотометр ФФМ-71 предназначен для измерения фитооблученности, создаваемой искусственными источниками излучения.

Первичный преобразователь фитофотометра состоит из трех фоторезисторов с корригирующими фильтрами, закрытых стеклянным полусферическим колпаком с матовой внутренней поверхностью. Спектральная чувствительность фильтров и фоторезисторов подобрана таким образом, что при суммарном взаимодействии спектральная чувствительность первичного преобразователя приближена к спектральной чувствительности зеленого листа растения, а полусферический колпак максимально уменьшает его угловую погрешность.

На лицевой панели фитофотометра расположены измерительный прибор, переключатель пределов измерений, клавиши включения прибора и режима калибровки, ручки потенциометров «Калибровка» и «Напряжение осветителя». Рядом в специальном отсеке находится гнездо для калибровки прибора, внутри которого расположен источник света.

Допустимый диапазон измерения фитофотометра 0–300 фт · м⁻² разделен на пять поддиапазонов: 0–3; 0–10; 0–30; 0–100 и 0–300 фт · м⁻². Выбор требуемого поддиапазона осуществляется с помощью переключателя пределов измерений. Погрешность измерений в любом поддиапазоне не превышает 15 %.

Для настройки и калибровки необходимо включить прибор нажатием клавиши «Вкл», вставить измерительную головку в гнездо в корпусе, нажать клавишу «Контроль» и ручкой потенциометра «Напряжение осветителя» установить стрелку измерительного прибора на зеленую риску шкалы. Вновь нажать клавишу «Контроль» до возврата ее в исходное положение. Нажать клавишу переключателя «Пределы измерения», соответствующую делению «3», и ручкой потенциометра «Калибровка» установить стрелку измерительного прибора на красную риску. Вынуть из корпуса прибора измерительную головку и укрепить ее в держателе. После чего прибор готов к работе.

Дозиметр автоматический ДАУ-81 применяют для измерения чистой экспозиции (дозы облучения) и энергетической облученности в диапазонах 220–280, 320–400 и 380–710 нм, а также автоматического отключения источников оптического излучения при достижении полученной объектом лучистой экспозиции предварительно заданного значения.

Первичными преобразователями в дозиметре являются вакуумные фотоэлементы Ф25 с комплектом светофильтров СЗС25 (для диапазона 380–710 нм), Ф26 с комплектом светофильтров УФС6 и СЗС23 (320–400 нм) и Ф29 (220–280 нм). Лицевая панель измерительного блока дозиметра содержит шестидекадный индикатор и дисковый задатчик лучистой экспозиции, переключатель пределов измерения энергетической облученности, кнопочный выключатель обнуления значения индикатора лучистой экспозиции «Сброс», миллиамперметр для измерения энергетической облученности, отградуированный на сто делений, ручку потенциометра регулировки нуля усилителя, кнопочный выключатель питания «Сеть». На корпусе измерительного блока расположены разъемы для подключения кабелей питания и первичных преобразователей, а также кабеля устройства управления источником излучения, держатели предохранителей и клемма заземления.

Питание дозиметра осуществляется от однофазной электрической сети напряжением 220 В.

Диапазоны измерения в диапазонах спектра оптического излучения:

– энергетической облученности: 220–280 нм – 0,1–1 и 1–10 Вт · м⁻²; 320–400 нм – 0,1–1 и 10–100 Вт · м⁻²; 380–710 нм – 1–10, 10–100 и 50–100 Вт · м⁻²;

– лучистой экспозиции: 220–280 нм – 10–300 Дж · м⁻²; 320–400 нм – 100–300 Дж · м⁻²; 380–710 нм – 100–150 Дж · м⁻².

Погрешность измерений не превышает 15 %.

Дозиметр ДАУ-81 допускает автоматическое отключение источников оптического излучения и подачу звукового сигнала при достижении лучистой экспозиции в зоне размещения первичного преобразователя заданного значения.

Пиранометр Янишевского предназначен для измерения энергетической облученности с длиной волны от 300 до 2400 нм. Приемной частью прибора служит термобатарей из манганиновых и константановых ленточек, спаянных между собой последовательно. Поверхность термобатарей покрыта сажей и магниезией, так что

четные спаи окрашены в один цвет, а нечетные – в другой. Такое решение позволяет получить практически неизбирательную спектральную чувствительность приемника к излучениям различных длин волн указанного интервала.

Измерительным индикатором в приборе служит стрелочный гальванометр ГСА-1, проградуированный Вт · м⁻².

Для измерения теплового действия инфракрасного излучения может быть использован простейший **термостолбик**, который состоит из корпуса с батареей термопар, конусной насадки и подставки. Термопары в батарее расположены в одной плоскости так, что рабочие места спаев находятся на одной линии посередине окна, а нерабочие (холодные) помещают за пределами окна для защиты от действия теплового потока. Они залиты парафином. Для лучшего поглощения теплового потока термопары покрыты тонким слоем копоти. Термостолбики подключаются к милливольтметру. Измерение облученности сводится к измерению температуры тела фотоприемника, так как данный фотоприемник относится к неселективным, спектральная чувствительность которых не зависит от длины волны излучения. Вся упавшая на такой фотоприемник энергия оптического излучения поглощается и преобразуется в тепловую.

Измеряемая термостолбиком энергия оптического излучения определяется подключенным к нему милливольтметром по значению генерируемой им разности потенциалов. При этом величина термоЭДС пропорциональна разности температур «горячего» (T_Г) и «холодного» (T_Х) спаев термопар. В соответствии с законом Зеебека $E = \alpha(T_G - T_X)$, где α – коэффициент, значение которого зависит от применяемых в термопаре металлов.

Устройство, параметры и характеристики источников теплового излучения⁷

В источниках теплового излучения энергия электромагнитного излучения оптической области спектра образуется в результате преобразования тепловой энергии движения атомов и молекул тела и возвращения электрона возбужденного при нагреве атома материальной среды на исходную орбиту.

В невозбужденном состоянии элементарные частицы атома находятся в состоянии энергетического равновесия – положительный заряд ядра уравнивается отрицательными зарядами электронов, вращающихся вокруг него по определенным орбитам. При подведении энергии извне атомы материи возбуждаются, что проявляется переходом электронов на орбиту с более высоким энергетическим уровнем. Электроны в возбужденном состоянии атома постоянно стремятся возвратиться на орбиту энергетического равновесия. При переходе с орбиты более высокого энергетического уровня на орбиту состояния энергетического равновесия электроны испускают избыточную энергию в виде электромагнитного излучения.

Перемещение электрона возбужденного атома с орбиты на орбиту сопровождается излучением фотона с определенной длиной волны и энергией и является монохроматическим. Переход электронов на исходную орбиту устойчивого энергетического состояния осуществляется как непосредственно с орбиты на орбиту, так и через орбиты промежуточного состояния. Перемещение электрона возбужденного атома через промежуточные орбиты вызывает несколько фотонов излучения, каждый из которых отличается длиной волны и энергией. Совокупность монохроматических излучений различных длин волн и энергий создает иллюзию сплошного спектра излучения.

Основные законы, описывающие поведение источников теплового излучения, сформулированы применительно к условному излучателю – абсолютно черному телу:

⁷ Более полная информация по приводимому в приложении материалу изложена в рекомендуемой литературе [5, подразделы § 2.2.1, 2.2.2, 2.2.4, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.2, 2.3.4], [8, подразделы 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3] и др.

– Энергия фотона Q (Дж) равна произведению постоянной величины h на частоту ν :

$$Q = h\nu, \quad (\text{ПЗ.1})$$

где h – постоянная Планка, равная $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;
 ν – частота повторения амплитуды волны ($\nu = c\lambda, \text{с}^{-1}$);
 λ – длина волны, м (нм, мкм);
 c – скорость распространения волны, равная $2,988 \cdot 10^8$ м · с⁻¹.

– Интенсивность (поток) монохроматического излучения длины волны λ Φ_λ (Вт) определяется произведением энергии фотона Q на их количество, проходящее через замкнутый контур пространства в единицу времени:

$$\Phi_\lambda = Qn_\lambda/\tau, \quad (\text{ПЗ.2})$$

где n_λ – число фотонов, прошедших через замкнутый контур за время τ .

– Плотность потока оптического излучения поверхности излучателя $M_{и}$ (Вт · м⁻²) зависит только от его температуры T (К) и пропорциональна ее четвертой степени:

$$M_{и} = \sigma T^4, \quad (\text{ПЗ.3})$$

где σ – постоянная, равная $5,672 \cdot 10^{-8}$ Вт · м⁻² · град⁻⁴.

– Спектральная плотность потока энергетического излучения $\varphi_e(\lambda, T)$, Вт · м⁻² · мкм⁻¹, определяется длиной волны излучения λ и температурой излучателя T :

$$\varphi_e(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1}, \quad (\text{ПЗ.4})$$

где C_1 – постоянная, равная $3,74 \cdot 10^8$, Вт · м⁻² · мкм⁴;
 C_2 – постоянная, равная $1,43 \cdot 10^4$ мкм · град.;
 e – основание натурального логарифма.

– Взаимосвязь между температурой излучателя T и длиной волны λ_{\max} , при которой спектральная плотность энергетического излучения облучателя имеет максимум $\varphi_e(\lambda, T)_{\max}$, определяется законом смещения Вина:

$$\lambda_{\max} T = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{К}, \quad (\text{ПЗ.5})$$

из которого следует, что при повышении температуры абсолютно черного тела максимальное значение спектральной плотности его энергетического излучения смещается в сторону более коротких длин волн.

– Величина максимального значения спектральной плотности энергетического излучения $\varphi_e(\lambda, T)_{\max}$ возрастает пропорционально пятой степени его температуры:

$$\varphi_e(\lambda, T)_{\max} = C_3 T^5, \quad (\text{ПЗ.6})$$

где C_3 – постоянная, равная $1,041 \cdot 10^{-11}$, Вт · м⁻² · мкм⁻¹ · град⁻⁵.

– Отношение плотностей потока оптического излучения поверхностей реальных излучателей $M_{иi}$ с одинаковыми размерами, формой и температурой равно отношению их коэффициентов поглощения α_i :

$$\frac{M_{и1}}{M_{и2}} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}, \text{ при } T = \text{const}. \quad (\text{ПЗ.7})$$

Учитывая, что коэффициент поглощения абсолютно черного тела равен 1, отношение можно представить и в виде:

$$\frac{M_{и1}}{\alpha_1} = \frac{M_{и2}}{\alpha_2} = \dots = \frac{M_{ин}}{\alpha_{1n}} = M_{и}, \quad (\text{ПЗ.8})$$

где $M_{и}$ – плотность потока оптического излучения абсолютно черного тела, Вт · м⁻².

– Коэффициент полезного действия (КПД) источника в области видимого излучения равен отношению светового потока Φ_C к полному потоку Φ_Σ излучения:

$$\eta_c = \frac{\int_{683 \text{ нм}}^{780 \text{ нм}} \varphi_{e\lambda}(\lambda) K_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_{1 \text{ нм}}^{380 \text{ нм}} \varphi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda}, \text{ отн. ед.}, \quad (\text{ПЗ.9})$$

где $\varphi_{e\lambda}$ – спектральная плотность потока излучения;

K_λ – относительная спектральная чувствительность светоадаптированного глаза стандартного фотометрического наблюдателя.

Типичным представителем источников теплового излучения являются лампы накаливания, техническими параметрами которых являются:

1. *Электрическими* – род тока (переменный или постоянный), номинальное напряжение или диапазон изменения напряжения (В), мощность (Вт).

2. *Светотехническими* – световой поток (лм), световая отдача (лм · Вт⁻¹).

3. *Эксплуатационными* – срок службы (полный, номинальный, гарантированный, экономически целесообразный), характер изменения показателей при эксплуатации.

4. *Стоимостными* – стоимость источника, материалоемкость, затраты и трудоемкость обслуживания.

Показатели работы ламп накаливания изменяются при эксплуатации. Эти изменения необходимо учитывать при эксплуатации в условиях, отличающихся от рекомендуемых заводом-изготовителем оптимальных значений температуры и влажности окружающей среды, диапазона изменения напряжения электрической сети.

Лампы накаливания состоят из: стеклянной колбы, изолирующей тело накала от внешней среды; тела накала, изготовленного из вольфрамовой проволоки; молибденовых крючков, определяющих форму тела накала и препятствующих его провисанию; никелевых токоподводящих электродов; стеклянного стержня, в верхнюю часть которого впаяны крючки; опрессованного в верхней части полого стеклянного цилиндра; откачной трубки с отверстием; резьбового металлического цоколя, к которому припаян токоподводящий электрод; изолированной от цоколя контактной шайбы с припаянным вторым токоподводящим электродом.

Основным элементом лампы, определяющим ее функциональное назначение, является тело накала, которое изготавливают в виде нити (спирали, биспирали) из вольфрама. При разогреве тела накала до рабочих температур (2400–2900 К) вольфрам начинает испаряться. Его частицы оседают на внутренней поверхности колбы, вызывая ее потемнение, диаметр нити уменьшается, соответственно уменьшая мощность, световую отдачу и срок службы лампы. Для уменьшения испарения тела накала из колбы откачивают воздух (вакуумные лампы) и колба заполняется смесью инертных газов (газонаполненные лампы): азота – для предотвращения электрического пробоя между токоведущими проводниками, аргона, криптона и ксенона – для уменьшения тепловых потерь от тела накала через колбу лампы.

Обозначение ламп включает буквы, указывающие особенности конструкции: В – вакуумная; Г – газонаполненная моноспиральная; Б – газонаполненная биспиральная; К – наполненная криптоном-ксеноновой смесью; МТ – матированная; З – зеркальная и др. После букв через дефисы следуют цифры, определяющие: номинальное напряжение или диапазон напряжения питания в вольтах; номинальную мощность в ваттах и порядковый номер разработки.

Лампы накаливания общего назначения изготавливают мощностью от 15 до 1500 Вт на различные номинальные напряжения питания 12, 24, 36 В и допустимые диапазоны их изменения 125–135, 215–225, 225–235, 235–245, 245–255 В. Вакуумные лампы накаливания общего назначения изготавливают мощностью до 25 Вт включительно, биспиральные, наполненные криптоном-ксеноновой смесью – 40–100 Вт, биспиральные, наполненные аргоном-азотной смесью – 40–1500 Вт.

Геометрические размеры ламп накаливания зависят от их назначения, мощности и состава смеси заполнения ее колбы. При этом тип их резьбового цоколя определяется мощностью и может быть Е14 или Е27 для ламп мощностью 15–200 Вт, Е27 или Е40 – 300 Вт и Е40 – 500 и более Вт. Световая отдача у ламп накаливания определяется пределами 7,5–20 лм · Вт⁻¹. Их номинальный срок службы равен 1000 ч, гарантированный – не менее 700 ч.

В процессе эксплуатации световой поток лампы уменьшается из-за изменения диаметра нити тела накала при распылении вольфрама, увеличения его сопротивления, понижения потребляемой мощности, температуры тела накала и прозрачности колбы. Для ламп, проработавших 75 % номинального срока службы, допускается уменьшение светового потока до 72–85 % номинального значения.

Отклонение питающего напряжения от его номинального значения существенно влияет на изменение параметров ламп накаливания. Указанное влияние в интервале 0,9...1,1 U_n аппроксимируется следующими соотношениями:

$$\frac{I}{I_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{0,33}; \quad \frac{P}{P_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{1,6}; \quad \frac{\Phi_c}{\Phi_{cn}} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{3,6}; \quad \frac{\eta_c}{\eta_{cn}} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{2,0};$$
$$\frac{t}{t_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^{-11,2...14,8},$$

где: I_n , U_n , P_n , $\Phi_{сн}$, $\eta_{сн}$, t_n – номинальные значения тока, напряжения, мощности, светового потока, световой отдачи и срока службы;

I , P , Φ_c , η_c , t – значения соответствующих параметров при работе лампы накаливания в сети с напряжением U .

Эксплуатировать лампы накаливания общего назначения необходимо при относительной влажности окружающей среды не более 98 %, температуре от -60 до $+50$ °С и внешнем давлении 68–101 кПа (550–760 мм рт. ст.). При эксплуатации следует помнить, что это хрупкие электро- и пожароопасные изделия, не допускающие даже кратковременного соприкосновения с водой в рабочем режиме. Температура колбы лампы при эксплуатации достигает 523 К и зависит от ее положения в пространстве.

Добавка галогена в колбу лампы с вольфрамовым телом накала вызывает замкнутый химический цикл, сущность которого проследим на примере йода – наиболее часто используемого в виде углеводородных соединений в конструкциях галогенных ламп накаливания.

В рабочем режиме частички вольфрама с тела накала испаряются и оседают на стенках колбы лампы. У стенок колбы пары йода соединяются с частичками вольфрама (температура 520–1470 К), образуя галогенид – йодистый вольфрам (температура испарения 520–570 К). При температуре 520 К и более это газообразное соединение улетучивается и, из-за повышенной концентрации у стенок, диффузирует в направлении к раскаленной вольфрамовой спирали. Вблизи вольфрамовой спирали йодистый вольфрам распадается на исходные составные части – вольфрам, атомы которого оседают на тело накала и на другие детали с температурой более 1800 К, и йод. Освободившиеся атомы йода под действием диффузии движутся в обратном направлении к стенкам колбы, где вновь соединяются с новой порцией вольфрама. Таким образом осуществляется регенерация испарившегося вольфрама обратно на тело накала.

Вольфрамо-йодный цикл препятствует осаждению вольфрама на стенки колбы лампы, сохраняя их чистыми и прозрачными на протяжении всего срока службы. Но он не способен восстановить тело накала в первоначальном виде, так как осуществляет возврат частиц вольфрама на все тело накала, а не на дефектные участки, с которых испарение происходит особенно интенсивно.

Галогенные лампы накаливания изготавливают для осветительных установок (типа КГ, напряжение 230 и 400 В, мощностью от

100 до 20 000 Вт) и установок инфракрасного нагрева (типа КГТ, напряжение 230 и 400 В, мощностью 400, 600, 1000, 2200, 2500, 3300 и 3550 Вт). Условное обозначение ламп включает буквы, указывающие на материал стеклянной трубки и наличие в колбе галогенной добавки (КГ – кварцевая с галогенной добавкой), область применения (Т – термоизлучатель) и (или) конструктивную особенность изготовления (О – с отогнутыми концами, дифференцированное (Д) или концентрированное (К) тело накала, М – малогабаритная). После букв через дефис следуют цифры, определяющие номинальное напряжение (В), номинальную мощность (Вт) и порядковый номер разработки.

Кварцевые галогенные лампы накаливания характеризуются различным конструктивным исполнением, высокой стабильностью светового потока на протяжении всего срока службы, малыми габаритами и массой, нечувствительностью к кратковременному повышению питающего напряжения, резким перепадам температуры и условиям окружающей среды. Они отличаются повышенным сроком службы (2–10 тыс. ч), более высокой термостойкостью и механической прочностью, относительно высокой для ламп накаливания световой отдачей ($22\text{--}29$ лм · Вт⁻¹).

Приложение 4

Устройство, параметры и характеристики газоразрядных ламп низкого давления, схемы их включения в сеть и используемая при этом пускорегулирующая аппаратура⁸

Источники, в которых оптическое излучение возникает в результате возбуждения атомов при электрическом разряде в газах, парах металлов или их смесях, называют газоразрядными. В таких источниках возбуждение атомов происходит в результате их соударения с заряженными частицами, перемещаемыми под действием электрического поля. Возвращение электрона возбужденного при соударении атома на исходную орбиту сопровождается излучением электромагнитной энергии.

В невозбужденном состоянии элементарные частицы атома находятся в состоянии энергетического равновесия – положительный заряд ядра уравнивается отрицательными зарядами электронов, вращающихся вокруг него по определенным орбитам. При подведении энергии извне атомы материи возбуждаются, что проявляется переходом электронов на орбиту с более высоким энергетическим уровнем. Электроны в возбужденном состоянии атома постоянно стремятся возвратиться на орбиту энергетического равновесия. При переходе с орбиты более высокого энергетического уровня на орбиту состояния энергетического равновесия электроны испускают избыточную энергию в виде электромагнитного излучения.

Перемещение электрона возбужденного атома с орбиты на орбиту сопровождается излучением фотона с определенной длиной волны и энергией и является монохроматическим. Переход электронов на исходную орбиту устойчивого энергетического состояния осуществляется как непосредственно с орбиты на орбиту, так и через орбиты промежуточного состояния. Перемещение электрона возбужденного атома через промежуточные орбиты вызывает несколько фотонов излучения, каждый из которых отличается длиной волны и энергией. Совокупность монохроматических излучений различных длин волн и энергий создает иллюзию сплошного спектра излучения.

⁸ Более полная информация по приводимому в приложении материалу изложена в рекомендуемой литературе [8, подразделы 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3], [5, подразделы 2.2.1, 2.2.2, 2.2.4, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.4] и др.

Среди газоразрядных источников оптического излучения наиболее широкое распространение получили источники, в которых электрический разряд осуществляется в парах ртути. В зависимости от рабочего давления газовой среды в колбе все они подразделяются на источники: низкого (до 0,01 МПа), высокого (0,01–1 МПа) и сверхвысокого (> 1 МПа) давления.

Из газоразрядных источников низкого давления в установках искусственного освещения применяются люминесцентные лампы, которые выбирают и сопоставляют по техническим параметрам:

1. *Электрическим* – род тока, номинальное напряжение (В), мощность (Вт).
2. *Светотехническим* – световой поток (лм), световая отдача (лм · Вт⁻¹), коэффициент пульсации светового потока (%), спектр излучения, цветовая температура (К), индекс цветопередачи.
3. *Эксплуатационным* – срок службы (полный, номинальный, гарантированный, экономически целесообразный), характер изменения показателей при хранении и эксплуатации.
4. *Стоимостным* – стоимость источника и необходимой пускорегулирующей аппаратуры, материалоемкость изделий, затраты и трудоемкость обслуживания.

Параметры люминесцентных ламп изменяются при хранении и эксплуатации. Эти изменения необходимо учитывать, особенно при эксплуатации в условиях, отличающихся от рекомендуемых заводом-изготовителем оптимальных значений температуры и влажности окружающей среды, диапазона изменения напряжения электрической сети.

Электрическим разрядом называют процесс прохождения электрического тока в газовой среде или парах металла. Характер и механизм электрического разряда определяется давлением и свойствами среды, значениями приложенного к электродам напряжения и плотности тока.

Если герметически запаянную стеклянную трубку, по торцам которой разположены электроды, заполнить газом и к электродам подвести напряжение, то при некоторой напряженности электрического поля в ее среде появляется разряд, при котором начинают направленно перемещаться заряженные частицы, в частности, наиболее подвижные из них – электроны. Электроны, перемещаясь под действием электрического поля, соударяются с нейтральными атомами и молекулами. Если их кинетическая энергия достаточно высокая, то при соударении они способны ионизировать атомы и мо-

лекулы газовой среды, тем самым образуя дополнительные носители электричества. При небольшой кинетической энергии соударение электронов с атомами или молекулами не ионизирует последние, а приводит к переводу их электронов на новые энергетические уровни. Электроны атома или молекулы, возвращаясь из возбужденного в исходное состояние, испускают фотоны оптического излучения.

В зависимости от плотности разрядного тока различают три основные формы электрического разряда – тихий (плотность тока до $10^{-2} \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$), тлеющий ($1-10^2$) и дуговой (более 10^2). Рабочим режимом источников оптического излучения, как правило, является дуговой разряд, который характеризуется падающей ветвью вольт-амперной характеристики (ВАХ). Падающая ВАХ дугового разряда делает его неустойчивым, и если его не ограничивать, то газоразрядный источник разрушается. Для ограничения тока газоразрядный источник подключают к электрической цепи последовательно с балластным сопротивлением – активным, индуктивным или емкостным.

При подключении источника к сети постоянного тока через активное балластное сопротивление (рис. П4.1) дуговой разряд будет протекать устойчиво при выполнении следующего условия:

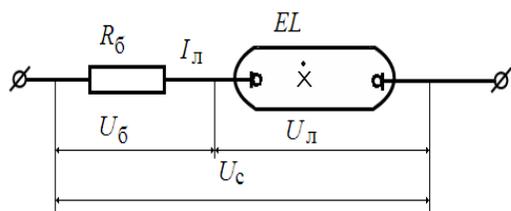


Рис. П4.1. Схема включения газоразрядной лампы в сеть последовательно с активным сопротивлением

$$U_c = U_{\text{л}} + I_{\text{л}}R_{\text{б}}, \quad (\text{П4.1})$$

или

$$R_{\text{б}} + \frac{dU_{\text{л}}}{dI_{\text{л}}} = 0, \quad (\text{П4.2})$$

где U_c – напряжение питающей сети, В;

$U_{\text{л}}$ напряжение на зажимах лампы в рабочем режиме, В;
 $I_{\text{л}}$ – разрядный ток, А;
 $R_{\text{б}}$ – омическое сопротивление стабилизирующего балласта,
 $\frac{dU_{\text{л}}}{dI_{\text{л}}} = R_{\text{л}}$ – омическое сопротивление источника в рабочем режиме (дифференциальное сопротивление разряда).

Графическая иллюстрация изменения напряжения и тока при стабилизации дугового разряда представлена на рисунке П4.2, где обозначены ВАХ дугового разряда (кривая 1); опорная прямая, определяющая напряжение питающей сети U_c ; линия $U_c - I_{\text{л}}R_{\text{б}}$ (прямая 2), проведенная из точки пересечения линии U_c с осью ординат и характеризующая ВАХ балластного сопротивления. Вертикальные отрезки, в частности, $I_{\text{л}}R_{\text{б}}$ и $U_{\text{л}}$, определяют падение напряжений на балластном сопротивлении и на зажимах лампы в рабочем режиме.

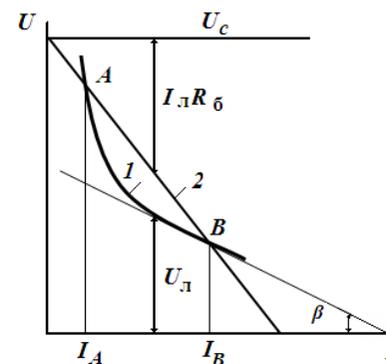


Рис. П4.2. Стабилизация электрического разряда при включении разрядного источника последовательно с балластным сопротивлением

Условие стабилизации разряда соблюдается в точках пересечения прямой 2 и кривой 1, то есть A и B . Однако режим в точке A нельзя отнести к стабильному, так как незначительное отклонение тока, например, в сторону увеличения, приведет к лавинообразному развитию электрического разряда до режима, показанного на рисунке точкой B . Дальнейшее увеличение разрядного тока при данных условиях невозможно, так как имеем $U_{\text{л}} + I_{\text{л}}R_{\text{б}} > U_c$ и $R_{\text{б}} + \frac{dU_{\text{л}}}{dI_{\text{л}}} > 0$.

Газоразрядный источник способен работать при различных отношениях значений напряжений на зажимах лампы в рабочем режиме $U_{\text{л}}$ и питающей сети $U_{\text{с}}$, но устойчивость его работы в значительной мере определяется их отношением. Чем меньше $U_{\text{л}}/U_{\text{с}}$, тем меньше влияют колебания напряжения питающей сети на изменение разрядного тока источника $I_{\text{л}}$, а следовательно, и других параметров, и наоборот, чем больше $U_{\text{л}}/U_{\text{с}}$, тем отмеченное влияние сказывается сильнее. Учитывая, что последовательное включение с лампой балластного сопротивления неизбежно приводит к дополнительным неэффективным потерям электрической энергии, на практике для обеспечения достаточной надежности работы газоразрядного источника и постоянства его параметров в условиях колебания и отклонения напряжения питающей сети балластное сопротивление подбирают таким образом, чтобы выполнялось условие $U_{\text{л}} \leq 0,65 U_{\text{с}}$.

Работа газоразрядных источников в сети переменного тока несколько отличается от работы в сети постоянного тока и вносит свои дополнительные требования к выбору балластного сопротивления. При работе в сети переменного тока процессы появления и прекращения электрического разряда в источнике возобновляются каждый полупериод синусоидального изменения напряжения сети, что приводит к синхронному изменению параметров источника (напряжения на его электродах, тока и потока излучения).

При подключении газоразрядных источников к сети переменного тока в качестве балластного сопротивления может быть использовано как активное, так и индуктивное или емкостное сопротивление. Тип балластного сопротивления определяет специфику работы лампы, что будет рассмотрено при анализе изменения значений напряжения, тока и светового потока за период синусоидального изменения напряжения питающей сети (рис. П4.3).

При работе газоразрядного источника с активным балластным сопротивлением напряжение на его электродах синхронно следует за напряжением питающей сети (рис. П4.3а). Когда напряжение на электродах источника достигает значения напряжения перезажигания $U_{\text{пз}}$, происходит повторный пробой газового промежутка, в нем возобновляется электрический разряд, в цепи появляется ток i и поток излучения Φ . При снижении напряжения на электродах источника до значения, меньше допустимого режимом стабилизации, электрический разряд прекращается. Ток и поток излучения, следуя режиму стабилизации газового разряда, изменяются,

что наблюдается в течение неполного полупериода изменения напряжения питающей сети. Появляются темновые паузы – в начале $\phi_{\text{н}}$ и в конце $\phi_{\text{к}}$ электрического разряда, определяющие пульсацию потока излучения.

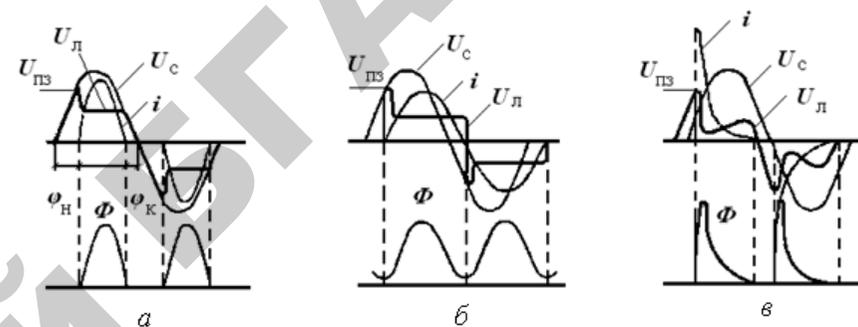


Рис. П4.3. Осциллограммы изменения питающего напряжения $U_{\text{с}}$, напряжения на электродах $U_{\text{л}}$, тока i и потока излучения Φ газоразрядного источника при различных балластных сопротивлениях: а – активном; б – индуктивном; в – емкостном

Стабилизация электрического разряда с использованием активного балластного сопротивления не лишена некоторых недостатков, ограничивающих ее применение:

- наличие относительно продолжительных темновых пауз, заметной пульсации потока излучения;
- режимы постоянного перезажигания электрического разряда способствуют повышенному расходу эмиссионных свойств оксидного слоя электродов, сокращению их эксплуатационных свойств и срока службы;
- повышенный расход электрической энергии в балластном сопротивлении снижает энергетические показатели работы схемы.

Использование индуктивного балластного сопротивления для стабилизации электрического разряда более перспективно и на практике встречается чаще других схем включения газоразрядных источников. Так как ток при индуктивной нагрузке отстает от напряжения, то при его приближении к нулю напряжение на электродах источника сопоставимо с напряжением перезажигания. Электрический разряд практически не прекращается, и перезажигание лампы происходит без заметных темновых пауз (рис. П4.3б). От-

сутствие темновых пауз существенно уменьшает пульсацию потока излучения. Форма кривой тока приближается к синусоидальной.

При индуктивном балластном сопротивлении потери мощности в балластном сопротивлении значительно ниже и составляют 15–20 % мощности источника излучения. Используя явление генерирования электродвижущей силы самоиндукции при индуктивном балластном сопротивлении, несложно организовать импульс повышенного напряжения для первичного пробоя газоразрядного промежутка. В то же время индуктивное балластное сопротивление не лишено недостатков, главными среди которых являются: большой расход металла на его изготовление, что существенно удорожает изделие; сдвиг фаз между током и напряжением, который приводит к появлению реактивной мощности и снижению коэффициента мощности сети.

Емкостное балластное сопротивление для стабилизации электрического разряда газоразрядных источников применяется относительно редко, причиной чему является чрезмерное искажение формы тока и светового потока источника (рис. П4.3в). Большие паузы и всплески тока приводят к снижению срока службы электродов источника, светового потока и световой отдачи, росту коэффициента пульсации потока излучения. Однако применение балластного сопротивления в виде комбинации индуктивности и емкости (индуктивно-емкостного) является весьма перспективным, особенно при работе в сети переменного тока повышенной частотой.

При повышении частоты питающей сети до значения 1 кГц и более напряжение на электродах и ток в схеме включения источника при любом балластном сопротивлении приближаются по форме к синусоиду. Увеличиваются световая отдача (на 5–10 %) и срок службы (10–50 %) источника. Снижаются коэффициент пульсации (на 5–10 %), потери электрической мощности в балластном сопротивлении (в 3–4 раза), материалоемкость балластного сопротивления (на 40–70 %). Исчезает шум от работы балластного сопротивления и появляется возможность регулирования потока излучения источника в диапазоне 10–100 %.

Газоразрядные лампы низкого давления конструктивно выполнены в виде стеклянной трубки, заполненной аргоном и ртутью. Назначение аргона состоит в уменьшении распыления покрытия электродов и облегчении первичного появления разряда. Пары ртути, легко ионизируясь, обеспечивают электрический разряд и генерирование ультрафиолетового излучения при работе лампы.

В результате электрического разряда в среде паров ртути возникает преимущественно ультрафиолетовое излучение длиной волны 253,7 и 184,9 нм, которое в слое люминофора в результате явления фотолюминесценции⁹ преобразуется в излучение видимой части спектра. Источники, излучающие видимое излучение в процессе электрического разряда и люминесценции, называют люминесцентными лампами.

Внутренняя поверхность трубки люминесцентной лампы покрыта люминофором, состав которого определяет спектральный состав и цветность излучения. По торцам трубки в стеклянных ножках сварены электроды с биспиральной нитью накала из вольфрама, покрытого оксидным слоем. Электроды присоединены к контактными штырькам, закрепленным в цоколе и изолированным от него специальной мастикой. Для снижения износа вольфрамовая нить защищена проволочными экранами.

Люминесцентные лампы различают по форме и размерам колбы, мощности и спектральному составу или цветности излучения. Их условное обозначение может быть представлено в виде:

1 2 3 4 5 - 6

где 1 – буква Л (люминесцентная), указывающая на принадлежность к виду люминесцентных ламп;

2 – от одной до четырех букв, указывающих на цвет или особенности спектра излучения: Б (белая), Д (дневная), Е (естественная), ТБ (тепло-белая), ХБ (холодно-белая), Ц (с улучшенной цветопередачей);

3 – буква, указывающая на конструктивные особенности изготовления: Р (рефлекторная), Щ (щелевая), У (U-образная), К (кольцевая), Б (быстрого пуска), А (амальгамная);

4 – буква О (одноцокольная) для компактных энергоэкономичных ламп с одним цоколем;

5 – число, означающее номинальную мощность лампы, Вт;

6 – число (номер модификации), указывающее на отличительные особенности лампы в сравнении с базовой моделью.

Люминесцентные лампы общего назначения (международная маркировка T12) с диаметром стеклянной трубки 38–40 мм изго-

⁹ Фотолюминесценция – излучение люминофором оптического излучения в результате поглощения фотонов меньшей длины волны.

тавливают мощностью от 15 до 150 Вт. Они с использованием соответствующей пускорегулирующей аппаратуры подключаются к электрической сети переменного тока частотой 50 Гц и номинальным напряжением 230 В. Срок службы ламп – 12–15 тыс. ч, световая отдача – 25–80 лм · Вт⁻¹. Номинальный световой поток лампы излучает после 100 часов эксплуатации и к концу срока службы он уменьшается на 25–40 %. Лампы работают при температуре окружающей среды от 5 до 55 °С, однако оптимальным условиям эксплуатации соответствует температура 18–25 °С и относительная влажность не более 70 %. Изменения относительной влажности и температуры окружающей среды, отклонение напряжения питающей сети от номинального значения оказывают заметное влияние на электрические и светотехнические параметры ламп (рис. П4.4).

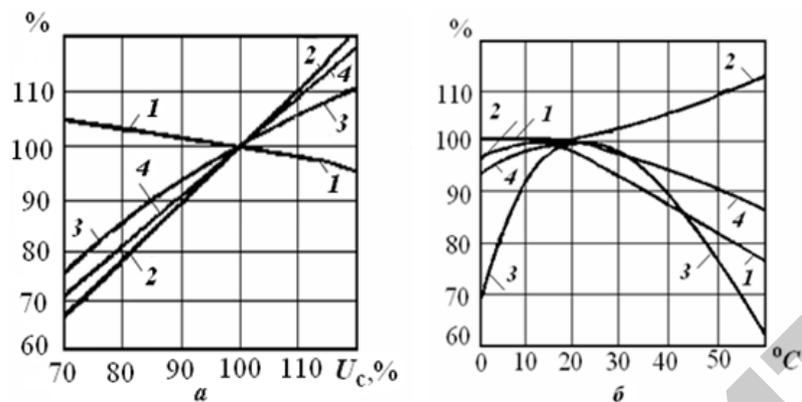


Рис. П4.4. Зависимость напряжения на электродах (1), тока (2), светового потока (3) и световой отдачи (4) лампы от напряжения питающей сети (а) и температуры окружающей сети (б)

Совершенствование люминесцентных ламп направлено на уменьшение их размеров и материалоемкости, повышение световой отдачи. Изготавливают энергоэкономичные люминесцентные лампы (маркировка Т8) мощностью 15, 18, 36 и 58 Вт со стеклянной трубкой уменьшенного диаметра (26 мм). Эти лампы позволяют экономить до 10 % потребляемой энергии и до 30 % материалов (люминофор, алюминий, стекло) при светотехнических параметрах, сопоставимых с параметрами люминесцентных ламп маркировки

Т12. Их средний срок службы – 12–15 тыс. ч, световая отдача – до 60–90 лм · Вт⁻¹.

Освоен выпуск люминесцентных ламп с диаметрами газоразрядной трубки 16 (маркировка Т5) и 12,5 (маркировка Т4) мм, пришедших на смену люминесцентным лампам Т8. Кроме уменьшенного диаметра трубки они отличаются повышенными световой отдачей (до 82–104 лм · Вт⁻¹) и сроком службы (до 20 тыс. ч).

Значительный интерес представляют компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), служащие для непосредственной замены малоэффективных ламп накаливания. КЛЛ представляют собой компактную конструкцию, включающую миниатюрную стеклянную газоразрядную трубку сложной конфигурации (изогнутую в виде спирали или U-образную), встроенную малогабаритную электронную пускорегулирующую аппаратуру и, в некоторых случаях, рассеиватель. Они снабжены стандартным резьбовым цоколем типа Е14 или Е27 и включаются в сеть по тому же принципу, что и лампы накаливания. Выпускают КЛЛ мощностью от 3 до 85 Вт со световой отдачей от 30 до 75 лм · Вт⁻¹, сроком службы 5–10 тыс. ч и различной цветовой гаммой видимого излучения – так называемым «теплым» (цветовая температура 2700 К), «холодным» (4000–4200 К) либо дневным (6400 К и более) светом.

Для включения газоразрядных ламп низкого давления в электрическую сеть применяют специальные пускорегулирующие аппараты (ПРА), обеспечивающие зажигание, разгорание и стабилизацию режима электрического разряда, подавление радиопомех, возникающих при работе, повышение коэффициента мощности и снижение пульсации светового потока. В зависимости от режима зажигания ПРА подразделяют на: импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов; горячего зажигания с постоянным подогревом электродов; мгновенного зажигания при холодных электродах лампы.

Основными элементами классической схемы импульсного зажигания с предварительным подогревом электродов являются люминесцентная лампа, дроссель в качестве балластного сопротивления и стартер (рис. П4.5).

Стартер тлеющего разряда представляет собой миниатюрную газоразрядную лампу с биметаллическими электродами, заполненную смесью аргона, неона и гелия. Стеклянная колба лампы стартера помещена в металлический корпус цилиндрической формы. Присоединение стартера к схеме осуществляется контактными элект-

родами. Напряжение зажигания разряда в лампе стартера составляет не менее 70 В для стартера 20С-127, 130 В для стартера 80С-220 и 140 В для стартера 65С-220. Обозначение стартера включает: С – стартер; 20 и 80 – предельные значения мощности люминесцентных ламп (65 – мощность лампы), для которых предназначен стартер; 127 и 220 – номинальное напряжение сети, соответственно 120 и 230 В.

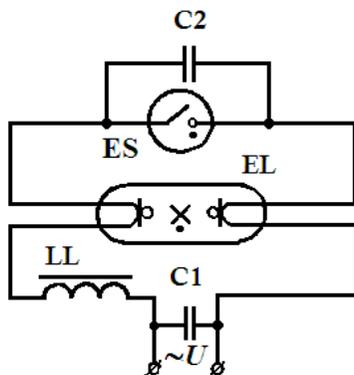


Рис. П4.5. Схема включения люминесцентной лампы с использованием стартера тлеющего разряда:

LL – дроссель; EL – люминесцентная лампа; C1 и C2 – конденсаторы; ES – стартер

При подаче напряжения в схему включения люминесцентной лампы ток не проходит через ее газоразрядный промежуток, так как он не ионизирован и является изолятором. В таком состоянии для его пробоя необходимо напряжение, превышающее в несколько раз значение напряжения сети. Однако в стартере при этом возникает тлеющий электрический разряд, сопровождающийся протеканием тока (20–50 мкА) в электрической цепи, образованной дросселем, нитями накала электродов люминесцентной лампы и самим стартером. Под действием тлеющего электрического разряда биметаллические электроды стартера разогреваются, изгибаются, накоротко соединяются друг с другом и замыкают цепь накала электродов люминесцентной лампы через дроссель на напряжение сети. Проходящий при этом ток, равный 0,9–2,0 номинального тока люминесцентной лампы, обеспечивает интенсивный разогрев ее электродов. За 1–2 с электроды люминесцентной лампы разогреваются до 700–900 °С,

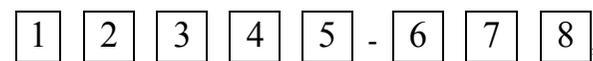
вследствие чего увеличивается электронная эмиссия, ионизируется газовый промежуток и облегчаются условия его пробоя.

Электрический разряд в стартере прекращается, так как разность потенциалов на его электродах равна нулю. Его электроды охлаждаются и, возвращаясь в исходное положение, разрывают цепи накала электродов люминесцентной лампы. В момент разрыва цепи в дросселе возникает электродвижущая сила самоиндукции и образованный таким образом повышенный импульс напряжения (700–1000 В) прикладывается к электродам люминесцентной лампы, что обеспечивает пробой ее газоразрядного промежутка и зажигание. После зажигания люминесцентной лампы напряжение на стартере, включенном параллельно электродам лампы, приблизительно равно половине напряжения сети, и его недостаточно для возникновения тлеющего разряда. Стартер отключается, однако если люминесцентная лампа по какой-либо причине не зажглась, то весь процесс зажигания повторяется.

В рассмотренной схеме самым ненадежным элементом является стартер. Надежность схем повышается при использовании электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА), базирующихся на использовании микропроцессоров для управления работой лампы, включая предварительный разогрев ее электродов, защиту от аномальных режимов работы и неисправностей, помехоподавление, корректировку коэффициента мощности и др. Использование ЭПРА позволяет организовать управление работой газоразрядной лампы и при применении токов высокой частоты (20 кГц и выше), что значительно повышает ее эксплуатационные характеристики.

ЭПРА отличаются рядом неоспоримых преимуществ, так как обеспечивают: экономию электроэнергии до 20 % в сопоставлении с индукционным электромагнитным балластным сопротивлением; высокий коэффициент мощности ($\cos\phi > 0,96–0,98$); увеличение срока службы и уменьшение пульсации светового потока ламп; отсутствие шума во время работы; более широкий диапазон рабочих температур и напряжений питания; автоматическое отключение при выходе из строя лампы.

Электромагнитные ПРА для включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления имеют следующую структуру обозначения:



где 1 – цифра, указывающая на число подключаемых ламп;

- 2 – буква, указывающая на сдвиг фаз тока и напряжения (И – индуктивный, Е – емкостной, при токе, опережающем по фазе напряжение сети, К – компенсированный);
- 3 – цифры, обозначающие мощность одной лампы, Вт;
- 4 – буква, указывающая на уровень создаваемого шума (Н – нормальный, П – пониженный, А – особо низкий, С – очень низкий);
- 5 – двухзначное число, обозначающее номер серии;
- 6 – трехзначное число, обозначающее номер исполнения;
- 7 и 8 – буквы и цифра, обозначающие климатическое исполнение и категорию размещения.

Устройство, параметры и характеристики газоразрядных ламп высокого давления, схемы их включения в сеть и используемая при этом пускорегулирующая аппаратура¹⁰

Из газоразрядных источников высокого давления, используемых в установках искусственного освещения, следует выделить лампы типов ДРЛ, ДРИ и ДНАТ.

Лампы типа ДРЛ (дуговая ртутная люминесцентная) применяются для освещения производственных территорий, строительных площадок, проезжей части дорог, а также помещений промышленных предприятий, не требующих высокого качества цветопередачи.

Конструктивно лампа состоит из ртутно-кварцевой горелки высокого давления, заключенной во внешнюю заполненную инертным газом стеклянную колбу. На внутреннюю поверхность колбы нанесен люминофор, преобразующий ультрафиолетовое излучение горелки в видимый свет. Колба газоразрядной горелки выполнена из кварцевого стекла в виде цилиндрической трубки, в торцы которой впаяны вольфрамовые электроды. Внутри колбы горелки находится аргон и дозированное количество ртути. Газоразрядная трубка лампы содержит четыре электрода (по два основных и поджигающих). Поджигающие электроды присоединены через омические сопротивления так, что расстояние между ними и противофазными основными рабочими электродами значительно меньше расстояния между основными электродами.

Период разгорания лампы ДРЛ продолжается 3–7 мин. За это время происходят нагревание горелки и испарение ртути. Давление паров ртути повышается, изменяются электрические (ток, мощность и др.) и светотехнические (световой поток, световая отдача и др.) параметры. Так, после зажигания электрического разряда начальное напряжение на лампе составляет 25–30 В и по мере разгорания по-

¹⁰ Более полная информация по приводимому в приложении материалу изложена в рекомендуемой литературе [8, подразделы 3.1, 3.2, 3.3.1, 3.3.4], [5, подразделы 2.2, 2.4] и др.

Классификация газоразрядных источников оптического излучения в зависимости от рабочего давления среды в колбе, механизм образования в них оптического излучения, условия стабилизации режима дугового разряда и технические параметры, по которым их выбирают и сопоставляют, приведены в Приложении 4.

вышается до 115–145 В. В момент зажигания ток в 2–2,6 раза превышает номинальный и по мере разогрева горелки и испарения в ней ртути постепенно уменьшается до номинального значения. Мощность и световой поток лампы возрастают до номинальных значений. После разгорания лампы наблюдается устойчивый режим ее работы и происходит стабилизация электрических и светотехнических параметров. Повторно зажечь погасшую лампу можно лишь после того, как она остынет и пары ртути сконденсируются, то есть примерно через 10–15 мин.

Для ламп ДРЛ характерен относительный недостаток красного цвета в спектре излучения, что вызывает искажение цветовых ощущений при освещении. Проблема неудовлетворительной цветопередачи побудила введение для характеристики ламп дополнительного параметра – «красное отношение», %, определяющего отношение светового потока в области спектра красного цвета (610–700 нм) к полному потоку излучения в области видимого излучения (380–700 нм).

Промышленность выпускает лампы ДРЛ мощностью от 50 до 2000 Вт для включения в сеть переменного тока номинальным напряжением 230 и 400 В. Световая отдача ламп – 40–58,5 лм · Вт⁻¹, номинальный срок службы – 12–20 тыс. ч, «красное отношение» – 6, 10 и 15 %.

Так как горелка лампы ДРЛ помещена в стеклянную колбу, теплоизолирующую ее от окружающей среды, изменение параметров окружающей среды в пределах от –30 до +40 °С незначительно влияет на изменение электрических и светотехнических параметров. Влияние температуры окружающей среды в основном сказывается только на процессе зажигания и разгорания. Однако световой поток лампы снижается к концу ее срока службы на 25–30 %. Наблюдается уменьшение и «красного отношения».

На электрические и светотехнические параметры ламп ДРЛ существенное влияние оказывает отклонение напряжения питающей сети от номинального значения. При отклонении напряжения сети в пределах ±10 % изменения светового потока и мощности ламп в установившемся режиме аппроксимируются следующими зависимостями:

$$\frac{\Delta\Phi_c}{\Phi_{cH}} \cong 2,5 \frac{\Delta U}{U_H} \text{ и } \frac{\Delta P_c}{P_H} \cong 2,0 \frac{\Delta U}{U_H}, \quad (\text{П5.1})$$

где $\Delta\Phi_c$, ΔP , ΔU – отклонения светового потока, мощности и сетевого напряжения от номинального значения Φ_{cH} , P_H и U_H соответственно.

Существенным недостатком ламп ДРЛ является значительная пульсация светового потока (до 75 %) и неудовлетворительная цветопередача ($T_c = 3800 \text{ К}$, $R_a = 42$).

Обозначение ламп ДРЛ включает: буквы, означающие соответственно дуговая (Д), ртутная (Р), люминесцентная (Л); цифры, указывающие мощность лампы, Вт; цифры в скобках, определяющие «красное отношение», %; цифра через дефис, указывающая номер разработки, имеющей конструктивные отличия от базовой модели. Пример обозначения – ДРЛ 250(10)-1.

Металлогалогенные лампы типа ДРИ (дуговая ртутная с излучающими добавками) – группа источников видимого излучения, в значительной степени определяющая общий прогресс развития газоразрядных источников высокого давления. Принципиально они отличаются от ламп ДРЛ добавками галойдных соединений металлов (натрия, таллия, индия и др.) к аргону и ртути газовой горелки и, как правило, отсутствием люминофорного покрытия на внутренней поверхности внешней колбы.

Газоразрядная кварцевая трубка лампы ДРИ, с обеих сторон которой впаяны электроды, помещается в прозрачную термостойкую колбу эллипсоидной формы. В основании колбы может быть установлен теплоотражающий экран. С целью перераспределения светового потока на внутреннюю поверхность колбы может быть нанесено зеркальное покрытие (лампы типа ДРИЗ).

Электрический разряд в среде галойдных соединений металлов генерирует видимое излучение, дополняющее ультрафиолетовое излучение в парах ртути. Например, введение иодида таллия насыщает спектр зеленым цветом, натрия – желтым цвет, а индия – голубым. Варьирование в процессе изготовления состава смеси в горелке дает возможность получить цветность излучения лампы, близкую к естественному свету даже без использования (полностью или частично) люминофора на внешней колбе. Однако лампы ДРИ с люминофором на внешней колбе обеспечивают более высококачественную цветопередачу.

Лампы ДРИ изготавливают мощностью от 125 до 3500 Вт. Их световая отдача составляет 66–100 лм · Вт⁻¹, номинальный срок службы – 0,6–10 тыс. ч, коэффициент пульсации светового потока –

30 %, время разгорания – 2–5 мин. К концу срока службы световой поток ламп уменьшается на 30–50 %.

Лампы характеризуются удовлетворительной цветопередачей излучения ($T_c = 4200 \text{ K}$, $R_a = 60$). На основании требований к цветопередаче их разделяют на лампы для общего освещения, лампы с улучшенной цветопередачей и лампы специального применения (например, для телевизионных съемок). Их подключают в зависимости от типоразмера к сети напряжением 230 и 400 В.

Условия окружающей среды не оказывают существенного влияния на изменение параметров ламп. Однако их светотехнические и электрические параметры зависят от отклонения напряжения сети от номинального значения. При изменении напряжения питающей сети в пределах $\pm 10\%$ номинального значения световой поток и мощность ламп изменяются в следующих отношениях:

$$\frac{\Delta \Phi_c}{\Phi_{cH}} \cong 2,5 \frac{\Delta U}{U_H} \quad \text{и} \quad \frac{\Delta P_c}{P_H} \cong 2,2 \frac{\Delta U}{U_H}. \quad (\text{П5.2})$$

Обозначение ламп ДРИ включает: буквы ДРИ или ДРИЗ, означающие соответственно дуговая (Д), ртутная (Р), с излучающими добавками (И), зеркальная (З); цифры, указывающие мощность лампы, Вт; цифру через дефис, указывающую номер модификации или разработки. Пример обозначения – ДРИ1000-1.

Лампы типа ДНаТ (дуговая натриевая трубчатая) отличаются среди всех газоразрядных ламп самой большой световой отдачей (до $140 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$) и незначительным снижением излучаемого светового потока на протяжении всего срока эксплуатации. Однако в их спектре до 70 % излучения сосредоточено в желто-оранжевой области (560–610 нм), что определяет неудовлетворительную цветопередачу их излучения ($T_c = 2100 \text{ K}$, $R_a = 25$) и назначение – освещение улиц, перекрестков и территорий промышленных объектов, декоративное и архитектурное освещение.

Тонкостенная трубчатая газоразрядная горелка ламп ДНаТ изготовлена из светопропускающей поликристаллической керамики (окиси алюминия), полость которой заполнена ксеноном с добавками натрия (амальгамы натрия) и ртути (амальгамы ртути). Горелка размещена во внешней колбе из тугоплавкого стекла, которая имеет цилиндрическую или эллипсоидальную форму и оснащена резьбовым цоколем.

Лампы ДНаТ изготавливают мощностью от 70 до 1000 Вт. Их световая отдача – $100\text{--}125 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, средняя продолжительность

горения – 6–15 тыс. ч, коэффициент пульсации светового потока – 70 %, время разгорания – 5–15 мин.

Лампы характеризуются хорошей стабильностью светового потока в течение всего срока службы. Уменьшение светового потока – не более 15–20 % за 10 тыс. ч работы. Они малочувствительны к температуре окружающей среды и работоспособны при ее изменении в диапазоне от -60 до $+40 \text{ }^\circ\text{C}$. Однако колебания напряжения электрической сети существенно сказываются на их световых и электрических параметрах (рис. П5.1).

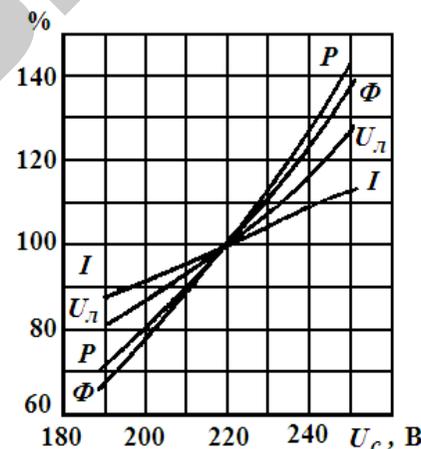


Рис. П5.1. Зависимости мощности P , светового потока Φ , напряжения на лампе $U_{л}$ и тока I лампы ДНаТ от изменения напряжения питающей сети U_c

При эксплуатации ламп типа ДНаТ требуется соблюдать рекомендуемое (указывается на колбе) положение установки ламп: цоколем вверх или вниз с нормированным отклонением угла от вертикального положения.

Обозначение ламп ДНаТ включает: буквы ДНаТ, означающие соответственно дуговая (Д), натриевая (На), трубчатая (Т), зеркальная (З); цифры, указывающие мощность лампы, Вт; цифру через дефис, указывающую номер разработки. Пример обозначения лампы – ДНаТ250-5.

Включение газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ в сеть переменного тока возможно только путем последовательного соединения с ними специального ПРА. В зависи-

мости от типа и конструктивных модификаций ламп различают и схемы их включения в сеть.

Зажигание электрического разряда в кварцевой горелке двухэлектродных ламп, например, ДРИ и ДНаТ, не может быть осуществлено рабочим напряжением сети, так как напряжение их зажигания значительно выше сетевого. Для первоначального пробоя газового промежутка к электродам лампы должен быть приложен кратковременный импульс напряжения в несколько киловольт. Его можно получить только при помощи специальной схемы включения лампы, содержащей специальное поджигающее устройство.

В четырехэлектродных лампах ДРЛ зажиганию основного разряда между рабочими электродами предшествует возникновение тлеющего разряда между рабочими и поджигающими электродами, который затем переходит на основные электроды. Для четырехэлектродных ламп ДРЛ зажигание электрического разряда в кварцевой горелке может быть произведено от сетевого напряжения 230 или 400 В. В схеме включения таких ламп (рис. П5.2) последовательно с лампой включается дроссель. Так как при индуктивном балласте коэффициент мощности ПРА составляет 0,45–0,6, то для его повышения до требуемого значения в схему вводится конденсатор С. Емкость конденсатора определяется мощностью лампы.

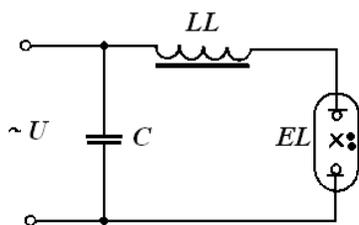


Рис. П5.2. Принципиальная схема включения четырехэлектродной лампы ДРЛ в сеть: LL – балластный дроссель; С – конденсатор; EL – лампа

Лампы ДРИ и ДНаТ для включения в сеть требуют в дополнение к балластному сопротивлению наличия специального зажигающего устройства – УИЗУ (универсальное импульсное зажигающее устройство) или ИЗУ (импульсное зажигающее устройство), генерирующего импульсы высокого напряжения (рис. П5.3). Зажигающие устройства относятся к генераторам параллельного (УИЗУ) и последовательного (ИЗУ) поджига с емкостным накопителем энергии

и полупроводниковым ключом. Они обеспечивают надежное зажигание ламп при температуре окружающей среды до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

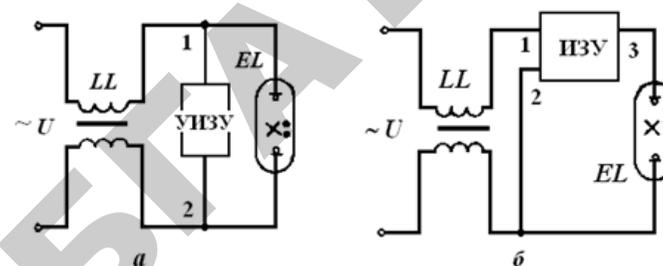


Рис. П5.3. Принципиальная электрическая схема включения ламп ДРИ и ДНаТ с зажигающим устройством типов УИЗУ (а) и ИЗУ (б)

Отметим, что для каждого из типов и каждой мощности ламп используется свое балластное сопротивление, поскольку им характерны специфические условия разгорания и рабочие режимы. Например, у ламп ДНаТ начальное напряжение горения на 25–30 % ниже, чем у ламп ДРЛ или ДРИ идентичной мощности.

В последнее время для включения в сеть газоразрядных ламп высокого давления вместо электромагнитных ПРА активно применяются ЭПРА, сочетающие в единой конструкции балластное сопротивление и устройство импульсного зажигания. Используемые для включения в сеть ламп ДРЛ, ДРИ и ДНаТ ЭПРА отличаются от электромагнитных ПРА рядом неоспоримых преимуществ и позволяют значительно уменьшить потери электрической энергии в ПРА, повысить коэффициент мощности, увеличить срок службы ламп и уменьшить пульсацию излучаемого ими светового потока.

Каждому электромагнитному ПРА для включения газоразрядных ламп высокого давления присваивается условное обозначение, характеризующее его назначение, устройство, исполнение и параметры. Структура условного обозначения ПРА такова:

$$\boxed{1} \boxed{2} - \boxed{3} \boxed{4} / \boxed{5} - \boxed{6} - \boxed{7} \boxed{8}$$

где 1 – цифра, указывающая на число одновременно присоединяемых к ПРА ламп;

2 – буквы ДБИ (дроссель балластный индукционный);

3 – цифры, указывающие мощность присоединенной лампы, Вт;

- 4 – буквы, указывающие тип лампы (ДРЛ, ДРИ, ДНаТ);
- 5 – цифры, указывающие напряжение сети, на которое включается ПРА;
- 6 – буква, характеризующая конструктивное использование аппарата (В – встроенные в осветительный прибор, Н – независимые);
- 7 – трехзначное число, указывающее номер серии разработки ПРА;
- 8 – буква и цифры, указывающие климатическое исполнение и категорию размещения.

Пример условного обозначения ПРА: 1ДБИ-400ДНаТ/220-В-009
 У4 – дроссель балластный индукционный для ламп ДНаТ мощностью 400 Вт на напряжение сети 220 (230) В, встроенный, серии разработки 009, климатического исполнения У и категории размещения 4.

Устройство, параметры и характеристики светодиодов и индукционных ламп

Светодиоды (светоизлучающие диоды) – полупроводниковые приборы с *p-n*-переходом, излучающие некогерентный свет при пропускании через него электрического тока. Их принцип действия основан на физическом явлении возникновения видимого излучения при прохождении электрического тока через *p-n*-переход и рекомбинации носителей противоположного знака (дырок и электронов, соответственно в областях *p* и *n*) в случае инжекции последних извне. Если приложить к *p-n*-переходу постоянное напряжение в прямом направлении (плюсом к контакту *p*, а минусом – к *n*), через светодиод потечет ток. При прохождении электронов через активную зону *p-n*-перехода электроны рекомбинируют с дырками, в результате чего выделяются фотоны оптического излучения.

Цвет свечения светодиода определяется типом используемых полупроводниковых материалов и легирующих примесей, образующих *p-n*-переход. Например, светодиоды, изготовленные из арсенида галлия (GaAs) или алюминия галлия арсенида (AlGaAs), излучают в инфракрасной части спектра. Красный цвет излучают светодиоды из галлия арсенид-фосфида (GaAsP), зеленый – индия-галлия нитрида (InGaN), голубой – селенида цинка (ZnSe), фиолетовый – индия-галлия нитрида (InGaN), ультрафиолетовый – нитридов алюминия (AlN), алюминия-галлия (AlGaIn) или алюминия-галлия-индия (AlGaInN). Кроме того, если к кристаллу, вызывающему голубое (синее) или ультрафиолетовое свечение, добавить люминофор, то получим излучение в видимом спектре белого цвета.

Светодиод состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы (рис. П6.1). Конструкция светодиода обеспечивает минимальные потери излучения при выводе во внешнюю среду, фокусировку излучения в заданном телесном угле (от 4 до 170 градусов) и эффективный отвод теплоты от полупроводникового кристалла через медное или алюминиевое основание. Линза светодиода фокусирует излучение кристалла и защищает кристалл от влаги и коррозии.

Светодиоды характеризуются несколькими основными параметрами: типом корпуса; номинальным рабочим током и напря-

жением или допустимыми диапазонами их изменения; спектром (цветом) излучения; углом рассеивания светового потока. Под типом корпуса, как правило, понимают диаметр и цвет линзы (колбы). Цвет линзы может быть красным, желтым, зеленым, голубым, фиолетовым, белым. Однако следует отметить, что большинство современных светодиодов выполнено из бесцветного прозрачного пластика, поэтому цвет светодиода сложно определить до его включения.

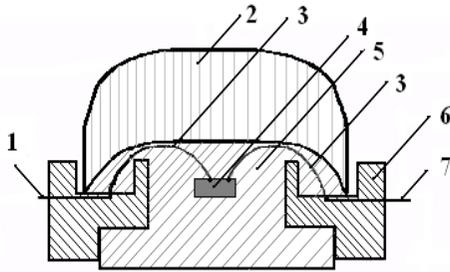


Рис. Пб.1. Общий вид конструкции светодиода:

1 – анод; 2 – полимерная линза; 3 – токоподводы; 4 – полупроводник;
5 – основание, заполненное силиконом; 6 – корпус; 7 – катод

Вольтамперная характеристика светодиода нелинейная, и каждому значению напряжения соответствует своя величина протекающего через него тока. Чем выше напряжение, тем выше значение тока и тем больше излучаемый ими световой поток (светимость), так как световой поток изменяется (а следовательно, и регулируется) при изменении напряжения.

Применяемые для освещения светодиоды работают от источника постоянного тока напряжением 3,5–24 В. Так как светодиоды не в состоянии стабилизировать потребляемый ток, при их подключении к питающему напряжению используют токоограничивающие резисторы.

Для каждого светодиода существуют допустимые значения напряжения питания U_{\max} и U_{\min} . При подаче напряжения свыше значений U_{\max} наступает электрический пробой, в результате которого светодиод выходит из строя. При напряжении ниже U_{\min} светодиод не генерирует видимое излучение. Диапазон питающих напряжений между U_{\min} и U_{\max} называют «рабочей» зоной (допустимым диапазоном изменения напряжения).

Светотехнические характеристики светодиода определяются значениями светового потока и осевой силой света, спектром излучения и углом рассеивания светового потока. Сплошной спектр излучения светодиодов, как правило, расположен в видимой области. Он зависит от состава полупроводниковых материалов, из которых изготовлен кристалл светодиода, температуры окружающей среды, величины питающего напряжения и протекающего через светодиод тока. В осветительных установках интерес представляют светодиоды, излучающие белый свет.

Угол рассеивания светового потока (угол излучения) в основном определяется конструкцией, оптическими свойствами используемых конструкционных материалов и формой линзы (колбы) светодиода.

Светодиоды также допускается питать в импульсном режиме при использовании распространенной в современной электронике широтно-импульсной модуляции. В этом случае, изменяя длительность и частоту импульсов, можно регулировать яркость светодиодов без изменения цветового оттенка.

Достоинства светодиодов:

- отсутствие стеклянных колб и нитей накаливания, что обеспечивает высокую механическую прочность, ударную и вибрационную устойчивость, надежность;
- отсутствие частей с высокой температурой и высокими электрическими напряжениями гарантирует их высокий уровень электро- и пожарной безопасности;
- безинерционность при генерировании излучения делает их незаменимыми источниками в приборах и устройствах, требующих высокого быстродействия;
- миниатюрность;
- большой срок службы и высокий КПД;
- относительно низкие значения напряжения питания, потребляемых токов, энергопотребления;
- многообразие цветов свечения и направленность излучения;
- возможность регулирования интенсивности излучаемого светового потока.

Недостатки светодиодов:

- относительно высокая стоимость;
- малый световой поток от одного светоизлучающего элемента;
- изменение светотехнических и эксплуатационных параметров со временем;
- повышенные требования к источнику питающего напряжения.

Срок службы светодиодов достигает 60–100 тыс. ч. Их световая отдача – 25–50, а у некоторых (цветные, преимущественно спектра излучения в красной области) до $100 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$, цветовая температура T – 6000–8500 К, индекс цветопередачи R_a – до 80. Они устойчивы к воздействию низких температур.

Группируя светодиоды в одно изделие, в настоящее время на промышленной основе изготавливают светодиодные лампы, ленты, панели, светильники и прожекторы.

Светодиодные лампы изготавливают различной мощности (от 1 Вт и более 20 Вт) в различном исполнении (рис. П6.2) – от ламп для прямой замены ламп накаливания (цоколь E27 и E14) до линейных трубчатых для прямой замены люминесцентных ламп типов T8 и T5 (цоколь G5 и G13) и встраиваемых, которыми можно заменить традиционные галогенные лампы (цоколь MR16, MR11, GU10 и др.). Они оснащены встроенными блоками питания, которые позволяют подключать изделия напрямую к сети переменного тока 220 В. Их срок службы составляет от 50 до 100 тыс. ч. Диапазон температуры их эксплуатации – от -50 до $+60$ °С. Они являются экологически чистыми изделиями (не содержат вредных веществ и побочного ультрафиолетового или инфракрасного излучения) и не требуют дорогостоящей утилизации, например, как газоразрядные лампы. Однако к концу срока службы их световой поток существенно уменьшается, к тому же он зависит от температуры окружающей среды.



Рис. П6.2. Общий вид светодиодных ламп

Светодиоды на сегодня нашли широкое применения в осветительных установках, для архитектурной и ландшафтной подсветки, световой рекламы, светового дизайна помещений и мебели, в информационных табло, одноцветных дисплеях с бегущей строкой

и полноцветных дисплеях больших видеозэкранов, светофорах, дорожных знаках и указателях.

Принцип действия **индукционной лампы** основан на электромагнитной индукции и газовом разряде для генерации оптического излучения преимущественно видимого света. Основным отличием от существующих газоразрядных ламп является безэлектродная конструкция – отсутствие термокатодов и нитей накала, что значительно увеличивает их срок службы.

Индукционная лампа состоит из трех основных частей: газоразрядной трубки, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, магнитного кольца или стержня (феррита) с индукционной катушкой, электронного балласта (генератора высокочастотного тока). Электронный балласт вырабатывает высокочастотный ток, протекающий по индукционной катушке на магнитном кольце или стержне. Электромагнит и индукционная катушка создают газовый разряд в высокочастотном электромагнитном поле, и под воздействием ультрафиолетового излучения разряда происходит свечение люминофора.

В настоящее время индукционные лампы как источник общего освещения имеют характеристики лучше, чем у традиционных источников света, таких как лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и даже светодиодные.

Основные преимущества индукционных ламп:

- большой срок службы (60–120 тыс. ч);
- стабильность работы при пониженных температурах (от -40 °С);
- стабильность работы в большом диапазоне напряжения (от 120 до 270 В);
- встроенная защита от скачков напряжения и короткого замыкания;
- устойчивость к вибрации, случайным ударам;
- полное отсутствие пусковых токов в момент включения;
- мгновенное зажигание при подаче питающего напряжения;
- отсутствие пульсации светового потока.

Индукционные лампы изготавливают с широким спектром типоразмеров – 20, 30, 40, 80, 100, 120, 150, 200, 250, 300 Вт. Их общий вид приведен на рисунке П6.3. Технические параметры:

- световая отдача – $75\text{--}90 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$;
- температура нагрева колбы лампы – $+60\text{--}80$ °С;
- цветовая температура – 2700, 3500, 4000, 5000, 6500 К;
- индекс цветопередачи $R_a > 80$;

Устройство и характеристики осветительных приборов



Рис. Пб.3. Общий вид индукционных ламп

- коэффициент мощности – 0,97–0,99;
- гарантированный срок службы до 5 лет;
- степень защиты – IP65;
- снижение светового потока за весь срок эксплуатации > 15–25 %;
- рабочая частота – до 230 кГц.

Устройство, содержащее корпус, источник(и) света и изделия, предназначенные для крепления источника(ов), включения его (их) в электрическую сеть, перераспределения светового потока, ограничения слепящего действия, защиты от механических повреждений, загрязнения и воздействия окружающей среды, называют световым прибором.

Световые приборы подразделяют на осветительные и светосигнальные, а осветительные световые приборы – на светильники (приборы ближнего действия), прожекторы (дальнего действия) и комплектные осветительные устройства на основе щелевых и плоских световодов.

Светильники предназначены для распределения светового потока источника в больших телесных углах (до 4π) и освещения объектов, находящихся от них на небольшом расстоянии (менее 20-кратного размера светильника). Основные элементы конструкции светильников: корпус, источник(и) света, оптическая система, ламподержатель(и) или патрон(ы), ПРА (для газоразрядных источников) и электротехнические изделия, предназначенные для подключения источника к электрической сети, а также другие вспомогательные приспособления. Оптическая система светильников состоит из отражателей, рассеивателей, защитных стекол, экранирующих решеток, колец и предназначена в основном для перераспределения в требуемом направлении светового потока источников и защиты от их слепящего действия.

Светильники классифицируют по распределению светового потока в пространстве, форме кривой силы света (КСС), способу установки и возможности перемещения при эксплуатации, степени защиты от воздействия окружающей среды, климатическому исполнению и категории размещения, степени пожаро- и взрывобезопасности, классу защиты от поражения электрическим током и целевому назначению, учитывающему возможность работы в определенных условиях эксплуатации.

В основу классификации светильников по светораспределению положено отношение светового потока, направленного в нижнюю полусферу пространства Φ_{\downarrow} , к полному световому потоку Φ , излучаемому светильником. В зависимости от значения отношения

Φ/Φ различают 5 классов светильников – прямого света (П), преимущественно прямого света (Н), рассеянного света (Р), преимущественно отраженного света (В) и отраженного света (О).

По *форме КСС* светильники в соответствии с ГОСТ 13677-82 делят на 7 классов – концентрированная (К), глубокая (Г), косинусная (Д), полуширокая (Л), широкая (Ш), равномерная (М) и синусная (С). Соответствующие типовые КСС, построенные для условия, что в светильнике установлена лампа со световым потоком в 1000 лм, приведены на рисунке П7.1.

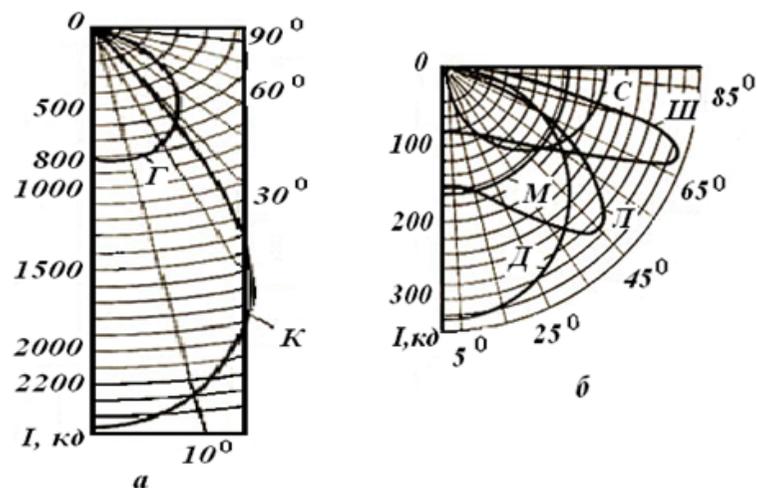


Рис. П7.1. Форма типовых кривых силы света:

a – концентрированная (К), глубокая (Г); *б* – косинусная (Д), равномерная (М), полуширокая (Л), широкая (Ш), синусная (С)

На практике для повышения точности и унификации расчетов осветительных установок некоторые из указанных типовых КСС детализируются с расширением количества типов до 13 – К-1, К-2, К-3, Г-1, Г-2, Г-3, Г-4, Д-1, Д-2, Л, Л-Ш, Ш, М [9] при сохранении их буквенного обозначения и наименования. Светильники, КСС которых невозможно привести к типовой или детализированной, относят к светильникам со специальным светораспределением.

По *способу установки* светильники подразделяют на: подвесные, потолочные, встраиваемые, пристраиваемые, настенные (типа бра), настольные, напольные, консольные, венчающие, торцевые.

В светильниках степень защиты от попадания посторонних твердых тел, пыли и проникновения влаги обозначается в полном соответствии с маркировкой степени защиты электротехнических изделий и оборудования [8, подраздел 4.2].

Светильники, предназначенные для эксплуатации во взрывоопасных помещениях и зонах, изготавливаются в исполнении: взрывобезопасном и повышенной надежности против взрыва.

По степени защиты от поражения электрическим током светильники разделяют на четыре класса:

– *Класс 0* – защита от поражения электрическим током обеспечивается только основной (рабочей) изоляцией. Присоединение корпуса или деталей светильника к заземляющему проводу не предусмотрено, питание светильника осуществляется однофазной двухпроводной сетью.

– *Класс I* – защита от поражения электрическим током обеспечивается основной изоляцией и присоединением корпуса или деталей светильника к РЕ-проводнику стационарной питающей сети.

– *Класс II* – защита от поражения электрическим током обеспечивается двойной или усиленной изоляцией. Светильник не имеет устройства защитного заземления, и его питание осуществляется двухпроводной однофазной сетью.

– *Класс III* – защита от поражения электрическим током обеспечивается применением безопасного сверхнизкого напряжения (< 50 В) питания. Светильник не имеет зажимов для защитного заземления.

Каждому светильнику присваивают шифр, структура которого такова:

$$\boxed{1} \boxed{2} \boxed{3} \boxed{4} - \boxed{5} \times \boxed{6} - \boxed{7} - \boxed{8}$$

где 1 – буква, обозначающая тип источника света (Н – лампы накаливания общего назначения, И – галогенные лампы накаливания, Л – прямые люминесцентные лампы, Ф – фигурные люминесцентные лампы, Р – ртутные лампы высокого давления типа ДРЛ, Г – металлогалогенные лампы типа ДРИ, Ж – натриевые лампы и др.);

2 – буква, обозначающая способ установки светильника (С – подвесные, П – потолочные, Б – настенные, В – встраиваемые, К – консольные и т. д.);

3 – буква, обозначающая основные назначения светильника (П – для промышленных предприятий, О – для общественных

зданий, Б – для жилых (бытовых) помещений, У – для наружного освещения);

4 – двухзначное число (01...99), обозначающее номер серии;

5 – цифра (цифры), обозначающая количество ламп в светильнике (в случае одной лампы 1 не указывается);

6 – цифры, обозначающие мощность ламп, Вт;

7 – трехзначное число (000...999), обозначающее номер модификации;

8 – буква и цифра, указывающие на климатическое исполнение и категорию размещения.

Наряду с условными обозначениями светильникам могут быть присвоены и условные наименования (собственные или фирменные имена), например, «Астра», «Бирюза», «Лада» и др. Однако это наименование должно указываться только после условного обозначения и без последнего применяться не может.

Основными светотехническими характеристиками светильников являются: светораспределение, КПД, защитный угол.

Светораспределение светильников общего освещения определяется формой КСС. Светильники могут быть симметричного и несимметричного светораспределения. Светильники с симметричным светораспределением характеризуются продольной КСС, полученной в результате сечения их фотометрического тела излучения любой плоскостью, проходящей через вертикальную ось симметрии светильника (рис. П7.1).

Для характеристики распределения силы света светильников с несимметричным светораспределением пользуются семейством КСС в разных плоскостях, например, для светильников с люминесцентными лампами в двух – продольной и поперечной.

КПД светильника (η) – отношение светового потока светильника $\Phi_{\text{свет}}$ к световому потоку источника света $\Phi_{\text{источ}}$:

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{свет}}}{\Phi_{\text{источ}}}. \quad (\text{П7.1})$$

Общий КПД светильника могут подразделять на КПД в верхнюю и нижнюю полусферы.

Защитный угол светильника γ определяет степень защиты глаза наблюдателя от воздействия ярких частей источника света. Его значение можно определить по формуле:

$$\gamma = \arctg \frac{h}{l}, \quad (\text{П7.2})$$

где h – минимальная высота от края входного отверстия светильника до светящегося тела источника или минимальная высота экранирующих элементов решетки (рис. П7.2), м;

l – максимальное расстояние по горизонтали от основания высоты до края выходного отверстия или между экранирующими элементами решетки, м.

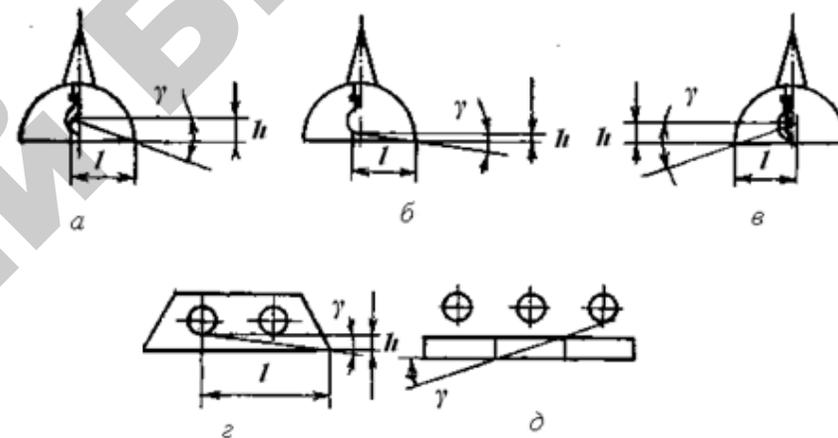


Рис. П7.2. Защитный угол светильников, создаваемый отражателями (а, б, в, г) и экранирующей решеткой (д), для светильников с лампами накаливания (а), газоразрядными лампами высокого давления (б, в) и люминесцентными лампами (г, д)

Защитный угол может быть отнесен к верхней или нижней полусфере.

Прожектором называют световой прибор дальнего действия (более 30 м), перераспределяющий световой поток источника внутри малых телесных углов. Они служат для освещения удаленных объектов, находящихся на расстоянии, намного превышающем их размеры.

Прожектор конструктивно состоит из таких же элементов, что и светильник, – корпуса, оптической системы, источника света, патрона (ламподдержателей), ПРА (для газоразрядных источников) и других электротехнических изделий – и отличается в основном

особенностями оптической системы, предназначенной для перераспределения в требуемом направлении светового потока источника.

Буквенное обозначение в маркировке прожекторов означает:

– Г, Р, Ж, Н и И в прожекторах типов ГО, РО, ЖО, НО и ИО – тип источника света, соответственно, ДРИ, ДРЛ, ДНаТ, лампы накаливания общего назначения и галогенные;

– ПЗС – прожектор заливающего света со стеклянным отражением;

– ПСМ – прожектор среднего светораспределения с металлическим отражением;

– ПЗР – прожектор с лампой ДРЛ;

– ПКН – прожектор с галогенными лампами накаливания;

– ППП – прожектор с металлогалогенными лампами с параболоидным зеркальным отражением;

– ПГЦ – то же с параболоцилиндрическим отражением.

Цифры после букв – диаметр выходного отверстия (см) или мощность источника света (Вт).

Комплектные осветительные устройства (КОУ) на основе щелевых световодов – класс световых приборов, занимающих промежуточное положение между светильниками и прожекторами, максимально аккумулировавших их достоинства и обеспечивающих эффективное освещение, как правило, производственных помещений с большим содержанием пыли, копоти, влаги и агрессивной среды, в том числе содержащих взрывоопасные и пожароопасные зоны, при снижении металлоемкости осветительных установок в 5–6 раз и затрат на обслуживание.

КОУ со щелевыми световодами поставляются полностью укомплектованными всем необходимым для монтажа и эксплуатации, включая источники света, электротехнические блоки, содержащие ПРА, зажигающие и предохраняющие элементы, монтажные узлы, и собираются непосредственно у потребителя.

Принцип действия КОУ заключается в том, что для освещения используют малое число мощных источников света, световой поток которых при помощи специальных оптических систем направляют в торец щелевого световода, в котором он равномерно распределяется и посредством отражателя направляется на рабочую поверхность. При этом обеспечивается равномерная освещенность широкой полосы рабочей поверхности освещаемого помещения, а светотехнические и эксплуатационные характеристики КОУ практически не зависят от воздействия окружающей среды.

КОУ состоит из следующих основных узлов: щелевого световода, камеры с источником света, блока ПРА, торцевого и переходного (для некоторых исполнений КОУ) элементов. Канал щелевого световода представляет собой полый удлиненный цилиндр из полиэтилентерефталатной пленки. Внутренняя поверхность канала, за исключением продольной светопропускающей полосы (оптической щели), покрыта зеркально отражающим слоем.

Вводное устройство с источниками света и блоком ПРА смонтировано в специальной камере, которая обеспечивает их механическую защиту, электрическое питание и защиту от воздействия окружающей среды. Торцевой элемент содержит дополнительный отражатель и является в основном монтажным узлом, служащим для формирования и крепления щелевого световода. Переходной элемент предназначен для передачи излучения источников света к щелевому световоду и одновременной изоляции камеры от освещаемого помещения.

Расшифровку условного обозначения КОУ покажем на примере КОУ1А-М600-4×700/С-УЗ: КОУ – комплектное осветительное устройство; 1 – одностороннего действия (2 – двустороннего); А – имеется переходной элемент; М – мягкая оболочка из пленки (Т – твердая); 600 – диаметр канала щелевого световода (условный), мм; 4 – количество источников света; 700 – мощность источника света, Вт; С – без дополнительной камеры для монтажа в строительных элементах зданий; УЗ – климатическое исполнение, категория размещения.

КОУ в первую очередь используют для обеспечения освещения рабочей поверхности во взрывоопасных и пожароопасных помещениях. Они обеспечивают: сокращение количества используемых источников и светильников, эксплуатационных расходов, протяженности и стоимости распределительной электрической сети, трудоемкости работ по монтажу; повышение надежности осветительных установок благодаря резервированию источников света; снижение затрат материалов и труда на изготовление КОУ в сравнении со светильниками для тяжелых условий среды; использование газоразрядных ламп высокой мощности и интенсивности вместо большого количества ламп накаливания и газоразрядных люминесцентных ламп малой мощности. Основные преимущества КОУ: наличие холодного, без электрического потенциала щелевого световода; большая протяженность светящейся полосы с несимметричным в продольных плоскостях светораспределением, обеспечивающим

высокую равномерность освещения; незначительное влияние окружающей среды на параметры в процессе эксплуатации благодаря особым аэродинамическим свойствам цилиндрических каналов, оптическая щель которых практически не загрязняется; концентрация нескольких газоразрядных ламп в одной точке обслуживания с возможностью их одновременного или отдельного включения; возможность изменения положения щели путем поворота щелевого световода вокруг оптической оси, а также любого расположения КОУ в пространстве; варьирование спектра излучения путем использования светофильтров на вводе в щелевые световоды или применения ламп с разными спектрами излучения.

Качественные параметры осветительных установок

При проектировании установок искусственного освещения ставится задача не только создать требуемую нормированную освещенность рабочей поверхности, но и обеспечить качественные параметры условий видения объектов различия.

Известно, что освещенность в любой точке рабочей поверхности создается за счет светового потока Ф_{рп}, который достиг этой рабочей поверхности и распределился на ней. Учитывая, что не весь световой поток источника Ф_{ист} достигает рабочей поверхности, при светотехническом расчете вводят понятие коэффициента использования светового потока η, значение которого указывает на долю светового потока источника (например, светильника), находящегося на рабочей поверхности:

$$\eta = \frac{\Phi_{рп}}{\Phi_{ист}} \tag{П8.1}$$

Следовательно, при известном значении коэффициента использования светового потока η световой поток источника, который достиг рабочей поверхности и распределился на ней, определяется как

$$\Phi_{рп} = \eta \Phi_{ист} \tag{П8.2}$$

и состоит из двух составляющих: прямой Ф'_{рп} – светового потока, падающего на рабочую поверхность непосредственно от источников (светильников), и отраженной Ф''_{рп} – светового потока, который падает на окружающие поверхности (стены, потолок и др.) непосредственно от источника, отражается от них и достигает рабочей поверхности. Соотношение между составляющими (Ф'_{рп} и Ф''_{рп}) определяется формой кривой распределения силы света источника, окраской, а следовательно, коэффициентами отражения поверхностей, окружающих рабочую зону (стен, потолка и рабочей поверхности), расчетной высотой подвеса источников, площадью и формой освещаемой зоны.

При расчете освещенности в точке горизонтальной поверхности по формулам:

$$E'_{рп} = \frac{I_{\alpha} \cos \beta}{l^2} \text{ или } E'_{рп} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2}, \tag{П8.3}$$

учитывается только прямая составляющая светового потока $\Phi'_{\text{рп}}$. В то же время при измерении освещенности рабочей поверхности одновременно учитываются обе составляющие ($\Phi'_{\text{рп}}$ и $\Phi''_{\text{рп}}$), и результат:

$$E_{\Sigma} = \Phi'_{\text{рп}} + \Phi''_{\text{рп}}. \quad (\text{П8.4})$$

Отношение E_{Σ} к $E'_{\text{рп}}$ позволяет расчетным путем получить значение коэффициента добавочной освещенности μ , учитывающего добавочную освещенность рабочей поверхности за счет отражающих свойств стен, потолка и рабочей поверхности:

$$\mu = \frac{E_{\Sigma}}{E'_{\text{рп}}}. \quad (\text{П8.5})$$

Если определить среднее значение освещенности рабочей поверхности $E_{\text{ср}}$, то с некоторой долей приближения можно вычислить и световой поток $\Phi_{\text{рп}}$, распределившийся на рабочей поверхности:

$$\Phi_{\text{рп}} = E_{\text{ср}}S, \quad (\text{П8.6})$$

и коэффициент использования светового потока η (П8.1).

В приведенных выше формулах (П8.1–П8.6):

η – коэффициент использования светового потока;

$\Phi_{\text{ист}}$ – суммарный световой поток источников осветительной установки, лм;

I_{α} – сила света источника в направлении рассматриваемой точки, кд;

β – угол между нормалью к поверхности и направлением силы света, град.;

α – угол между направлением силы света и осью симметрии источника, град.;

l – расстояние между источником и рассматриваемой точкой, м;

h – расчетная высота подвеса источника, м;

S – площадь освещаемой поверхности, м².

Нормативные документы, в частности ТКП 45-2.04-153-2009 [11], регламентируют качественные параметры осветительной установки – показатели дискомфорта и ослепленности, цилиндрическую освещенность, коэффициенты пульсации и неравномерности освещенности. При этом предельные отношения коэффициента пульсации освещенности $K_{\text{п}}$, коэффициента неравномерности освещенности Z и показателя

ослепленности P установлены для осветительных установок производственных помещений, а цилиндрической освещенности $E_{\text{ц}}$ и показателя дискомфорта M – для осветительных установок жилых и общественных помещений. Из указанных качественных показателей освещения рабочих поверхностей для относительно невысоких сельскохозяйственных помещений к наиболее значимым следует отнести коэффициенты пульсации и неравномерности освещенности, а также показатель ослепленности.

Коэффициент пульсации освещенности $K_{\text{п}}$, % – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников, в первую очередь газоразрядных ламп, при питании их переменным током [4, 7].

Он определяется по формуле:

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{ср}}} \cdot 100, \quad (\text{П8.7})$$

где E_{max} , E_{min} и $E_{\text{ср}}$ – соответственно максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период ее колебания, лк.

Пульсация светового потока газоразрядных ламп, питаемых током промышленной частоты, отрицательно сказывается на зрительной работоспособности и повышает утомление человека, животного или птицы. Она способна вызвать стробоскопический эффект – явление искажения зрительного восприятия вращающихся, движущихся или сменяющихся объектов в мелькающем свете, которое возникает при совпадении кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени в осветительных установках, выполненных газоразрядными источниками света, питаемых переменным током.

Нормами, как правило, предусмотрено ограничение значений $K_{\text{п}}$ до 10–20 % в зависимости от характера зрительных работ. Коэффициент пульсации освещенности не ограничивается при частоте переменного тока, питающего источники света, 300 Гц и более и для помещений с периодическим пребыванием людей при отсутствии в них условий для возникновения стробоскопического эффекта.

В осветительных установках помещений должны предприниматься меры по снижению пульсации освещенности рабочей поверхности, что может быть достигнуто:

– поочередным подключением светильников, соседних в ряду, и соседних рядов к разным фазам сети;

– питанием различных люминесцентных ламп в многоламповом светильнике от разных фаз сети;

– включением люминесцентных ламп в светильнике по схемам, обеспечивающим питание половины ламп отстающим, а второй половины – опережающим током;

– установкой в одной точке двух и более светильников с лампами ДРЛ, ДРИ и ДНаТ с питанием от разных фаз.

Слепящее действие, оказываемое осветительной установкой на глаз человека, для промышленных осветительных установок регламентируется **показателем ослепленности** P . Показатель ослепленности – критерий оценки слепящего действия осветительной установки, определяется по формуле:

$$P = (S - 1) \cdot 1000, \quad (\text{П8.8})$$

где S – коэффициент ослепленности, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения.

Показатель ослепленности в зависимости от характера зрительных работ регламентируется в пределах 10–40 [11]. Он не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты подвеса светильников над полом, а также для помещений с временным пребыванием людей и для площадок, предназначенных для прохода или обслуживания оборудования.

Показатель ослепленности осветительной установки определяют инженерными методами, изложенными в специальной литературе [2, 7, 11]. В общем случае он является функцией параметров осветительной установки (высоты подвеса светильников и относительного расстояния между светильниками), светильников (светораспределения, яркости световой поверхности и источника, защитного угла и спектрального состава излучения) и освещаемого помещения (длины и ширины, определяющих количество установленных светильников, находящихся в поле зрения, а также коэффициентов отражения рабочей поверхности, определяющего ее яркость).

Показатель дискомфорта M – критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, выражающийся формулой [7]:

$$M = \frac{L_C \omega^{0,5}}{\Phi_O L_{ад}^{0,5}}, \quad (\text{П8.9})$$

где L_C – яркость блеского источника, кд · м⁻²;

ω – угловой размер блеского источника, ср;

Φ_O – индекс позиции блеского источника относительно линии зрения;

$L_{ад}$ – яркость адаптации, кд · м⁻².

Показатель дискомфорта, регламентирующий ограничение слепящего действия в осветительных установках общественных, административных, жилых и бытовых помещений, в зависимости от характера зрительных работ не должен превышать значений 40, 60 или 90 единиц [11]. При проектировании показатель дискомфорта рассчитывается инженерными методами, изложенными в специальной литературе [2, 7, 11], или по упрощенной формуле:

$$M = M_T K_M, \quad (\text{П8.10})$$

где M_T – табличное значение показателя дискомфорта;

K_M – поправочный коэффициент, равный:

$$K_M = 0,5 \sqrt{\frac{\Phi_{ср}}{S_{вых}}}, \quad (\text{П8.11})$$

где $\Phi_{ср}$ – реальный световой поток светильника в нижнюю полу-сферу, клм;

$S_{вых}$ – площадь выходного отверстия светильника, м².

Табличное значение показателя дискомфорта M_T зависит от параметров освещаемого помещения (отношений длины и ширины к высоте), коэффициентов отражения поверхностей помещения (потолка, стен, пола и рабочей поверхности), отношения светового потока светильника, направленного в нижнюю полусферу, к его полному световому потоку [2, 7].

Цилиндрическая освещенность $E_{ц}$ – характеристика насыщенности помещения светом. Определяется как средняя плотность светового потока на поверхности вертикально расположенного цилиндра, радиус и высота которого стремятся к нулю [7].

Цилиндрическая освещенность от отдельных светильников определяется делением вертикальной освещенности плоскости, пер-

пендикулярной проекции луча, на л. Расчет цилиндрической освещенности при нескольких светильниках в осветительной установке производится инженерным методом по справочным данным [6, 7].

Коэффициент неравномерности освещенности, определяющий отношение максимальной освещенности рабочей поверхности E_{max} к минимальной E_{min} , не должен превышать для работ I–III разрядов при люминесцентных лампах 1,3 и при других источниках света – 1,5, а для работ IV–VII разрядов – 1,5 и 2,0 соответственно. Неравномерность освещенности допускается повышать до 3,0 в тех случаях, когда по условиям технологии светильники общего освещения могут устанавливаться только на площадках, колоннах или стенах помещения.

Способы и устройства автоматического управления осветительными установками

При создании осветительных установок в обязательном порядке должна быть предусмотрена рациональная система управления ими, которая обуславливается предъявляемыми к ним техническими, экономическими и технологическими требованиями. Технические и экономические требования в основном определяются снижением материальных и финансовых ресурсов, затрат труда, экономией электрической энергии и предотвращением выхода из строя источников. Технологические требования применительно к осветительным установкам сельскохозяйственного назначения исходят из того, что на развитие, продуктивность и жизнедеятельность животных (птицы, растений) определенное фотобиологическое, фотопериодическое и терапевтическое действие оказывает видимое излучение [8, 10]. Кроме того, система управления осветительной установкой должна обеспечивать удобство эксплуатации, минимальные затраты времени на включение (отключение) осветительных приборов, максимальное использование естественного света, требования к режимам работы технологического оборудования.

Предъявляемые требования указывают на то, что управление осветительной установкой должно обеспечивать: полное или частичное включение (отключение) осветительной установки по времени; включение (отключение) отдельных светильников, их групп или всех светильников в помещении (здании) в зависимости от уровня освещения, создаваемого естественным светом; различные уровни или плавное изменение освещенности рабочей поверхности в зависимости от агрозоотехнических требований к содержанию животных и птицы, выращиванию растений определенных возрастных групп или периодов. Выполнение указанных требований возможно только при создании современной системы управления осветительной установкой.

Способы управления осветительной установкой разделяют на местное или дистанционное, автономное или централизованное, дискретное или плавное изменение мощности, включение (отключение) всех или части осветительных приборов или изменение режимов их работы. Средства управления осветительной установкой могут быть неавтоматическими (для включения или отключения

осветительных приборов вручную) и автоматическими (для управления режимом работы осветительных приборов в зависимости от технологических или технических требований, естественной освещенности или по заранее составленной временной программе).

В практике применяются различные схемы управления осветительными установками [8, 10]. При ручном управлении включение (отключение) осветительных приборов, как правило, осуществляют с помощью выключателей (переключателей). При необходимости управления осветительными приборами с двух, трех и более мест применяют переходные и перекрестные (иначе перекидные, крестовые) выключатели. Для примера на рисунке П9.1 приведена принципиальная схема управления осветительными приборами с двух и трех мест.

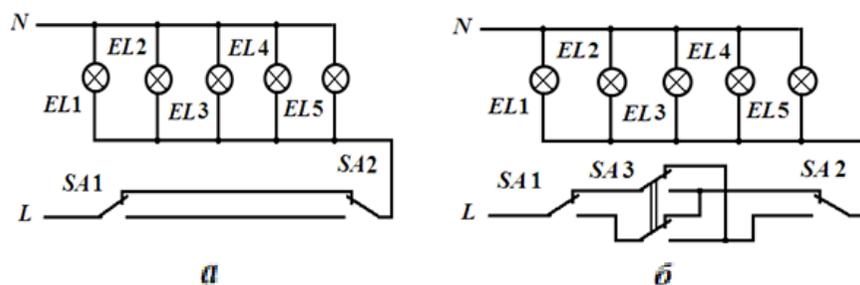


Рис. П9.1. Примеры принципиальных электрических схем управления осветительной установкой из двух (а) и трех (б) мест

Следует отметить, что схемы управления с помощью проходных и крестовых выключателей – так называемые коридорные схемы – являются не самым оптимальным решением. Они создают некоторые удобства управления осветительной установкой, но в то же время требуют для изготовления значительно большего расхода проводов или кабелей. При этом их проводники могут иметь большее сечение, так как путь тока от начала линии до светильника возрастает.

Схему управления осветительной установкой из трех и более мест значительно проще организовать с помощью бистабильными (по иному называемых двустабильными или импульсными) реле, которые (рис. П9.2) представляют собой электронную схему триггера – устройства с двумя устойчивыми состояниями – и управляются

кратковременным импульсом, подаваемым на его вход не фиксируемыми выключателями (кнопками). Все кнопки подключаются параллельно друг другу, что значительно упрощает схему и, соответственно, их монтаж.

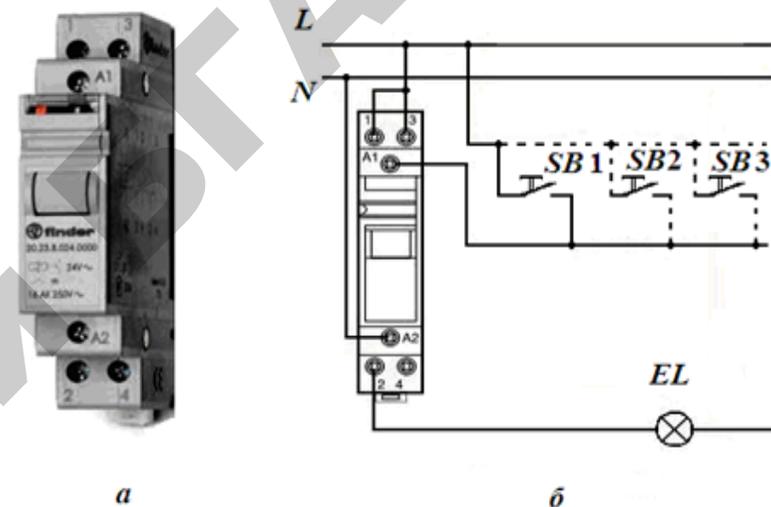


Рис. П9.2. Общий вид (а) и пример монтажной схемы включения (б) бистабильного реле

Бистабильное реле в зависимости от модификации может имитировать один нормально-разомкнутый контакт, два нормально-разомкнутых контакта или нормально-разомкнутый и нормально-замкнутый контакты. Для реализации схемы управления освещением с использованием двустабильного реле наиболее удобно задействовать его нормально-разомкнутый контакт. В приведенной на рисунке П9.2 схеме включения двустабильного реле таким контактом является контакт, имеющий выходы 1–2.

Количество кнопок управления бистабильным реле может быть любым. Первое нажатие на любую кнопку подает управляющий уровень напряжения на вход А1, что вызовет включение реле, замыкание контакта и, соответственно, включение освещения, второе нажатие – отключение и так далее.

Бистабильное реле представляет собой стандартный модуль (шириной 17,5 мм), устанавливаемый на DIN-рейку и монтируемый

в групповом щитке. Такие реле могут работать как в сети 230 В, так и при напряжении 24 В переменного тока.

Реле бистабильные поставляются в различных модификациях и исполнениях. Например, реле BIS-403 дополнительно оборудовано таймером, предназначенным для отключения освещения через установленное время, что может быть использовано при освещении лестничных ступенек и площадок в многоэтажных зданиях.

При разработке схем управления следует учесть, что наибольшая экономия электрической энергии в осветительных установках достигается при полной автоматизации их управления с учетом использования естественного освещения, присутствия людей в помещении, времени и продолжительности производственного процесса. При этом автоматическое управление осветительной установкой может достигаться как путем отключения всех или части светильников, так и плавным изменением мощности источников света (всех, каждого или группы светильников в индивидуальном порядке). В схемах автоматического дискретного управления освещением используют различного рода таймеры (реле времени), фотореле (фотоавтоматы), работающие по сигналам датчиков естественной освещенности, фотоакустические автоматы и автоматические выключатели освещения, оснащенные датчиками присутствия людей (животных) или их движения.

При разработке схем автоматического управления осветительными установками по времени используют различного рода программные реле времени (таймеры), командные приборы и устройства, как электромеханические, так и электронные, в том числе программируемые. По принципу действия они бывают электромагнитными, моторными, пневматическими и электронными. На объектах сельскохозяйственного производства часто используют моторные реле времени 2РВМ и серий ВС, Е-52; пневматические серий РВП-1М, РВП-72, электронные серий ТЭ и ЕЛ и электронно-механические серии ТЭМ-181, программное часовое реле ИНС-9812 и др.

Двухпрограммное реле времени 2РВМ позволяет организовать одновременное управление осветительной установкой по двум программам с возможными интервалами включения (отключения) светильников или их групп, равными 15 мин (первая программа) и 20 мин (вторая программа) в течение 24 часов [8, 10]. Реле времени 2РВМ включает синхронный однофазный электродвигатель М, предназначенный для автоматического подзавода пружины часового

механизма. Работой этого электродвигателя управляет микровыключатель SQ1. Микропереключатели SQ2 и SQ3 срабатывают от воздействия программных штифтов и управляют соответственно работой промежуточных реле KV1 (первая программа) и KV2 (вторая программа). Замыкающие контакты реле KV1 и KV2 используют для управления работой соответствующих электромагнитных пускателей (рис. П9.3).

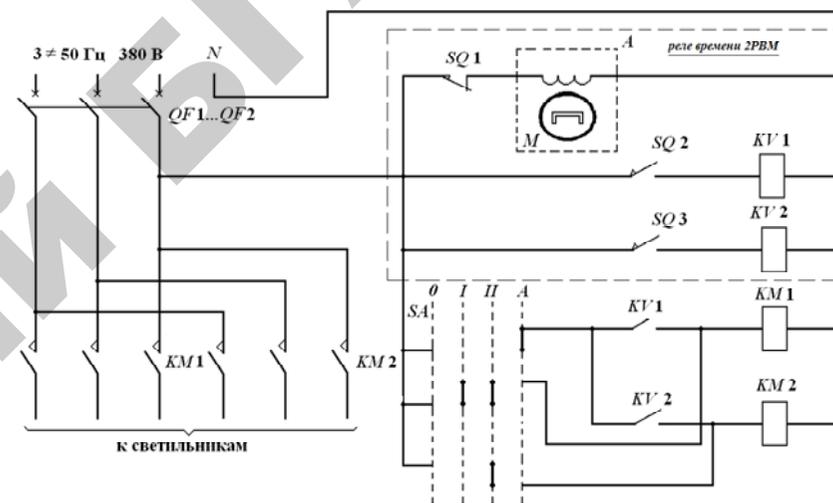


Рис. П9.3. Принципиальная электрическая схема управления осветительной установкой реле времени 2РВМ

Программное часовое реле ИНС-9812 изготовлено в едином корпусе. На лицевой панели расположены цифровой индикатор, на котором отображаются состояние четырех каналов выхода (включен – 1, выключен – 0) и кнопки управления (▲, ▼). Реле имеет встроенный источник питания, обеспечивающий питание схемы прибора при перебоях сетевого напряжения до 1000 часов. В приборе реализованы три режима работы: основной режим, режим установки текущего времени, режим программирования. Принципиальная электрическая схема устройства приведена на рисунке П9.4.

Технические параметры реле ИНС-9812: цикл программирования – 24 часа; дискретность программирования – 1 мин; число шагов программы – 32; число каналов программирования – 4; точность отсчета

(не менее) – $0,1 \text{ с} \cdot \text{сутки}^{-1}$; габариты – $150 \times 120 \times 40 \text{ мм}$; напряжение питания – $\sim 220 (\pm 10 \%) \text{ В}$; коммутируемая мощность каждого канала – 250 Вт .

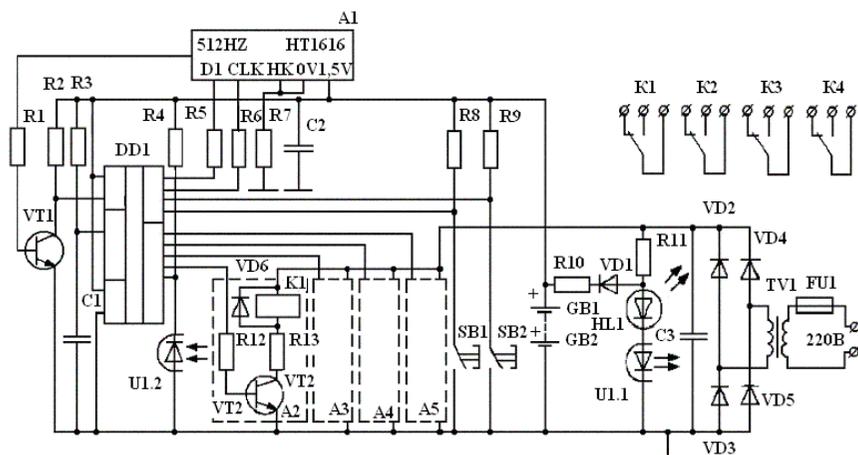


Рис. П9.4. Принципиальная электрическая схема ИПС-9812

Перевод прибора из основного режима в другие осуществляется кнопкой ▼, выход из любого режима в основной производится автоматически через 10 сек. Основной режим предназначен для: управления исполнительными устройствами по заданной программе; оперативного отключения всех исполнительных устройств; индикации состояний исполнительных устройств; индикации текущего времени.

Режим программирования предназначен для просмотра, редактирования или удаления временных точек. Временная точка – это ячейка памяти программы, содержащая информацию о номере канала, времени срабатывания и состоянии исполнительного устройства. Переход из основного режима в режим программирования осуществляется двукратным нажатием на кнопку ▼.

Для просмотра временных точек, записанных в память прибора, необходимо войти в режим программирования и нажатием кнопки ▼ поочередно просмотреть все введенные временные точки. После просмотра последней временной точки прибор перейдет в основной режим.

Для изменения параметров временных точек необходимо войти в режим программирования нажатием кнопки ▼ и выбрать временную точку, которую необходимо отредактировать. Для входа в режим редактирования необходимо нажать кнопку ▲. Мигание номера временной точки означает, что устройство находится в режиме редактирования. Кнопкой ▲ выбираем редактируемый разряд, а кнопкой ▼ циклически перебираем значения разряда. Таким образом программируем значения номера канала, времени срабатывания и состояния исполнительного устройства.

Для коммутации электрооборудования в приборе предусмотрено 15 пронумерованных выходных контактов, из которых 14 и 15 предназначены для подключения прибора к питающей сети, а 13 – не используется. Контакты 1, 4, 7 и 10 являются выходом замыкающего контакта, 2, 5, 8, 11 – общими и 3, 6, 9 и 12 – выходы замыкающих контактов соответственно по порядку нумерации 1, 2, 3 и 4 каналов.

В зависимости от модификации таймера, в нем можно запрограммировать события от суток до одного года. Разновидностью таких таймеров являются астрономические реле. Как правило, эти реле чаще всего используют для управления наружным освещением – входной величиной в нем являются географические координаты местности, а устройство уже на основании этих сведений само рассчитывает, когда нужно включить или отключить освещение. Примером подобного реле является электронное программируемое астрономическое реле времени типа PCZ-524 (PCZ-525) [8].

Реле времени программируемое астрономическое одноканальное PCZ-524 (PCZ-525) предназначено для включения (отключения) освещения (с возможностью корректировки времени включения-отключения в пределах ± 99 минут) в моменты захода и восхода солнца в зависимости от географических координат местности и времени года. Его технические параметры: напряжение питания – 230 В ; ток нагрузки (не более) – 16 А ; точность показания часов – 1 с ; погрешность хода часов в течение суток – $\pm 1 \text{ с}$; потребляемая мощность – $1,5 \text{ Вт}$; точность установки времени – 1 мин ; корректировка времени (вкл/выкл) – от 0 до 99 мин; время сохранения программы при снятии напряжения (не менее) – 2 года; диапазон рабочей температуры – от -25 до $+50 \text{ }^\circ\text{C}$; степень защиты: реле – IP40, клеммной колодки – IP20; габариты – $35 \times 63 \times 90 \text{ мм}$; монтаж – на DIN-рейке 35 мм.

На лицевой панели реле PCZ-524 (PCZ-525) расположен дисплей (отображающий режимы работы, дату, время и день недели, результаты программирования) и кнопки управления с надписями:

– «MENU» – выбор режима работы: ручной или автоматический (при нажатии менее 2 с, на экране отображен символ часов); переход в режим программирования при нажатии совместно с кнопкой  более 3 с (приводит к стиранию даты и времени, на экране отображается PROGR); переход в режим корректирующего меню при нажатии более 3 с (не приводит к стиранию даты и времени); выход из режима программирования.

– «OK» – подтверждение очередной установки и переход к следующей.

–  – в автоматическом режиме приводит к отображению даты, а в режиме программирования – увеличение установок программы на единицу (при удерживании осуществляется ускоренный процесс установки программы).

–  – уменьшение установок программы на единицу.

– «RESTART» – «сброс» процессора в исходное состояние (не стирает память программы).

Режим программирования осуществляется в следующей последовательности:

1. При установке даты следует нажать «MENU» и  на время более 3 с и кнопками  или  последовательно установить год (последние две цифры), месяц и число (день недели устанавливается автоматически). Каждая операция установки года, месяца и числа должна завершаться нажатием «OK».

2. После нажатия «OK», подтверждающего установку числа, реле готово к установке текущего времени. Кнопками  или  последовательно устанавливается текущее значение минут и часов. Каждая операция установки минут и часов должна завершаться нажатием «OK».

3. После нажатия «OK», подтверждающего установку текущего значения часов, реле переходит в режим автоматического перевода программы на зимнее или летнее время (режим dSt предусмотрен только в реле PCZ-525). Кнопками  или  устанавливаются

функции OFF (отключено) и ON (включено). Операция должна завершаться нажатием «OK».

4. После нажатия «OK», подтверждающего установку режима dSt, реле переходит к установке часового пояса (Республика Беларусь находится во втором часовом поясе). Кнопками  или  устанавливается необходимое число (2). Операция должна завершаться нажатием «OK».

5. После нажатия «OK», подтверждающего установку значения часового пояса реле, переходит в режим ввода географических координат или кода местности (города). Кнопками  или  устанавливается код местности (для Минска – 43, Гродно – 44, Витебска – 45, Гомеля – 46, Бреста – 47). Если код местности не известен, устанавливается код 86 и после нажатия «OK» устанавливаются географические координаты в следующей последовательности – широта (минуты, градусы) и долгота (минуты, градусы). Каждая операция должна завершаться нажатием «OK».

6. После нажатия «OK», подтверждающего установку значения географических координат или кода, реле переходит в режим корректировки времени включения (отключения) относительно времени захода (восхода) солнца. Кнопками  или  устанавливается время (мин) опережения  или запаздывания  вначале включения, а затем отключения относительно времени захода (восхода) солнца. Каждая операция должна завершаться нажатием «OK».

7. После нажатия «OK», подтверждающего установку времени включения (отключения) относительно времени захода (восхода) солнца, реле переходит в режим времени отключения (включения) в ночное время суток. Кнопками  или  последовательно устанавливается время (сперва значение минут, а затем часов) отключения и включения. Каждая операция должна завершаться нажатием «OK».

8. После нажатия «OK», подтверждающего установку времени включения (отключения) в ночное время суток, реле переходит к установке функции «Action» (включение/отключение заданного перерыва в ночное время). Кнопками  или  устанавливаются

функции OFF (отключено) и ON (включено). Операция должна завершаться нажатием «ОК».

9. После нажатия «ОК» реле перейдет к выполнению введенной программы, а на экране будет отображаться текущее время.

В реле для корректировки времени включения (отключения) относительно захода (восхода) солнца и установки ночного перерыва отдельно по дням недели предусмотрено дополнительное меню, вход в которое осуществляется нажатием «ОК» на время более 3 секунд.

Для автоматического включения (отключения) отдельных светильников, их групп, в том числе расположенных в различных зонах помещений (вне помещений), или всей осветительной установки в зависимости от уровня освещенности, создаваемого естественным светом, выключения с наступлением рассвета и включения при наступлении сумерек применяют различного рода фотореле (например, ФР-1, ФР-2, ФРМ-62А, ФР-75 и др.), автоматические выключатели освещения (АВЗ, АЗ, АЗН АО, АО77 и др.), полупроводниковый регулируемый двухпрограммный выключатель освещения ПРО-68-11, автоматический программный тиристорный регулятор освещения (АПРО) и др. командные приборы и оборудование, первичными преобразователями (датчиками) которых являются фотоэлементы или фотосопротивления [8, 10].

Светочувствительные автоматические выключатели наружного освещения, например, серий АЗ (АЗ-30), АЗ (112, 112 plus, В, В plus), АЗН (106, С, S, S plus) и др., предназначены для управления осветительными установками улиц, площадей, витрин магазинов, реклам и т. п. (включения в сумерки и выключения на рассвете) [8].

Фотореле ФР-75 (рис. П9.5) состоит из триггера VT1, VT2 и исполнительного реле KV, контакт которого включается в цепи управления осветительной установкой [8].

Фотореле ФР-75 работает в следующей последовательности. В сумерках, когда сопротивление фоторезистора R велико и ток базы транзистора VT1 мал, оба транзистора закрыты. Реле KV питается от сети через однополупериодный выпрямитель на диоде VD1 с гасящим резистором R6 и сглаживающим пульсацию напряжения конденсатором C. Контакты KV в цепи устройств включения осветительной установки закрыты.

При увеличении освещенности сопротивление фоторезистора R уменьшается, ток базы транзистора VT1 возрастает, увеличивается

ток эмиттера VT1, возрастает потенциал на базе транзистора VT2, и он, открываясь, шунтирует катушку реле KV. Ток через катушку реле прекращается, KV размыкает свой контакт. Настройка реле на требуемый уровень освещенности осуществляется резистором RP1.

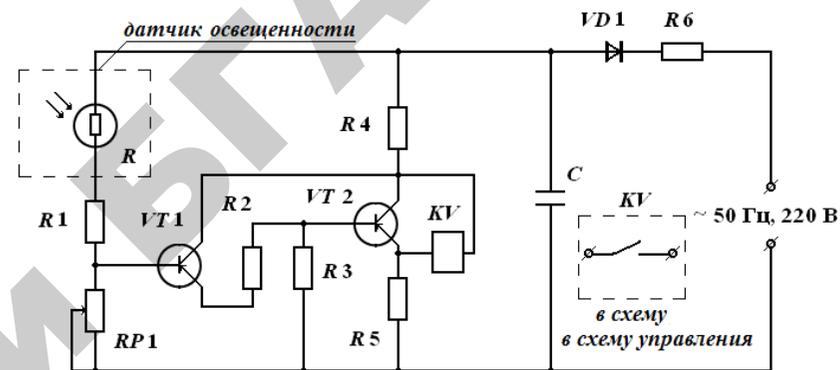


Рис. П9.5. Принципиальные электрические схемы фотореле ФР-75

При разработке и реализации дискретных схем управления осветительными установками активно применяют автоматические выключатели освещения, оснащенные датчиками присутствия и движения, датчиком движения и микрофоном, фотоакустические лестничные таймеры [8].

Автоматические выключатели освещения с датчиком движения при обнаружении объекта движения в зоне действия датчика на заданное время (от 5 с до 7 мин) включают освещение, а по истечении установленного времени и отсутствии движения объекта автоматически отключают осветительную установку или светильник [8]. Общий вид подобных автоматических выключателей освещения с датчиком движения приведен на рисунке П9.6а, б.

Фотоакустические (фотошумовые) автоматические выключатели освещения оборудованы микрофоном, что позволяет включать осветительную установку или светильник при возникновении шума определенного уровня (открывание двери, звонок, разговор, звон ключей, шаги и т. д.) [8].

Фотошумовые выключатели серии ФШВ (рис. П8.6в) оборудованы фотоприемником, детектором шума и программируемым контроллером, позволяют управлять осветительной установкой в зави-

симости от уровней освещенности и шума. В некоторых моделях указанной серии предусмотрены установки уровней освещенности и шума, а также реализован режим плавного включения ламп накаливания, что увеличивает срок их службы.

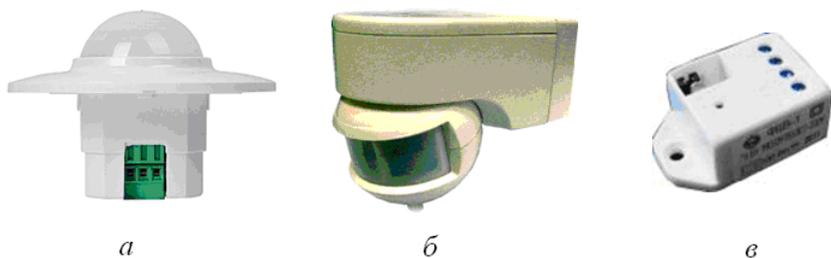


Рис. П9.6. Общий вид автоматических выключателей освещения, оснащенных датчиками:
а – движения с обзором на 360°; *б* – движения с обзором на 180°;
в – фотошумового серии ФШВ

Рассматривая аппараты и оборудование, применяемые в схемах управления осветительными установками, нельзя не упомянуть о диммерах – регуляторах яркости свечения ламп. Диммеры позволяют управлять яркостью свечения лампы, а следовательно, и освещенностью различных зон помещения, включая отдельные светильники на полную яркость или создавая обстановку приглушенного света (пониженной яркости свечения) [8].

Диммеры выпускают дистанционного (с пульта управления, направляя излучение инфракрасное или низкочастотное на регулятор) и местного (поворачивая задатчик регулятора, встраиваемого вместо выключателя) управления, для светильников с лампами накаливания, люминесцентными лампами, галогенными и др. (рис. П9.7). Существуют дистанционные диммеры, управляемые из нескольких мест по аналогии со схемой включения бистабильного реле (рис. П8.2) с отличием лишь в том, что вместо кнопок устанавливают любое количество включенных параллельно регуляторов.

В большинстве случаев используют диммеры ручного (местного) управления, которые устанавливают взамен существующих выключателей. Они имеют посадочные размеры, идентичные с размерами стандартного выключателя. Регулировка яркости источника света осуществляется вращением ручки потенциометра –

при вращении по часовой стрелке яркость лампы возрастает, против часовой стрелки – уменьшается. Иногда управление производится с помощью кнопок.

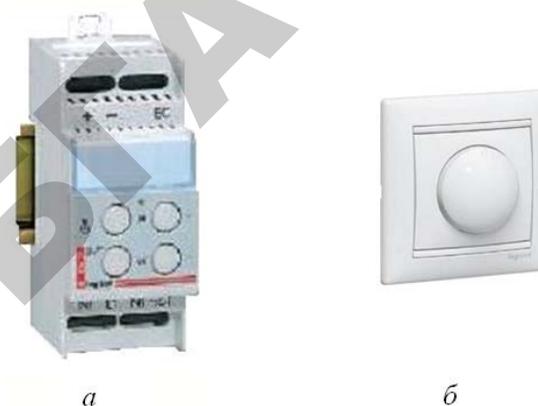


Рис. П9.7. Общий вид диммеров:
а – дистанционно управляемого; *б* – устанавливаемого взамен существующих выключателей

Для обеспечения защиты диммер включается через автоматический выключатель. Силовым регулирующим элементом в схеме диммера является симистор. Суммарная мощность подключаемых источников света, как правило, может составлять до 600 Вт.

При установке диммеров не следует забывать один очень важный нюанс – существуют диммеры, которые включаются в разрыв питания светильника, а некоторые требуют постоянно наличия напряжения питания 230 В. В первом случае на диммер подается только фаза (что имеет место при управлении осветительной установкой обычными выключателями), а во втором требуется два проводника (фазный и рабочий нулевой). Следовательно, для второго варианта требуется при замене выключателя на диммер подводить к посадочной коробке дополнительный проводник, что обычно не просто сделать. Поэтому если не производится реконструкция электрической сети, то первый вариант диммеров явно предпочтительнее.

Схемы автоматического дискретного управления освещением могут содержать не один из первичных преобразователей (присутствия людей, движения, акустического эффекта и др.), а их любые комбинации.

Как показано ранее, к осветительным установкам сельскохозяйственного назначения в дополнение к требованиям экономии электрической энергии предъявляется ряд агрозоотехнических требований, например, управление освещенностью и продолжительностью «светлого» и «темного» времени суток в зависимости от возраста животных и птицы. Следовательно, в схемах управления дополнительно к регулированию режимов работы по времени должно быть предусмотрено регулирование по освещенности рабочей поверхности, что достигается изменением светового потока источников.

Регулирование светового потока осветительной установки с лампами накаливания и газоразрядными лампами возможно:

- 1) групповым включением ламп;
- 2) изменением амплитуды питающего напряжения;
- 3) изменением значения сопротивления балласта;
- 4) регулированием фазы зажигания лампы;
- 5) изменением частоты питающего напряжения.

Простейший способ регулирования освещенности заключается в погрупповом включении светильников, равномерно размещенных над освещаемой поверхностью (рис. П9.8), когда группы светильников автоматически от реле времени или вручную включаются (отключаются) последовательно друг за другом, тем самым имитируя «рассвет» («закат»).

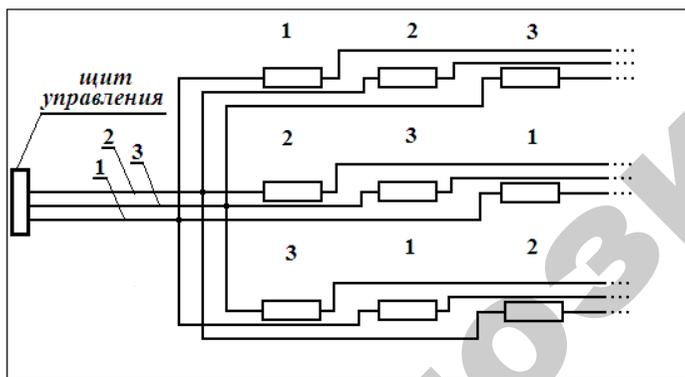


Рис. П9.8. Пример схемы размещения в помещении групп светильников для ступенчатого изменения освещенности (цифрами обозначены группы электрической сети, питающей светильники, и размещение светильников для указанной группы)

Для ступенчатого регулирования освещенности в помещении последовательно с лампами накаливания может быть включено активное балластное сопротивление (рис. П9.9) или выпрямитель (диод), светильники с лампами накаливания могут переключаться с последовательного соединения на параллельное.

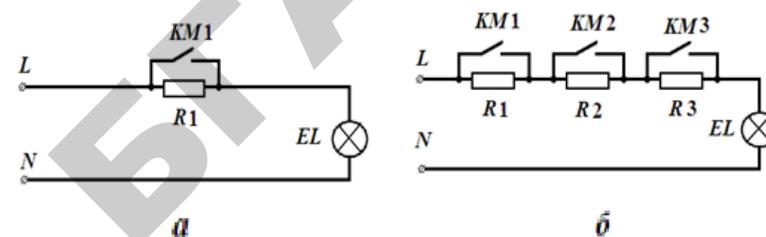


Рис. П9.9. Пример принципиальной схемы двухступенчатого (а) и многоступенчатого (б) управления освещением последовательным включением балластных сопротивлений

При одном балластном сопротивлении (рис. П9.9а), переключении с последовательного соединения на параллельное или включения освещенности в начальный период через выпрямитель организуется двухступенчатое изменение освещенности. Многоступенчатое (более плавное) изменение освещенности возможно при нескольких последовательно соединенных балластных сопротивлениях (рис. П9.9б), за счет падения напряжения на которых уменьшается напряжение, подводимое к лампам. Для получения полной освещенности активные балластные сопротивления шунтируют контактами магнитных пускателей.

Основными недостатками снижения напряжения путем последовательного соединения с лампами накаливания активных балластных сопротивлений, которые ограничивают отмеченный способ изменения освещенности, являются: ступенчатость изменения освещенности; существенные потери электрической энергии; тепловыделение у резисторов и реостатов; большие металлоемкость и масса; значительные размеры.

Управление с целью обеспечения различных уровней или плавного изменения освещенности в зависимости от агрозоотехнических требований содержания животных и птицы осуществляется программируемым по времени ступенчатым или плавным изменением светового потока осветительной установки, что достигается

путем изменения амплитудного значения напряжения питания источников, например, регулируемые трансформаторами или полупроводниковыми тиристорными регуляторами.

При регулировании фазы зажигания ламп полупроводниковыми тиристорными регуляторами на управляющий электрод тиристора (симистора) подается импульс напряжения, после чего тот открывается на время от момента подачи импульса до конца полупериода. Осциллограммы изменения напряжения на лампе и проходящего по ней тока для рассматриваемого случая указывают, что если в течение полупериода уменьшать длительность прохождения тока через лампу, то это равносильно уменьшению его среднего значения, и световой поток лампы, соответственно, будет уменьшаться (рис. П9.10).

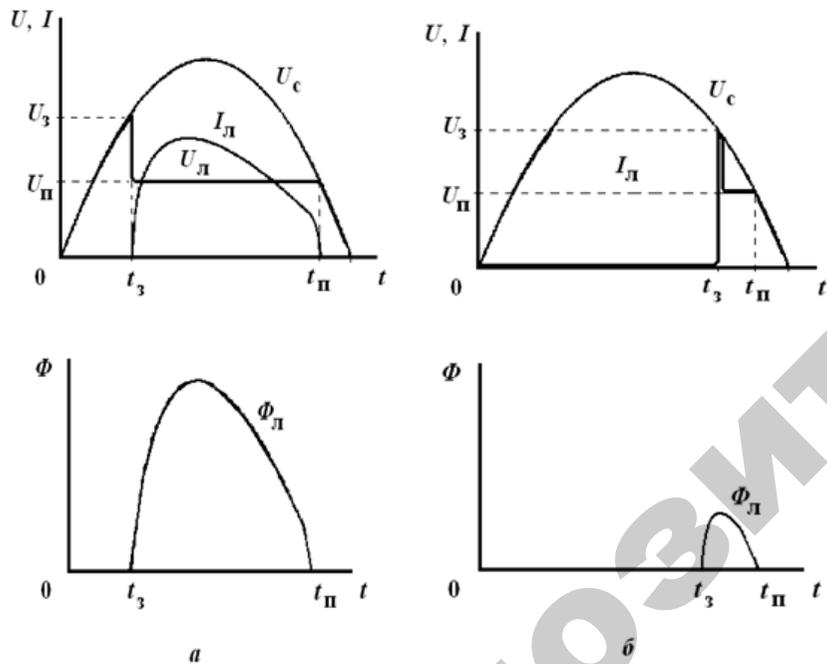


Рис. П9.10. Осциллограммы изменения напряжений сети (U_c) и на лампе (U_l), проходящего по ней тока I_l и ее светового потока Φ_l в начале (а) и в конце (б) регулирования: t_3 – время зажигания; $t_п$ – время погасания лампы; U_3 – напряжение зажигания; $U_п$ – напряжение погасания лампы

Такой способ позволяет осуществить плавное и достаточно глубокое изменение светового потока газоразрядных ламп, например, низкого давления, при высокой экономичности и может быть рекомендован в тех случаях, когда требуется высокая кратность изменения светового потока. Недостаток способа в том, что с уменьшением светового потока возрастает коэффициент пульсации светового потока газоразрядных ламп за счет увеличения длительности темповых пауз. Кроме того, глубина регулирования светового потока газоразрядных ламп определяется временем, в течение которого амплитудное значение напряжения сети будет превышать напряжения зажигания и погасания лампы.

Для регулирования светового потока изменением фазы зажигания ламп применяют выпускаемые промышленностью тиристорные регуляторы напряжения типов: РН, РНТТ, РНТО и др. на номинальные токи 63, 160, 250, 630 А. Принципиальная электрическая схема регулятора приведена на рисунке П9.11.

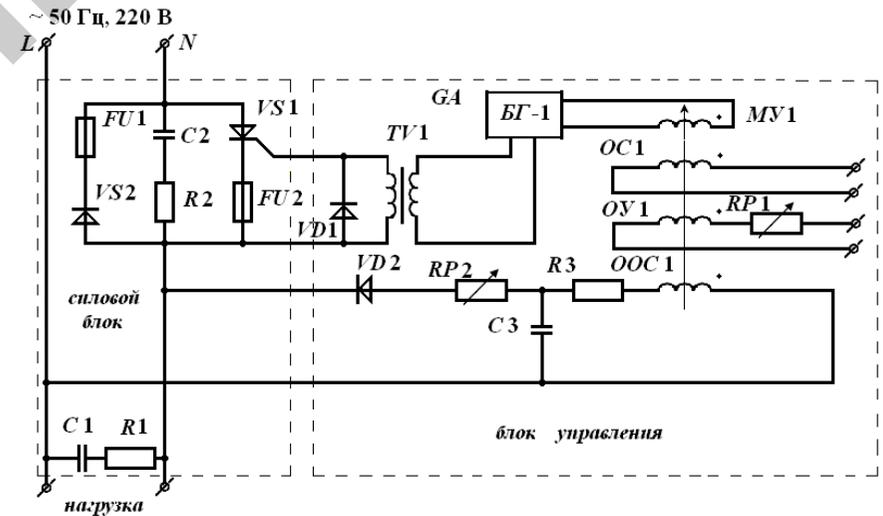


Рис. П9.11. Принципиальная схема регулирования фазы зажигания ламп полупроводниковым тиристорным регулятором

Регулятор РНТО (регулятор напряжения тиристорный однофазный) состоит из силового блока и блока управления. В силовом блоке находятся два тиристора (VS), включенные встречно-парал-

тельно, два быстродействующих предохранителя (FU) и две цепочки (R, C) для защиты тиристоров от коммутационных перенапряжений. Одна цепочка включена параллельно тиристорам, другая – параллельно нагрузке. Блок управления содержит два блокинг-генератор БГ-1 с выходными импульсными трансформаторами TV1, два магнитных усилителя МУ1, трансформатор для питания схемы управления (на рис. не показан).

Во время работы каждый из тиристоров открыт тогда, когда напряжения на аноде тиристора и на управляющем электроде совпадают по фазе. Фаза импульса, приходящего на управляющий электрод, может меняться по отношению к питающему анодному напряжению. При этом меняется момент открытия тиристора, и, начиная с этого момента до конца положительной полуволны напряжения, тиристор открыт. При совпадении фаз управляющего напряжения и анодного напряжения время открытия тиристора VS1 совпадает с полупериодом колебаний, а при сдвиге фаз на угол α происходит задержка момента открывания тиристора и ток протекает по тиристорам в течение времени полупериода колебаний.

Управляющие импульсы на тиристоры проходят от системы фазоимпульсного управления. Система фазоимпульсного управления включает в себя два магнитных усилителя МУ1 с обмотками управления ОУ1, куда поступает задающий сигнал от постороннего источника постоянного тока, регулируемый резистором RP1. Силовые обмотки магнитных усилителей МУ1 включены во входные цепи блокинг-генераторов. Каждый из магнитных усилителей снабжен обмотками смещения ОС1 и обратной связи ООС1. Обмотки обратной связи ООС1 осуществляют цепь обратной связи по напряжению, которая, воздействуя на систему фазоимпульсного управления, компенсирует возмущение в цепи источника питания и уменьшает несимметричность работы тиристоров.

Частотное регулирование позволяет не только изменять световой поток газоразрядных ламп при значительном уменьшении коэффициента пульсации, но и существенно упростить и облегчить ПРА, увеличить срок службы ламп. Чем выше частота, тем меньший промежуток времени длится процесс перезажигания разряда, электроды лампы не успевают остыть, а разрядный промежуток деонизироваться. Повышение частоты приводит к тому, что процесс перезажигания лампы происходит практически мгновенно. При частоте 1,5–2,0 кГц глубина пульсации светового потока снижается настолько, что исчезает стробоскопический эффект. Увеличение

частоты до 400–1000 Гц повышает световую отдачу люминесцентных ламп на 7 %, а до 1,5–3,0 кГц – на 10 %. Если при частоте питающего напряжения 50 Гц потери мощности в ПРА составляют 20–30 % мощности ламп, то уже при частотах 400–850 Гц они снижаются до 6–8 %, а при 1,0–3,0 кГц составляют всего 3–5 %.

Преобразователь частоты (рис. П9.12) работает в режиме однофазного параллельного инвертора с нулевым выводом. На управляющие электроды тиристоров VS1 и VS2 от задатчика частоты ЗЧ поступают импульсы управления соответствующей амплитуды и частоты с относительным сдвигом фаз в 180° . В цепь источника питания (блок постоянного тока БПТ) введен резистор R1, от величины которого зависит устойчивая работа инвертора в заданном диапазоне частот. При включении тиристора VS1 в его анодной цепи протекает ток, определяемый током заряда конденсатора C1 и током полуобмотки I трансформатора TV. Вследствие явления взаимодукции при прохождении тока в одной из полуобмоток выходного трансформатора в другой полуобмотке возникает равная по величине, но противоположная по знаку ЭДС $E_{II} = -E_I$. Конденсатор C1 к концу полупериода оказывается заряженным до напряжения, приблизительно равного $2U_{II}$ (полярность указана без скобок).

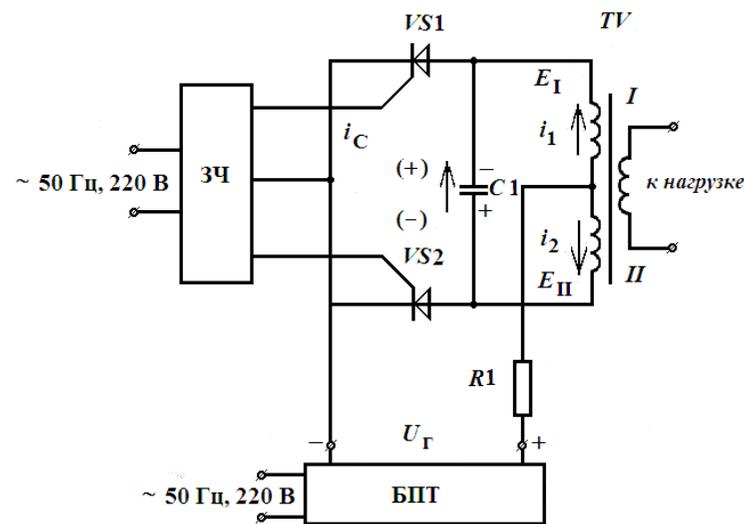


Рис. П9.12. Блок-схема преобразователя частоты: ЗЧ – задатчик частоты; БПТ – блок постоянного тока

При включении тиристора VS2 напряжение конденсатора C1 прикладывается положительным потенциалом к катоду тиристора VS1. Разрядный ток конденсатора по контуру двух открытых тиристоров носит ударный характер, так как сопротивление контура мало, в результате чего тиристор VS1 выключается. Конденсатор C1 через тиристор VS2 оказывается подключенным к источнику питания БПТ с обратной полярностью и начинает перезаряжаться через первичные полуобмотки трансформатора TV, приобретая противоположную полярность. В результате через вторичную обмотку трансформатора проходит переменный ток. При включении тиристора VS1 весь процесс повторяется.

Для регулирования периодичности освещения по заданной программе в птичниках применяют разнообразные аппараты и устройства, например, такие, как устройства программного управления светом УПУС и ПРУС-1 (ПРУС-2), программный многоцепной аппарат МКП2-12, автомат включения света АВС с программным устройством К-3, двухпрограммное реле времени 2РВМ, программное часовое реле ИНС-9812 и др. [10].

В устройствах типа УПУС и ПРУС программа светового режима задается в зависимости от возраста на весь период содержания птицы по заранее заданному графику (рис. П9.13).

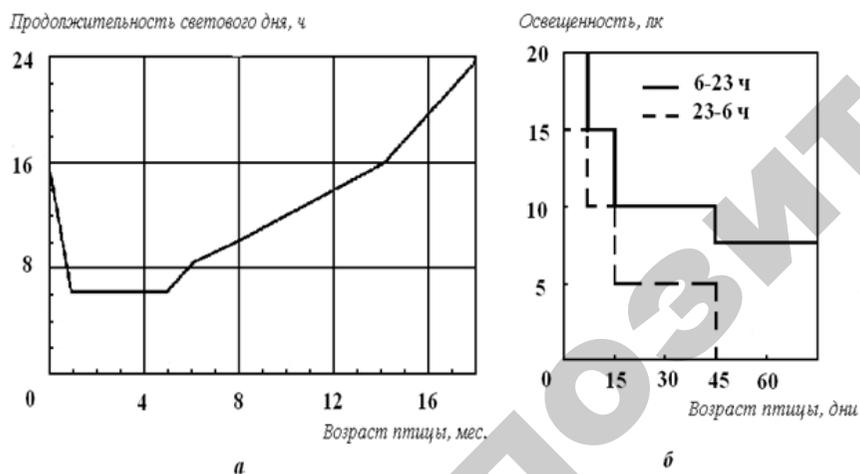


Рис. П9.13. График изменения продолжительности светового дня (а) и освещенности (б) в птичнике в зависимости от возраста птицы

ПРУС служит для управления двумя электрическими цепями, включаемыми поочередно и отключаемыми в обратной последовательности с разрывом 2–10 мин, что позволяет искусственно имитировать рассвет и закат. Программа рассчитана на полный цикл содержания цыплят (150 дней) и кур-несушек (400 дней). Устройство позволяет, кроме того, поддерживать любую неизменную продолжительность светового дня в пределах от 6 до 24 часов.

Он состоит из блока управления и блока магнитных пускателей. Блок управления включает: пружинный двигатель с часовым механизмом; программный барабан; микровыключатели; рычаги и держатели микровыключателей; редуктор; шкалу программы; кожух блока; рычаг установки не изменяющейся программы; минутную и суточную шкалы. Программный барабан выполнен в виде полого металлического цилиндра с вырезом определенного профиля на боковой поверхности. Профиль выреза соответствует графику изменения продолжительности светового дня. Барабан вращается пружинным двигателем. Пружина подзаводится автоматически от электродвигателя. Пружинный двигатель через шестерни редуктора вращает с частотой один оборот в сутки программный барабан и через шестерни – винт и гайку с микровыключателями. При вращении винта микровыключатели перемещаются вдоль барабана (один проход за 150 или 400 суток). В зависимости от времени суток рычаги микровыключателей скользят по поверхности барабана или находятся в вырезе. В первом случае контакты микровыключателей замкнуты, во втором – разомкнуты, освещение включено или выключено.

Длительность светового дня определяется длиной невырезанной части поверхности барабана. Так как микровыключатели смещаются вдоль барабана, то продолжительность их включения изменяется ежесуточно.

Для корректировки графика изменения продолжительности светового дня необходимо переустановить барабан.

В зависимости от содержания птицы (куры-несушки или цыплята), барабан снимается и переверотом на 180° вновь устанавливается. Для стабилизации программ (прекращения изменения продолжительности светового дня) рычагом отключают промежуточную шестерню. При этом прекращается перемещение микропереключателей вдоль барабана. Вручную микровыключатели перемещают винтом при выключенном рычаге. Величина светового дня контролируется по шкале программы. Рассвет и закат имитируются за счет

разновременного включения микровыключателей изменением положения рычага. Это позволяет включать и выключать освещение двумя ступенями с интервалом от 2 до 10 минут.

Блок пускателей содержит три однофазных автоматических выключателя, два электромагнитных пускателя, переключатель рода работы и соединяется с блоком управления кабелем с разъемом.

Устройство ПРУС управляет осветительной установкой по схеме, аналогичной схеме включения реле времени 2PBM (рис. П9.3), и обеспечивает управление освещением в ручном и автоматическом режимах. В ручном режиме электромагнитные пускатели и, следовательно, осветительная установка включаются переключателем рода работы. В автоматическом режиме пускатели управляются через промежуточные реле контактами микропереключателей. Электродвигатель подзавода пружины включается автоматически.

Технические параметры ПРУС: число каналов управления – 2; максимальное время программирования – 400 суток; минимальное время программирования – 1 минута; точность выполнения программ (не менее) – $1 \text{ с} \cdot \text{сутки}^{-1}$; напряжение питания – 220 ($\pm 10\%$) В; габариты – 310×220×160 мм; коммутируемая мощность каждого канала – 250×1 ВА.

В последнее время управление осветительными установками осуществляется не только путем использования отдельных приведенных выше компонентов и элементов управления (фотореле, фотопреобразователей, реле времени и др.), из которых komponуются схемы управления, но и при активном применении систем управления освещением (СУО), реализованных на базе микропроцессорной техники. Принципиально все СУО построены на похожем алгоритме управления и содержат регуляторы светового потока источников света, первичные преобразователи освещенности, движения, присутствия и т. д., приборы установки и отслеживания реального времени, программаторы, в которых устанавливается программа изменения освещенности на определенный период (день, неделю, месяц, год, возраст животных или птицы).

Примером подобной системы применительно к управлению освещением в птичнике может быть система светодиодного освещения ИСО «Хамелеон», которая позволяет не только значительно снизить электропотребление, но и за счет использования новейших разработок в области прерывистого освещения птичников снизить затраты на обслуживание и повысить прирост массы птицы, сохранность поголовья, яйценоскость при снижении затрат корма.

Система ИСО «Хамелеон» включает:

- светодиодные светильники, предназначенные как для локального освещения клеток, так и освещения площадей для содержания птицы и служебных помещений;
- блоки сопряжения, предназначенные для питания светильников и управления уровнем освещенности на основе широтно-импульсной модуляции питающего напряжения;
- блоки управления, предназначенные для управления по заданному алгоритму уровнем освещенности и временем работы осветительной установки в зависимости от возраста птицы;
- специальное программное обеспечение, которое представляет собой удобный интерфейс на ПЭВМ и предназначено для создания алгоритмов прерывистого освещения с реализацией функции «рассвет-закат».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Организация, порядок выполнения работ и отчетность	4
Обязанности и ответственность студента	5
Лабораторная работа № 1. Приборы для измерения эффективного действия оптического излучения	7
Лабораторная работа № 2. Исследование электрических и светотехнических характеристик тепловых источников оптического излучения	11
Лабораторная работа № 3. Исследование влияния балластного сопротивления на электрические и светотехнические характеристики газоразрядных ламп низкого давления	16
Лабораторная работа № 4. Исследование изменения электрических и светотехнических параметров газоразрядных ламп высокого давления при их разгорании	22
Лабораторная работа № 5. Сравнительный анализ энергоэффективности источников видимого излучения.....	28
Лабораторная работа № 6. Исследование светораспределения осветительных приборов.....	33
Лабораторная работа № 7. Экспериментальное определение качественных показателей и коэффициента использования светового потока осветительной установки.....	40
Лабораторная работа № 8. Исследование способов и устройств автоматического управления осветительными установками	46
Литература	54
Приложения	55
Приложение 1. Содержание раздела «Светотехника» учебной дисциплины «Электротермия и светотехника»	57
Приложение 2. Устройство, параметры и характеристики приборов для измерения оптического излучения	62
Приложение 3. Устройство, параметры и характеристики источников теплового излучения	74
Приложение 4. Устройство, параметры и характеристики газоразрядных ламп низкого давления, схемы их включения в сеть и используемая при этом пускорегулирующая аппаратура.....	81

Приложение 5. Устройство, параметры и характеристики газоразрядных ламп высокого давления, схемы их включения в сеть и используемая при этом пускорегулирующая аппаратура	94
Приложение 6. Устройство, параметры и характеристики светодиодов и индукционных ламп.....	102
Приложение 7. Устройство и характеристики осветительных приборов	108
Приложение 8. Качественные параметры осветительных установок	116
Приложение 9. Способы и устройства автоматического управления осветительными установками	122

Для заметок

Учебное издание

Степанцов Вячеслав Павлович

СВЕТОТЕХНИКА

Лабораторный практикум

Ответственный за выпуск В. П. Степанцов
Редактор А. И. Третьякова
Компьютерная верстка А. И. Третьяковой

Подписано в печать 13.11.2012. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 8,6. Уч.-изд. л. 6,72. Тираж 60 экз. Заказ 982.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр. Независимости. 99-2, 220023, Минск.