

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Р. И. Кустова, Д. И. Кривовязенко**

**СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по аграрному техническому образованию  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов учреждений высшего образования  
по направлению специальности*

*1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства  
(электроэнергетика)»*

Минск  
БГАТУ  
2022

УДК 628.9(07)  
ББК 31.294я7  
К94

Рецензенты:  
кафедра энергоэффективных технологий  
УО «МГЭИ им. А. Д. Сахарова» БГУ  
(кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой *Л. А. Липницкий*);  
кандидат технических наук, доцент, заместитель директора  
РНПУП «Институт энергетики НАН Беларуси» *Н. Е. Шевчик*

**Кустова, Р. И.**  
К94 Светотехническое оборудование. Лабораторный практикум :  
учебно-методическое пособие / Р. И. Кустова, Д. И. Кривовязенко. –  
Минск : БГАТУ, 2022. – 120 с.  
ISBN 978-985-25-0138-5.

Рассмотрены способы эффективного использования оптического излучения, в том числе для интенсификации процессов при непосредственном его воздействии на объекты сельскохозяйственного производства. Каждая лабораторная работа включает цель, задачи, краткий теоретический материал и методические указания по ее выполнению.

Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по направлению специальности 1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)».

УДК 628.9(07)  
ББК 31.294я7

ISBN 978-985-25-0138-5

© БГАТУ, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Организация, порядок выполнения работ и отчетность .....	5
Обязанности и ответственность студента .....	5
1. Приборы для измерения эффективного действия оптического излучения .....	7
2. Исследование электрических и светотехнических характеристик тепловых источников оптического излучения .....	26
3. Исследование влияния балластного сопротивления на электрические и светотехнические характеристики газоразрядных ламп низкого давления .....	36
4. Исследование электрических и светотехнических параметров газоразрядных ламп высокого давления при их разгорании .....	50
5. Исследование светораспределения осветительных приборов .....	64
6. Экспериментальное определение качественных показателей и коэффициента использования светового потока осветительной установки .....	76
7. Исследование облученности, создаваемой инфракрасными облучателями, при изменении напряжения питания источника и высоты подвеса .....	89
8. Исследование электрических и светотехнических характеристик тепличных облучателей .....	98
9. Исследование режимов работы комбинированных установок для инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения .....	107
Список рекомендуемой литературы .....	118

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум подготовлен в соответствии с действующей учебной программой курса «Светотехническое оборудование». Материал к каждой работе содержит: цель и задачи работы; краткие теоретические сведения по исследуемым в работе вопросам со ссылкой на литературные источники; перечень применяемого материального обеспечения и приборов; 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 поясняются рисунками, схемами, таблицами.

Объем лабораторной работы продолжительностью, как правило, 80–90 минут рассчитан с учетом предварительной тщательной подготовки к ее выполнению, то есть с учетом 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 в учебно-методическом пособии организацией и порядком выполнения работ, обязанностями и ответственностью.

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

## **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-тематическим планом изучения учебной дисциплины лабораторные работы.

3. Работы выполняются в строгом соответствии с указанным в настоящих 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 фиксироваться 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 др. Приводится 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 ее цели, сущности, методики выполнения, устройства испытываемого светотехнического оборудования, может объяснить и проанализировать полученные результаты.

## **Обязанности и ответственность студента**

Студент обязан:

1. До начала выполнения работ изучить правила техники безопасности при выполнении работ в учебной лаборатории, принять их к обязательному исполнению и засвидетельствовать это подписью 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 убедится, что никто из рядом находившихся не может попасть под напряжение. При каждом включении предупреждать коллег словом **«ВКЛЮЧАЮ»**.

5. Работы выполнить 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 относиться к работе, соблюдать тишину и порядок.

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

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

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.

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

## 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), создаваемые искусственными источниками оптического излучения.

### **Общие сведения**

Измерение значений эффективного действия оптического излучения осуществляется *визуальными* или *физическими* методами.

Визуальные методы измерения используются применительно к видимому излучению и основаны на сравнении яркости, создаваемой двумя источниками излучения – эталонным и исследуемым. В визуальных методах измерения приемником оптического излучения, как правило, является глаз человека. Примером визуального метода измерения является светоизмерительная скамья, применяемая для определения силы света источника.

В физических методах измерения оптическое излучение оценивают по его воздействию на электрические, физические, тепловые, химические и другие свойства фотоприемников. Основное преимущество таких методов измерений:

- непосредственная количественная оценка измеряемой величины;
- измерение величин оптического излучения как в видимой, так и в инфракрасной и ультрафиолетовой областях;

- быстрота получения и воспроизводимость результатов измерения.

Применяемые в физических методах измерения фотоприемники подразделяются на *селективные*, спектральная чувствительность которых приближена к спектральной чувствительности образцового приемника эффективной системы измеряемых величин, и *неселективные* (неизбирательные), поглощающие всю энергию источника оптического излучения, независимо от ее распределения по спектру.

У селективных приемников энергия оптического излучения благодаря фотоэффекту, как правило, преобразуется в электрическую. По механизму возникновения фотоэлектрического эффекта их подразделяют: на фотоэлементы с внешним фотоэффектом; фотоэлементы с внутренним фотоэффектом и фотоэлементы с запирающим слоем (вентильные фотоэлементы).

Принцип действия фотоэлементов с внешним фотоэффектом основан на изменении их электрической проводимости за счет эмиссии электронов материала катода при возбуждении его энергией оптического излучения (рис. 1.1). Конструктивно катод подобного фотоэлемента изготавливают из материалов, обладающих свойством при поглощении оптического излучения испускать электроны. Для усиления эмиссии электронов его покрывают специальным светочувствительным слоем. Анод изготавливают в виде кольца из никелированной проволоки.

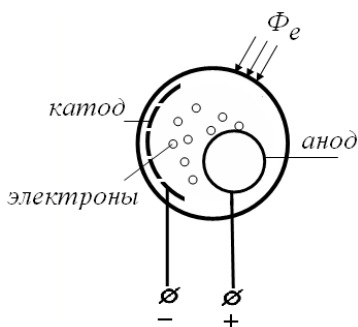


Рис. 1.1. Устройство фотоэлемента с внешним фотоэффектом

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом могут быть вакуумными или газонаполненными. В газонаполненных фотоэлементах электрический ток за счет ионизации инертных газов под действием



потока электронов, покинувших катод при его облучении, сравнительно больший, чем у вакуумных.

Разновидностью фотоэлементов с внешним фотоэффектом являются *фотоэлектронные умножители*, у которых фототок катода усиливается за счет вторичной электронной эмиссии.

В *фотоэлементах с внутренним фотоэффектом* изменение электрической проводимости происходит за счет высвобождения электронов кристаллической решетки под воздействием поглощенной энергии излучения. Примером подобных фотоэлементов являются фоторезисторы, фотодиоды и фототранзисторы.

Фоторезисторы увеличивают электрическую проводимость при переходе электронов кристаллической решетки фоточувствительного слоя в свободное состояние под действием оптического излучения. В фотодиодах и фототранзисторах под действием оптического излучения изменяется электрическая проводимость *p-n*-перехода.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом отличаются сравнительно высокой чувствительностью к излучениям ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областей спектра. Однако они характеризуются нелинейной зависимостью фототока от облученности и повышенной чувствительностью к температуре окружающей среды, что затрудняет их использование в качестве первичных преобразователей.

Действие *фотоэлемента с запирающим слоем* основано на явлении возникновения электродвижущей силы на электродах под воздействием на него оптического излучения. Схема устройства подобного фотоэлемента приведена на рис. 1.2.

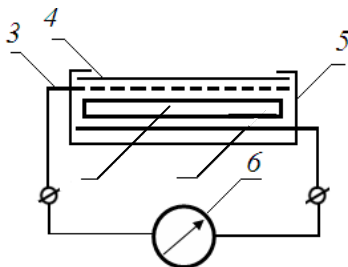


Рис. 1.2. Схема устройства фотоэлемента с запирающим слоем:  
1 – токопроводящая подложка; 2 – слой полупроводника;  
3 – прозрачный электрод; 4 – защитный слой лака; 5 – корпус;  
6 – измерительный прибор

При попадании оптического излучения через защитный слой лака 4 и тонкий прозрачный электрод 3 (из серебра, золота или платины) на слой полупроводника 2 (закись меди, селен, сернистое серебро) электроны преодолевают запирающий слой, образующийся на границе полупроводника 2 и электрода 3, и не возвращаются обратно из-за вентильных свойств этого слоя. При этом осуществляется накопление зарядов противоположенного знака на электродах (1 и 3) и создается разность потенциалов, которая может быть определена измерительным прибором 6.

Для приборов измерения оптического излучения, а точнее освещенности, как правило, полупроводниковый слой фотоэлемента изготавливают из селена, что позволяет получить первичный преобразователь со спектральной чувствительностью, близкой по спектральной чувствительности глаза человека.

Фотоэлементы с запирающим слоем не требуют дополнительных источников питания и промежуточных усилителей сигнала, характеризуются повышенной чувствительностью и линейной зависимостью тока короткого замыкания от облученности.

Первичные фотопреобразователи, используемые в приборах для измерения эффективного действия оптического излучения, сопоставляются:

- по *спектральной чувствительности* – соответствие спектральной чувствительности преобразователя спектральной чувствительности эталонного приемника. Несоответствия корректируются специальными фильтрами, конструктивными особенностями приборов или введением поправочных коэффициентов при обработке результатов;
- *фотоэлектрической зависимости* – изменение тока или разности потенциалов, зафиксированных измерительным прибором, при изменении потока излучения (или облученности) и сопротивления внешней цепи;
- *вольтамперной характеристике* – изменение тока, зафиксированного измерительным прибором, от приложенного к нему напряжения при неизменном потоке излучения;
- *угловой погрешности* – реакция преобразователя на изменение угла падения на его приемную поверхность неизменного потока излучения;

- *частотной характеристике* – реакция преобразователя на изменение частоты модуляции падающего потока излучения;
- *инерционности* – время отставания момента реакции преобразователя от момента изменения падающего на него потока излучения;
- *утомлению* – понижение чувствительности преобразователя при длительном воздействии на него потока излучения;
- *старению* – необратимые изменения (понижение чувствительности) параметров и характеристик с течением времени.

Для оценки эффективного действия оптического излучения применяют специальные приборы, состоящие из первичного преобразователя, источника питания (при необходимости), элементов электрической схемы (резисторы, потенциометры, выключатели, переключатели и др.) и измерительного прибора (микроамперметра или милливольтметра), проградуированного в единицах эффективных величин: люксометры, уфиметры, фитофотометры, уфидозиметры и др.

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 – 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+Люксометр», «Люксометр+Яркомер», «Люксометр+УФ-Радиометр», «Люксометр+Яркомер+Пульс-метр» 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, фотумножители, фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, вентильные (в запирающем слое)), основными характеристиками которых являются: спектральная чувствительность; фотоэлектрическая

зависимость; вольтамперная характеристика; угловая погрешность; частотная характеристика; инерционность; утомление; старение.

**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 элементов постоянного тока.

Диапазон измерений прибора (от 0 до  $3000 \text{ мвит} \cdot \text{м}^{-2}$ ) разделен на пять поддиапазонов: 0–30; 0–100; 0–300; 0–1000; 0–3000  $\text{мвит} \cdot \text{м}^{-2}$ . 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 1,60 и 1,45.

**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. 1.3). 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. Погрешность измерения – до 10 % исследуемой величины без использования насадок и до 15 % с использованием насадок.

С помощью люксметра Ю-116 можно приближенно определить и энергетическую облученность в области фотосинтезно-активной

радиации, умножив показания прибора на переводной коэффициент, равный для ламп: накаливания –  $4,4 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{клк}^{-1}$ ; ДРЛФ–400 – 3,9; ДРЛФ–1000 – 4,9; ДНаТ–400 – 3,0; ЛБ – 3,4; ЛФ –  $3,7 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{клк}^{-1}$ .

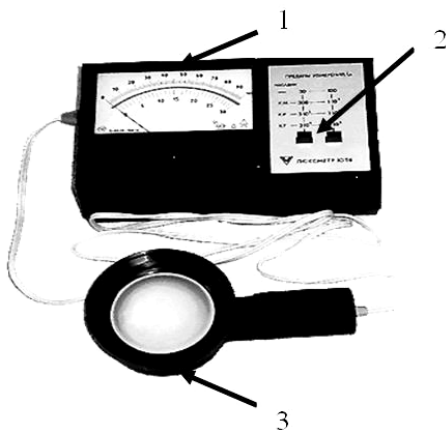


Рис. 1.3. Люксметр Ю-116:

1 – электроизмерительный прибор; 2 – переключатель пределов

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. Чтобы ускорить поиск 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, соединенных между собой гибким двухжильным кабелем (рис. 1.4).



Рис. 1.4. 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:

- диапазон измерений – 10–200 000 лк;
- предел допускаемой основной относительной погрешности –  $\pm 8,0\%$ ;
- пределы измерений (переключение производится вручную): до 20, 200, 2000, 20 000 и 200 000 лк;
- источник питания – батарея (типоразмер «Крона»);
- масса прибора – 0,4 кг;
- габаритные размеры (не более):
  - ◆ блок обработки сигналов – 130×70×30 мм;
  - ◆ фотометрическая головка –  $\varnothing 36 \times 21$  мм.

Несколько расширенный диапазон измерения имеет **люксметр ТКА ЛЮКС** (рис. 1.5). Его технические параметры:

- диапазон измерений – 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.

Для питания прибора используется батарея типа «Крона».



Рис. 1.5. Общий вид люксметра ТКА ЛЮКС

**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, и по ним с помощью специального программного обеспечения может быть сформирован список объектов замеров или построены графики изменения интенсивности освещения.

**Люксметр TESTO 540** (рис. 1.6, а) 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 типоразмера ААА.

**Люксметр TESTO 545** (рис. 1.6, б) 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.



Рис. 1.6. Общий вид приборов TESTO 540 (а) и TESTO 545 (б)

Технические параметры прибора:

- диапазон измерений – 1–100 000 лк;
- погрешность измерений – 3,0 %;
- разрешение прибора – 1 лк в диапазоне 32 000 лк и 10 лк в остальном диапазоне;
- рабочая температура – 0–50 °С;
- габаритные размеры (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. 1.7).



Рис. 1.7. Общий вид приборов Пульсметр+Люксметр серии ТКА (слева) и Люксметр+Яркомер+Пульсметр «Эколайт-02» (справа)

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 среднего глаза человека.

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

Основные технические параметры прибора:

- Диапазон измерений:
  - ◆ освещенности – 10–200 000 лк;
  - ◆ коэффициента пульсации – 1–100 %.

- Предел допускаемой основной относительной погрешности измерений:

- ◆ освещенности –  $\pm 8\%$ ;
- ◆ коэффициента пульсации –  $\pm 10\%$ .
- 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.
- Габаритные размеры 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+Яркомер+Пульсметр «Эколайт-02»** применяют для измерения освещенности, создаваемой различными произвольно пространственно расположенными источниками, яркости самосвещающихся объектов, коэффициента пульсации газоразрядных ламп и освещенности в диапазоне 380–760 нм.

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

- Диапазон измерений:
  - ◆ освещенности – 10–200 000 лк;
  - ◆ яркости – 1–200 000 кд·м<sup>-2</sup>;
  - ◆ коэффициента пульсации – 1–100 %.
- Предел допускаемой основной относительной погрешности измерений:
  - ◆ освещенности –  $\pm 8,0\%$ ;
  - ◆ яркости –  $\pm 10,0\%$ ;
  - ◆ коэффициента пульсации –  $\pm 10,0\%$ .
- Габаритные размеры прибора (не более):
  - ◆ измерительный блок – 210×70×40 мм;
  - ◆ фотометрическая головка – 150×50×25 мм.
- Масса прибора (не более) – 0,5 кг.

Для питания прибора используется щелочная 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-В). Особенностью его конструкции является использование одной несменной фотометрической головки для измерения излучения в трех спектральных диапазонах (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Общий вид радиометра ТКА-ПКМ (слева) и Люксметра+Радиометра ТКА-01/3 (справа)

Технические параметры прибора:

- Диапазон измерений 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 измерений –  $\pm 17,0\%$ .
- 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 рис. 1.8.

Технические параметры прибора:

- Диапазон измерения энергетической облученности:
  - ◆ освещенности – 10–200 000 лк;
  - ◆ энергетической облученности – 10–60 000 (мВт·м<sup>-2</sup>).
- Предел допускаемой основной относительной погрешности измерений:
  - ◆ освещенности – ±8,0 %;
  - ◆ энергетической облученности – ±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».

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

Первичный преобразователь фитофотометра состоит из трех фоторезисторов с корректирующими 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 измерений фитофотометра – 0–300 фт·м<sup>-2</sup>. Он разделен на пять поддиапазонов: 0–3; 0–10; 0–30; 0–100 и 0–300 фт·м<sup>-2</sup>. 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 лучистой 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 измерений в диапазонах спектра оптического излучения:

- энергетической облученности: 220–280 нм – 0,1–1,0 и 1–10 Вт·м<sup>-2</sup>; 320–400 нм – 0,1–1,0 и 10–100 Вт·м<sup>-2</sup>; 380–710 нм – 1–10, 10–100 и 50–100 Вт·м<sup>-2</sup>.

- лучистой экспозиции: 220–280 нм –  $10\text{--}3 \cdot 10^2 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ ; 320–400 нм –  $100\text{--}3 \cdot 10^2 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ ; 380–710 нм –  $100\text{--}1,5 \cdot 10^2 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-2}$ .

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 термобатарея из манганиновых и константовых ленточек, спаяных между собой последовательно. Поверхность термобатареи покрыта сажей и магнезией, 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 в  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ .

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 которого 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 подключенному к нему милливольтметру по значению генерируемой им разности потенциалов. При этом величина термоЭДС пропорциональна разности температур «холодного» и «горячего» спаев термопар. В соответствии с законом Зеебека  $E = \alpha (T_{\Gamma} - T_{\text{X}})$ , где  $\alpha$  – коэффициент, значение которого зависит от применяемых в термопаре металлов.

## Методические указания по выполнению работы

1. По теоретическому материалу рекомендуемой литературы, 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 табл. 1.1.

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

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

### Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель и задачи работы.
3. Краткие сведения о назначении и принципе действия изучаемых приборов.
4. Технические характеристики изучаемых приборов (табл. 1.1).
5. Результаты измерений параметров оптического излучения (табл. 1.2).
6. Выводы по работе.

Таблица 1.1

Технические параметры приборов, применяемых  
для измерения эффективного действия оптического излучения

Наименование	Тип	Диапазон измерений	Погрешность измерений
Люксметры	Ю-116		
	ТКА-ПКМ/31		
	...		
Пульсметры	ТКА-ПКМ/31		
	«Эколайт-02»		
	...		
Радиометры	ТКА-ПКМ		
	ТКА-01/3		
	...		

Наименование	Тип	Диапазон измерений	Погрешность измерений
Уфиметр	УФМ-71		
Фитофотометр	ФФМ-71		
Дозиметр	ДАУ-81		
Пиранометр Янишевского			
Термостолбик			

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			
УФ-облученность		$\text{мВит} \cdot \text{м}^{-2}$			
Инфракрасная облученность*		$\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$			

\* При измерении инфракрасной облученности термостолбиком, для получения значения инфракрасной облученности ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ) показания милливольтметра (мВ) умножить на переводной коэффициент, приблизительно равный  $43 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \text{ мВ}^{-1}$ .

### Вопросы и задания для подготовки к защите отчета по 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? Опишите их устройство, назовите область применения и основные технические характеристики.

6. Какие приборы для измерения параметров витального (бактерицидного, фотосинтетического) излучения вы знаете? Опишите их устройство, назовите область применения и основные технические характеристики.

7. Какие приборы для измерения инфракрасной облученности вы знаете? Опишите их устройство, назовите область применения и основные технические характеристики.

## 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**

К типичным представителям источников теплового излучения относятся лампы накаливания со следующими техническими параметрами:

- 1) *электрическими*: род тока (переменный или постоянный), номинальное напряжение или диапазон изменения напряжения (В), мощность (Вт);
- 2) *светотехническими*: световой поток (лм), спектр излучения;
- 3) *эксплуатационными*: световая отдача (лм·Вт<sup>-1</sup>), срок службы (полный, номинальный, гарантированный, экономически целесообразный), геометрические размеры, тип цоколя.

Принцип действия осветительных и инфракрасных ламп накаливания основан на испускании соответствующих длин волн за счет, в первом случае, электронного возбуждения молекул и атомов, во втором – теплового колебания ядер молекул тела накала. При повышении температуры тела накала, увеличивается энергия поступательного колебательного и вращательного движения его частиц, вследствие чего растет поток излучения и средняя энергия фотона.

Таким образом, основным фактором, определяющим плотность и длину волны излучения тепловых источников, является температура.

Согласно закону Стефана-Больцмана, плотность излучения тела накала связана с температурой следующей формулой:

$$M = \varepsilon \sigma_0 T^4, \quad (2.1)$$

где  $M$  – энергетическая плотность излучения, Вт · м<sup>-2</sup>;

$\varepsilon$  – коэффициент теплового излучения тела накала, его среднее интегральное значение для вольфрама при 2600–3000 К равно 0,334;

$\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт · м<sup>-2</sup> · К<sup>-4</sup>;

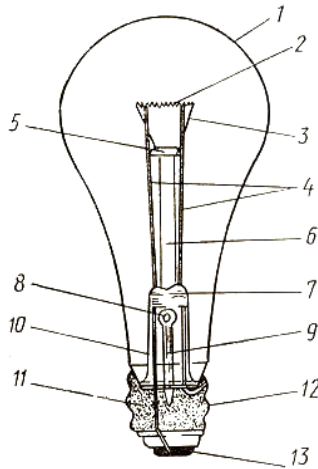
$T$  – температура тела накала, К.

Длина волны  $\lambda_{\max}$ , при которой спектральная плотность излучения максимальна, также зависит от температуры (закон Вина):

$$\lambda_{\max} T = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{К}. \quad (2.2)$$

Лампы накаливания (рис. 2.1) состоят из: стеклянной колбы 1, изолирующей тело накала от внешней среды; тела накала 2, изготовленного из вольфрамовой проволоки; молибденовых крючков-держателей 3, определяющих форму тела накала и препятствующих его провисанию; никелевых токоподводящих электродов 4; стеклянного стержня (штабика) 6, в верхней части которого имеется утолщение (линза) 5, куда впаяны крючки; полого стеклянного цилиндра 10, опрессованного в верхней части (лопаточка) 7, где соединены штабик 6 откачной трубки и штенгель 9, который имеет отверстие 8; резьбового металлического цоколя 12, к которому припаян токоподводящий электрод; изолированной от цоколя контактной шайбы 13 с припаянным вторым токоподводящим электродом. Колба и цоколь лампы соединены специальной мастикой 11, контактная шайба крепится к цоколю электроизоляционной стекломассой.

Основным элементом лампы, определяющим ее функциональное назначение, является тело накала, которое изготавливают в виде нити (спирали, биспираль) из вольфрама. Форма тела накала также влияет на скорость испарения вольфрама и тепловые потери.



*Рис. 2.1. Устройство лампы накаливания:*

- 1 – колба; 2 – тело накала; 3 – крючки-держатели; 4 – электроды; 5 – линза;  
 6 – штабик; 7 – лопаточка; 8 – откачное отверстие; 9 – штенгель;  
 10 – полый цилиндр; 11 – мастика; 12 – цоколь; 13 – контактная шайба

Наполнение колбы определяет величину рабочей температуры тела накала. У вакуумных ламп воздух откачен до остаточного давления  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па, рабочая температура тела накала 2400–2500 К. У газонаполненных ламп колба заполнена смесью аргона, криптона или ксенон с азотом. Наличие в колбе тяжелых инертных газов и более высокое давление позволяют повысить температуру тела накала до 2700 К (аргон) и 2890 К (криптон) без увеличения распыла материала тела накала. Азот служит изолятором – исключает электрический пробой между витками спирали. Аргона, криптон, ксенон снижают потери энергии на нагревание газов и колбы. Чем инертнее газ, тем он более эффективен как теплоизолятор.

В зависимости от конструктивного исполнения лампы накаливания общепромышленного назначения обозначают: В – вакуумная; Г – газонаполненная моноспиральная; Б – газонаполненная биспиральная; К – наполненная криптон-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.

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 E14 или E27 для ламп мощностью 15–200 Вт или E40 – 300, 500 Вт и более. Световая отдача у ламп накаливания определяется пределами 7,5–20 лм·Вт<sup>-1</sup>. 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.

Отклонение питающего напряжения от его номинального значения существенно влияет на изменение параметров ламп накаливания.

Эксплуатировать лампы накаливания общего назначения необходимо при относительной влажности окружающей среды не более 98 %, температуре – от –60 до +50 °С.

Лампы накаливания общего назначения изготавливают мощностью от 15 до 1500 Вт на номинальные напряжения питания 12, 24, 36 В и допустимые диапазоны их изменения 125–135, 215–225, 225–235, 235–245, 245–255 В.

Существенным шагом в направлении совершенствования ламп накаливания явилось появление галогенных ламп накаливания, принцип действия которых может быть пояснен следующей схемой (рис. 2.2).

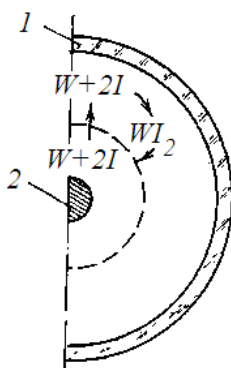


Рис. 2.2. Упрощенная схема действия вольфрамо-йодного цикла:  
1 – колба из кварцевого стекла; 2 – тело накала в виде вольфрамовой спирали

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.

Вольфрам-йодный цикл препятствует осаждению вольфрама на стенки колбы лампы, сохраняя их чистыми и прозрачными на протяжении всего срока службы. Но он не способен восстановить первоначальный вид тела накала, 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, мощностью от 100 до 20 000 Вт; напряжение 230 и 400 В) и установок инфракрасного нагрева (типа КГТ, мощностью 400, 600, 1000, 2200, 2500, 3300 и 3550 Вт; напряжение 230 и 400 В). Условное обозначение лампы 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, Д – дифференцированное или К – концентрированное 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 ( $22\text{--}29 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$ ).

### 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.

2. По представленным в лаборатории натурным образцам и планшетам 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 в табл. 2.1.

Напряжение на лампе задавать регулятором напряжения, величины напряжения и тока определить по показаниям приборов РВ и РА, 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 ( $\Phi_c$ , лм) и световую отдачу ( $\eta_c$ ,  $\text{лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$ ) исследуемых ламп. Результаты вычислений занести в табл. 2.1.

5. По результатам расчетов температуры тела накала ( $T$ , К) определить значения длины волны ( $\lambda_{\text{max}}$ , мкм), при которой спектральная плотность излучения характеризуется максимальным значением, и спектральной плотности излучения ( $\varphi_{\lambda,T}$ ,  $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{мкм}^{-1}$ ) при  $\lambda_{\text{max}}$ . Результаты расчетов представить в виде табл. 2.2.

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  $\Phi_C$  и световой отдачи  $\eta_C$  ламп от напряжения питания  $U$ , то есть  $P, T, R_T, \Phi_C$  и  $\eta_C = f(U)$ .

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

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

Таблица 2.1

Результаты измерений параметров ламп накаливания  
общего назначения

Тип лампы	Измерено			Вычислено				
	$U$ , В	$I$ , А	$E_C$ , лк	$P$ , Вт	$\Phi_C$ , лм	$\eta_C$ , лм/Вт	$T$ , К	$R_T$ , Ом
	180							
	200							
	220							
	240							

В таблице:  $U, I, P$  – напряжение, ток и мощность ламп;  $E_C$  – освещенность;  $T, R_T$  – температура и сопротивление тела накала лампы;  $\Phi_C, \eta_C$  – световой поток и световая отдача лампы.

Таблица 2.2

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

Тип лампы	$T$ , К	$\lambda_{\max}$ , мкм	$\phi_{\lambda, T}$ , Вт·м <sup>-2</sup> мкм <sup>-1</sup>
	$T_1$		
	$T_2$		
	$T_3$		
	$T_4$		



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

### Методика вычислений

Вычисление приведенных в табл. 2.1 и 2.2 расчетных величин рекомендуется выполнять с использованием следующих формул:

1. Мощность лампы:

$$P = UI. \quad (2.3)$$

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

$$\Phi_C = 4\pi l^2 E_C, \quad (2.4)$$

где  $l$  – расстояние от лампы до точки измерения освещенности, м;

$E_C$  – измеренное значение освещенности в расчетной точке, лк.

При  $l = 0,5$  м, что имеет место в экспериментальном лабораторном стенде,  $\Phi_C = 3,14 \cdot E_C$ .

3. Сопротивление нити накала лампы в рабочем режиме:

$$R_T = U / I, \quad (2.5)$$

где  $U$  – напряжение питания лампы, В;

$I$  – потребляемый лампой ток, А.

4. Температура тела накала лампы:

$$T = (R_T - R_0) / \alpha R_0 + T_0, \quad (2.6)$$

где  $R_0$  – температура тела накала лампы при температуре окружающей среды ( $T_0 = 293$  К). Значение  $R_0$  для исследуемой лампы

определяется по справочной таблице, размещенной на лабораторном стенде;

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления вольфрама,  $\alpha = 0,005 \text{ K}^{-1}$ .

5. Световая отдача лампы:

$$\eta_c = \frac{\Phi_c}{P}, \quad (2.7)$$

где  $P$  – потребляемая мощность лампы, Вт.

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

$$\lambda_{\text{max}} T = 2896, \quad (2.8)$$

Значение спектральной плотности излучения ( $\varphi_{\lambda, T}$ ,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$ ) при  $\lambda_{\text{max}}$  можно определить по формуле:

$$\varphi_{(\lambda, T) \text{max}} = C_3 T^4, \quad (2.9)$$

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

### 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. Конструктивная и принципиальная электрические схемы экспериментального лабораторного стенда.
4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 2.1 и 2.2).
5. Графические зависимости и выводы по результатам работы.

## **Вопросы и задания для подготовки к защите отчета по 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 продления срока службы ламп накаливания.

### **3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БАЛЛАСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ 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  $\text{cos}\phi$  схем их включения.
3. Изучить влияние вида балластного сопротивления на форму напряжения на лампе и балластном сопротивлении.

#### **Общие сведения**

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.

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 (0,01–1,00 МПа) и сверх высокого (>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 ( $\text{лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$ ), 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.

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 фотолюминесценции преобразуется в излучение видимой части спектра. **Фотолюминесценция** – излучение люминофором оптического излучения в результате поглощения фотонов меньшей длины волны. 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 вварены электроды с биспиральной нитью накала из вольфрама, покрытого оксидным слоем. Электроды присоединены к контактным штырькам, закрепленным в цоколе и изолированные 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 следующем 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 изготавливают 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<sup>-1</sup>. Номинальный световой поток лампы, излучаемый после 100 ч эксплуатации и к концу срока службы, 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.

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.

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 активное, индуктивное или емкостное сопротивления. Тип балластного сопротивления определяет специфику работы лампы, особенности которой рассмотрим при анализе изменения значений напряжения, тока и светового потока за период синусоидального изменения напряжения питающей сети (рис. 3.1).

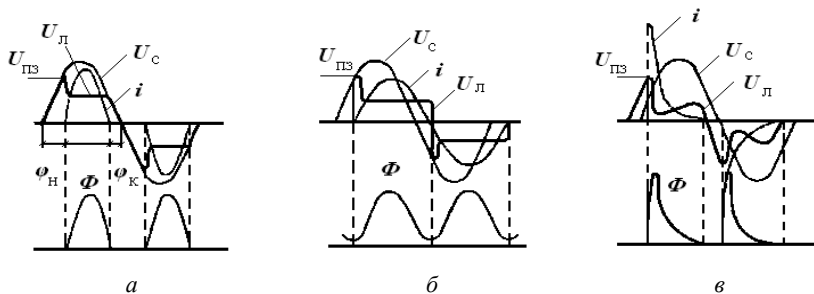


Рис. 3.1. Осциллограммы изменения питающего напряжения  $U_c$ , напряжения на электродах  $U_{л}$ , тока  $i$  и потока излучения  $\Phi$  газоразрядного источника при различных балластных сопротивлениях:  $a$  – активном;  $b$  – индуктивном;  $v$  – емкостном

При работе газоразрядного источника с активным балластным сопротивлением, напряжение на его электродах синхронно следует за напряжением питающей сети (рис. 3.1,  $a$ ). Когда напряжение на электродах источника достигает значения напряжения  $U_{пз}$  перезажигания, происходит повторный пробой газового промежутка,

в нем возобновляется электрический разряд, в цепи появляется ток  $i$ , и поток излучения  $\Phi$ . 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 и наблюдаются в течение не полного полупериода изменения напряжения питающей сети. Появляются темновые паузы – в начале  $\varphi_n$  и в конце  $\varphi_k$  электрического разряда, определяющие пульсацию потока излучения.

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. 3.1, б). Отсутствие 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 следует отметить: большой расход металла на его изготовление, что существенно удорожает изделие; сдвиг фаз между током и напряжением приводит к появлению реактивной мощности и снижению коэффициента мощности сети.

Емкостное балластное сопротивление для стабилизации электрического разряда газоразрядных источников применяется относительно редко, причиной является чрезмерное искажение формы тока и светового потока источника (рис. 3.1, в). 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 с 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 синусоиде. Увеличиваются световая отдача (на 5–10 %) и срок службы (10–50 %) источника. Снижаются коэффициент пульсации (до 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 %.

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 люминесцентными лампами маркировки Т12. Их средний срок службы – 12–15 тыс. ч, световая отдача – до 60–90 лм·Вт<sup>-1</sup>.

Освоен выпуск люминесцентных ламп с диаметрами газоразрядной трубки 16 (маркировка Т5) и 12,5 (маркировка Т4) мм, пришедшим на смену люминесцентных ламп Т8. Кроме уменьшенного

диаметра трубки они отличаются повышенными световой отдачей (до 82–104 лм·Вт<sup>-1</sup>) 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 E14 или E27 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<sup>-1</sup>, сроком службы 5–2 тыс. ч и различной цветовой гаммой видимого излучения – так называемым «теплым» (цветовая температура 2700 К), «холодным» (4000–4200 К) либо дневным (6400 и более К) 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 бывают: 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. 3.2).

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 электродами. 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, для которых предназначен стартер; 127 и 220 В – номинальное напряжение сети 120 и 230 В соответственно.

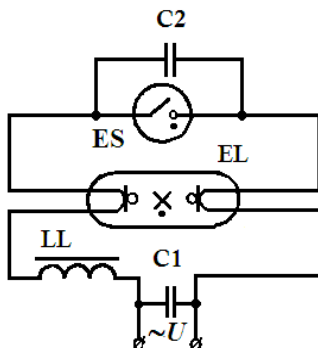


Рис. 3.2. Схема включения люминесцентной лампы с использованием стартера тлеющего разряда:

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, включенного 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 ( $\cos \varphi > 0,96-0,98$ ); 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:

1 2 3 4 5 – 6 7 8 ,

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.

### **Методические указания по выполнению работы**

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

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

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 табл. 3.3.

4. Напряжение питания схемы включения лампы задавать регулятором  $TU$  (смотреть схему на лабораторном стенде). Значения напряжений, тока и мощностей определять по показаниям соответствующих приборов  $PV$  и  $PA$ ,  $PW$ . Освещенность  $E$  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.

5. 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 виде табл. 3.3.

Таблица 3.1

Значения технических параметров газоразрядных ламп низкого давления

Наименование ламп	Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм	Габаритные размеры, мм	
					Диаметр	Длина
и т. д.						

Таблица 3.2

Значения технических параметров пускорегулирующих аппаратов, применяемых для включения газоразрядных ламп низкого давления

Наименование ПРА	Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Ток, А	cos φ	Габаритные размеры, мм		
						Длина	Высота	Ширина
и т. д.								

6. Установив регулятором  $TU$  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.

7. По результатам произведенных измерений и вычислений проанализировать влияние вида балластного сопротивления на напряжение зажигания  $U_{зл}$  и погасания  $U_{пл}$  лампы, потребляемые мощности лампой  $P_{л}$  и балластным сопротивлением  $P_{б}$ , световой поток  $\Phi$  и световую отдачу  $\eta_c$  лампы, коэффициент мощности  $\cos \varphi$  схемы включения (табл. 3.3).

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

Таблица 3.3

Значения параметров 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	$U_L$ , В	$U_B$ , В	$P$ , Вт	$P_L$ , Вт	$I$ , А	$E_C$ , лк	$\Phi_C$ , лм	$\eta_C$ , лм/Вт	$P_B$ , Вт	$S$ , ВА	$\cos\phi$	
Активное																
Индуктив- ное																
Емкостное																

В таблице:  $U_{ЗС}$ ,  $U_{ЗЛ}$ ,  $U_{ПЛ}$  – напряжения включения («зажигания») стартера, лампы и погасания лампы соответственно;  $U_C$ ,  $U_B$ ,  $U_L$  – напряжения сети на балластном сопротивлении и лампе;  $P_L$ ,  $P_B$ ,  $P$  – потребляемые мощности лампой, балластным сопротивлением и всей схемой включения;  $I$  – ток схемы включения;  $E_C$  – освещенность условной поверхности;  $\Phi_C$ ,  $\eta_C$  – световой поток и световая отдача лампы;  $S$ ,  $\cos\phi$  – полная мощность и коэффициент мощности схемы включения лампы.

### Методика вычислений

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

1. Световой поток люминесцентной лампы:

$$\Phi_C = \frac{E\pi^2 LH_P}{\alpha\pi + \frac{\sin 2\alpha}{2}}, \quad (3.1)$$

где  $E$  – 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;

$\alpha$  – 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:

$$P_b = P - P_{л}. \quad (3.3)$$

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. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 3.3).
5. Результаты анализа и выводы о преимуществах (недостатках) использования балластных сопротивлений в соответствии с п. 7 указаний по выполнению работы.



## **Вопросы и задания для подготовки к защите отчета по лабораторной работе**

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

2. Как устроена люминесцентная лампа? Опишите принцип действия, обозначение и номенклатуру.

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. Опишите принцип работы известных вам схем включения в сеть газоразрядных ламп низкого давления, используемую при этом пускорегулирующую аппаратуру и ее элементы; пути совершенствования схем включения и пускорегулирующей аппаратуры.

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

#### 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ИХ РАЗГОРАНИИ

**Цель работы:** изучить устройство, принцип действия, обозначение и номенклатуру, основные характеристики осветительных, УФ- и фотосинтетических ламп высокого давления, схемы их включения в сеть.

##### **Задачи работы:**

1. Изучить устройство и принцип действия, обозначение и номенклатуру газоразрядных ламп высокого давления, используемых для освещения, УФ- и фотосинтетического облучения, 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**

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 (рис. 4.1) 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. Газо-разрядная 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.

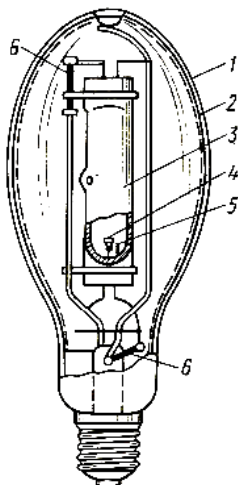


Рис. 4.1. Устройство лампы ДРЛ:

1 – колба; 2 – люминофор; 3 – горелка; 4 – рабочий электрод;  
5 – поджигающий электрод; 6 – сопротивление

Период разгорания лампы ДРЛ продолжается 3–7 мин. За это время происходит 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 ней составляет 25–30 В и по мере разгорания повышается до 115–145 В. В момент зажигания ток в 2,0–2,6 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<sup>-1</sup>, 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.

Существенным недостатком ламп ДРЛ является значительная пульсация светового потока (до 75 %) и неудовлетворительная цветопередача ( $T_c = 3800$  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 йодида таллия насыщает спектр зеленым цветом, натрия – желтым, 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  $66\text{--}100 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$ , 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 ( $T_c = 4200 \text{ К}$ ,  $R_a = 60$ ). С точки зрения 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.

Обозначение ламп ДРИ включает: буквы ДРИ или ДРИЗ, означающие соответственно Д – дуговая, Р – ртутная, И – с излучающими добавками, З – зеркальная; 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 цвето-передачу их излучения ( $T_c = 2100 \text{ К}$ ,  $R_a = 25$ ) 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 °С.

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 Д – дуговая, На – натриевая, Т – трубчатая, З – зеркальная; цифры, указывающие мощность лампы, Вт; цифру через дефис, указывающую номер разработки. Пример обозначения лампы: ДНаТ 250-5.

*Лампы ДРТ* (дуговая ртутная трубчатая) являются источниками общего УФ-излучения. Лампа представляет собой трубку из кварцевого стекла, в концы которой впаяны вольфрамовые самокалящиеся электроды (рис. 4.2). В лампу вводят дозированное количество

ртути и аргона. Для удобства крепления к арматуре лампа снабжена металлическим хомутом и держателем, которые соединены между собой металлической полоской, используемой для облегчения зажигания лампы.

Период разгорания лампы 3–7 мин, в течение которых изменяются ее электрические и светотехнические параметры. Повторное зажигание погасшей лампы возможно после ее остывания (через 7–10 мин).

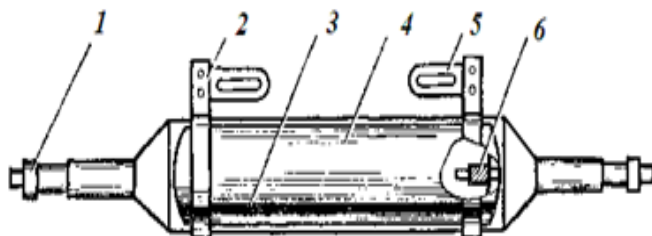


Рис. 4.2. Устройство лампы ДРТ:

- 1 – ввод; 2 – металлический хомут; 3 – металлическая полоска;  
4 – стеклянная цилиндрическая колба; 5 – держатель;  
6 – вольфрамовый электрод

В качестве источников общего УФ-излучения применяют лампы ДРТ мощностью от 100 до 6000 Вт, из них в сельскохозяйственном производстве – в основном мощностью 100, 230, 400 и 1000 Вт. Средняя продолжительность горения ламп составляет 2000–2700 ч. В конце срока службы УФ-излучение ламп составляет не менее 60 % номинальных значений.

Разновидностью ламп ДРТ являются лампы ДРП, ДРТ2 и ДРП2. Отличаются от базовой модели наличием тонкой кварцевой пленки с легирующими добавками, нанесенной на газоразрядную стеклянную колбу. Кварцевая пленка отфильтровывает коротковолновое УФ-излучение, генерируемое при электрическом разряде в парах ртути. Благодаря дополнительной пленке излучение с длинами волн 200–280 нм в общем потоке излучения лампы не превышает 5 %. Указанные лампы, а также лампы ДРТ мощностью 100, 120 и 250 Вт имеют четырехэлектродное исполнение, что обеспечивает поджигание газового разряда без каких-либо дополнительных устройств и приспособлений.

Включение газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ в сеть переменного тока возможно только путем последовательного соединения с ним специального ПРА (рис. 4.3). В зависимости от типа и конструктивных модификаций ламп различают и схемы их включения в сеть.

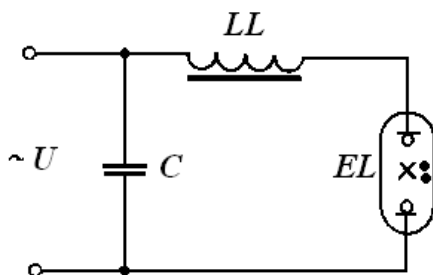


Рис. 4.3. Принципиальная схема включения четырехэлектродной лампы ДРЛ в сеть:  
 $LL$  – балластный дроссель;  $C$  – конденсатор;  $EL$  – лампа

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.

У четырехэлектродных ламп 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 последовательно с лампой включается дроссель. Так как при индуктивном балласте коэффициент мощности ПРА составляет 0,45–0,60, то для его повышения до требуемого значения в схему вводится конденсатор  $C$ . Емкость конденсатора определяется мощностью лампы.



Лампы ДРИ и ДНаТ для включения в сеть требуют в дополнение к балластному сопротивлению наличия специального зажигающего устройства – универсальное импульсное зажигающее устройство (УИЗУ) или импульсное зажигающее устройство (ИЗУ), генерирующего импульсы высокого напряжения (рис. 4.4). 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  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

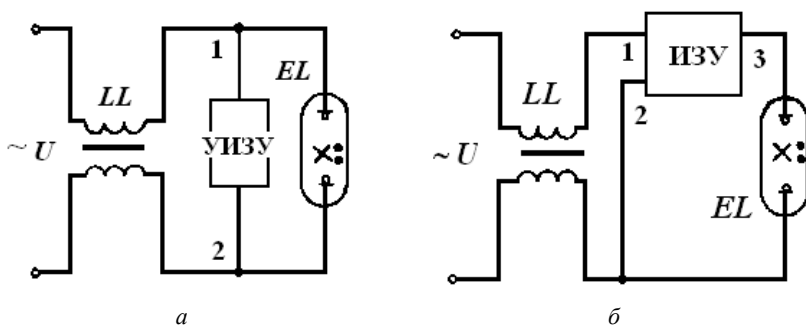


Рис. 4.4. Принципиальная электрическая схема включения ламп ДРИ и ДНаТ с зажигающим устройством типов УИЗУ (а) и ИЗУ (б)

Отметим, что для ламп различных типов и мощностей 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 ламп.

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

1 2 – 3 4 / 5 – 6 – 7 8 ,

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

2 – буквы ДБИ (дрессель 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 исполнение 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-009У4 – 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.

### **Методические указания по выполнению работы**

1. Изучить устройство экспериментального 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.

2. По представленным на экспериментальном стенде натурным образцам изучить устройство и принцип действия газоразрядных ламп высокого давления, пускорегулирующих аппаратов и элементов схем включения. Технические параметры изучаемых ламп записать в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Значения технических параметров газоразрядных ламп высокого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В	Ток, А	Эффективный поток, лм, вит, бк, фит	Номинальный срок службы, ч	Диаметр, мм	Длина, мм	Тип цоколя
и т. д.								

3. Установить напряжение 220 В и включить лампу в сеть. Через каждые 3 с с момента включения измерять электрические и светотехнические параметры лампы и схемы включения. Измерение напряжения на лампе в начальный момент включения осуществлять вольтметром PV4, подключая его через кнопку SB. Результаты измерений записать в соответствующие ячейки табл. 4.2.

Таблица 4.2

Изменение электрических и светотехнических параметров газоразрядной лампы высокого давления при разгорании

Тип лампы	Измерено							Вычислено				
	$t$ , с	$P$ , Вт	$I$ , А	$U_B$ , В	$U_L$ , В	$P_L$ , Вт	$E$ , лк	$\Phi_C$ , лм	$\eta$ , лм · Вт <sup>-1</sup>	$S$ , ВА	$P_B$ , Вт	$\cos\phi$
	0											
	30											
	60											
	...											
	420											

4. После разгорания лампы (примерно через 6–8 мин после включения) изменить автотрансформатором подаваемое на схему напряжение и через 2–4 мин после изменения измерить электрические и светотехнические параметры лампы и схемы включения при установленном напряжении. Результаты измерений записать в соответствующие ячейки табл. 4.2.

5. По результатам измерений рассчитать световой поток и световую отдачу лампы во время разгорания, потребляемую балластным сопротивлением мощность, полную мощность и коэффициент мощности схемы включения. Результаты расчетов представить в соответствующих ячейках табл. 4.2 и 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	$\eta$ , лм · Вт <sup>-1</sup>	$S$ , ВА	$P_B$ , Вт	$\cos\phi$
	240											
	230											
	220											
	210											
	200											
	190											
	180											

В табл. 4.2 и 4.3:  $t$  – время;  $U_C$  – напряжение сети;  $P$ ,  $I$  – потребляемая мощность и ток схемы включения;  $U_B$ ,  $U_L$  – напряжение на балластном сопротивлении (дресселе) и лампе;  $E$  – освещенность условной поверхности;  $\Phi_C$ ,  $\eta$  – световой поток лампы и световая отдача лампы;  $S$ ,  $\cos\phi$  – полная мощность и коэффициент мощности схемы включения лампы;  $P_B$  – мощность, теряемая в дресселе.

6. По результатам произведенных вычислений построить графические зависимости:

– изменения напряжения на лампе ( $U_L$ ) и дресселе ( $U_B$ ), мощностей, потребляемых схемой включения ( $P$ ) и лампой ( $P_L$ ), тока ( $I$ ) и светового потока ( $\Phi_C$ ) лампы от времени разжигания лампы ( $t$ );

– мощностей, потребляемых схемой включения ( $P$ ), лампой ( $P_L$ ) и балластом (дресселем) ( $P_B$ ), коэффициента мощности ( $\cos\phi$ ), тока

( $I$ ), светового потока ( $\Phi$ ) и световой отдачи ( $\eta$ ) лампы от величины напряжения питающей сети ( $U_C$ ).

7. Проанализировать 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 табл. 4.2 и 4.3 расчетных величин рекомендуется производить по следующим формулам:

1. Световой поток лампы:

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

где  $l$  – расстояние лампы до точки измерения освещенности,  $l = 1$  м;

$E_C$  – значение освещенности в точке измерения, лк;

$K$  – коэффициент, учитывающий пространственное распределение светового потока (для лабораторной установки  $K$  принять равным для ламп типа: ДРЛ – 0,35; ДРИ – 0,2; ДНаТ – 0,29).

2. Световая отдача лампы:

$$\eta_C = \frac{\Phi_C}{P_{\text{л}}}. \quad (4.2)$$

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

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

4. Мощность, теряемая в балластном сопротивлении:

$$P_{\text{б}} = P - P_{\text{л}}. \quad (4.4)$$

5. Коэффициент мощности схемы включения:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (4.5)$$

### 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 п. 6 и 7 методических указаний по выполнению работы.

### Вопросы и задания для подготовки к защите отчета по лабораторной работе

1. Поясните принцип действия газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ, ДРИ, ДНаТ и ДРТ.
2. Расскажите об устройстве, обозначении, номенклатуре, основных параметрах и характеристиках газоразрядных ламп высокого давления типов ДРЛ (двухэлектродной и четырехэлектродной), ДРИ, ДНаТ и ДРТ.
3. Приведите основные электрические, светотехнические и эксплуатационные характеристики и области применения газоразрядных ламп высокого давления типа ДРЛ, ДРИ, ДРТ, ДНаТ.
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. Объясните возможность повторного пуска газоразрядной лампы высокого давления только после ее отключения.

8. Как влияет колебание напряжения питания на основные характеристики газоразрядных ламп высокого давления?

9. Какие специальные газоразрядные источники высокого давления бактерицидного, витального и фотосинтетического излучения применяются в сельскохозяйственном производстве?

## 5. 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 воздействия окружающей среды, привести их условное обозначение.
4. Экспериментально определить равномерность освещенности рабочей поверхности, создаваемой щелевым световодом.

### **Общие сведения**

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.

**Светильник** – это устройство, предназначенное для крепления, включения в сеть, перераспределения светового потока, ограничения слепящего действия, защиты от механических повреждений, загрязнения и воздействия окружающей среды.

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  $\Phi_{\downarrow}$ , к полному световому потоку  $\Phi_{св}$ , излучаемому светильником. В зависимости от значения отношения  $\Phi_{\downarrow}/\Phi_{св}$  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 (рис. 5.1) светильники делят на 7 классов: концентрированная (К), глубокая (Г), косинусная (Д), полуширокая (Л), широкая (Ш), равномерная (М) и синусная (С). На практике для повышения точности и унификации расчетов осветительных установок некоторые из указанных типовых КСС детализируются с расширением количества типов (К-1, К-2, К-3 и т. д.).

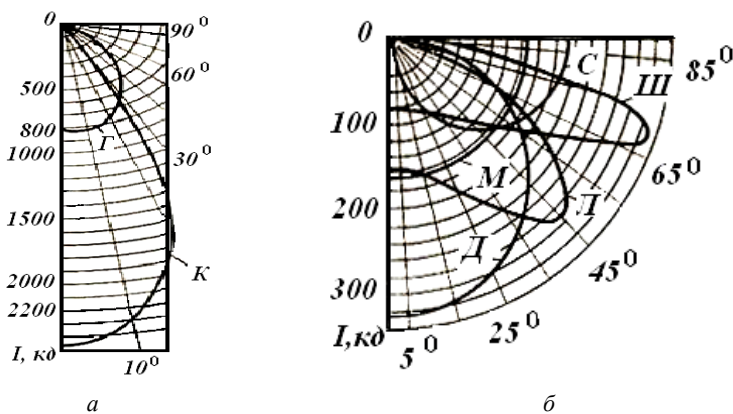


Рис. 5.1. Форма типовых кривых силы света:

- а) концентрированная (К), глубокая (Г);  
 б) косинусная (Д), полуширокая (Л), широкая (Ш), равномерная (М), синусная (С)

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

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 условного обозначения следующая:

**1** **2** **3** **4** - **5** \* **6** - **7** - **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 цифра 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). 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 характеризуют продольной КСС, которая получена в результате сечения их фотометрического тела излучения любой плоскостью, проходящей через вертикальную ось симметрии светильника (см. рис. 5.1).

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* – отношение светового потока светильника  $\Phi_{\text{свет}}$  к световому потоку источника света  $\Phi_{\text{источ}}$ :

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{свет}}}{\Phi_{\text{источ}}}. \quad (5.1)$$

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

*Защитный угол*  $\gamma$  светильника (рис. 5.2) определяет степень защиты глаза наблюдателя от воздействия ярких частей источника света. Его значение можно определить по формуле

$$\gamma = \arctg \frac{h}{l}, \quad (5.2)$$

где  $h$  – минимальная высота от края входного отверстия светильника до светящегося тела источника или минимальная высота экранирующих элементов решетки, м;

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

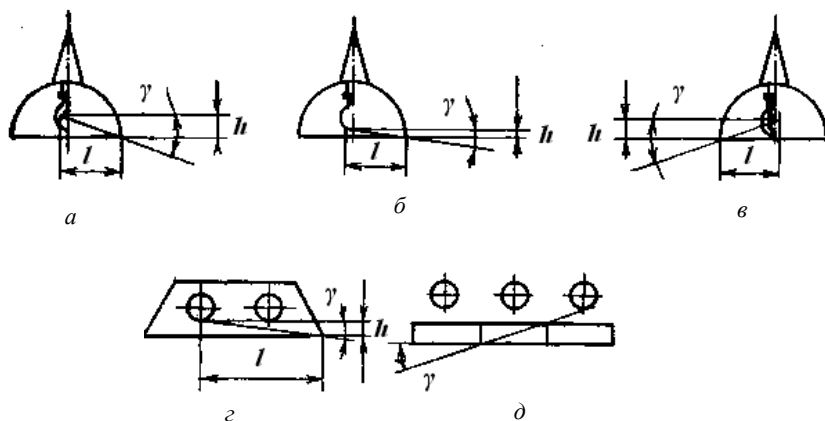


Рис. 5.2. Защитный угол светильников, создаваемый отражателями (а, б, в, г) и экранирующей решеткой (д), для светильников с лампами накаливания (а), газоразрядными лампами высокого давления (б, в) и люминесцентными лампами (г, д)

Защитный угол может быть отнесен к верхней или нижней полусфере.

**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.

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.

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. 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 свето пропускающей 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.

### Методические указания по выполнению работы

1. Изучить устройство экспериментального стенда для определения светового потока светильников, класса их светораспределения, формы КСС и КПД (рис. 5.3).

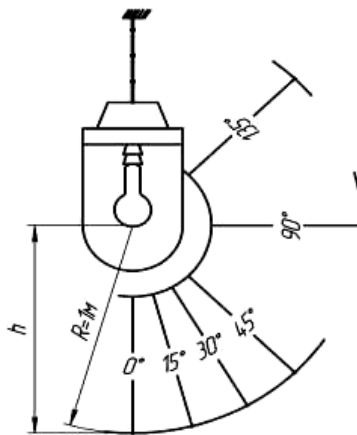


Рис. 5.3. Схема экспериментальной установки

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 табл. 5.1.

Таблица 5.1

## 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

3. На лабораторном экспериментальном стенде исследовать светораспределение заданных преподавателем светильников. Для этого измерить в заданных точках пространства создаваемую светильником освещенность. Результаты измерений записать в табл. 5.2.

Таблица 5.2

## Распределение светового потока светильника в пространстве

Измерено		Вычислено
Угол направления (измерения) света $\alpha$ , град	Освещенность $E_{\alpha}$ , лк	Сила света $I_{\alpha}$ , кд
5		
15		
25		
35 и т. д.		
через 10 до 180		

4. По результатам измерений рассчитать силу света  $I_{\alpha}$  в исследуемых точках пространства, световой поток в нижнюю  $\Phi_{\downarrow}$  и верхнюю  $\Phi_{\uparrow}$  полусферы, КПД светильника.

5. Результаты расчетов записать в соответствующие ячейки табл. 5.2–5.4.

Таблица 5.3

Распределение светового потока светильника в нижнюю  
и верхнюю полусферы

Параметр	Угол направления света, град	
	Нижняя полусфера 0–90°	Верхняя полусфера 90–180°
Световой поток в нижнюю и верхнюю полусферы, лм		
Световой поток светильника, ФΣ, лм		
Световой поток лампы в светильнике, Фл, лм		
КПД светильника, %		

*Примечание:* световой поток лампы в светильнике определить по каталогу.

6. По результатам расчетов (табл. 5.2) построить кривые силы света для исследованных светильников  $I_{\alpha} = f(\alpha)$ .

7. По результатам ознакомления с устройством классифицировать исследованные светильники и привести их условное обозначение. Результаты представить по форме табл. 5.4.

Таблица 5.4

Классификация исследованных светильников

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

8. Исследовать равномерность освещенности, создаваемой щелевым световодом на расчетной поверхности. Для чего включить КОУ в сеть и после разгорания лампы (≈ 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 табл. 5.5 и по ним рассчитать освещенность на расчетной поверхности, создаваемую осветительной установкой. Построить кривую распределения освещенности на расчетной поверхности  $E = f(l)$ .

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

Таблица 5.5

Распределение освещенности от КОУ на расчетной поверхности

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

### Методика вычислений

Вычисление приведенных в табл. 5.2–5.5 расчетных величин рекомендуется производить с использованием формул.

Сила света в заданном направлении:

$$I_a = \frac{E_a l^2}{\cos \beta}. \quad (5.3)$$

где  $\beta$  – угол между нормалью к поверхности фотоэлемента люксметра и направлением силы света, град;

$l_i$  – расстояние от светильника до фотоэлемента люксметра, м.

Поскольку для экспериментального стенда параметры  $\alpha = 0$  и  $l = h = 1$  м, то при расчете принять  $I_a = E_a$ .

Коэффициент полезного действия светильника:

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{свет}}}{\Phi_{\text{источ}}}$$

Значения  $\Phi_{\cup}$ ,  $\Phi_{\cap}$  и  $\Phi_{\text{Л}}$  принимаются по данным табл. 5.3.

Световой поток в телесном угле, ограниченном меридианным углом:

$$\Phi_{\cup} = I_5 \cdot \omega_{0-10} + I_{15} \cdot \omega_{10-20} + \dots + I_{75} \cdot \omega_{70-80} + I_{85} \cdot \omega_{80-90}, \quad (5.4)$$

$$\Phi_{\cap} = I_{95} \cdot \omega_{90-100} + I_{105} \cdot \omega_{100-120} + \dots + I_{165} \cdot \omega_{160-170} + I_{175} \cdot \omega_{170-180}. \quad (5.5)$$

### 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. 5.1–5.5).
5. Графические зависимости:
  - кривые силы света исследованных светильников;
  - распределения освещенности, создаваемой КОУ на расчетной поверхности ( $E = f(l)$ ).
6. Выводы по результатам проделанной работы.

### Вопросы и задания для подготовки к защите отчета по лабораторной работе

1. Какие световые приборы относят к классу светильников (прожекторов, 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 определяется 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.

## 6. 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 в зависимости от окраски рабочих поверхностей.

### **Общие сведения**

При проектировании установок искусственного освещения ставится задача не только создать требуемую нормированную освещенность рабочей поверхности, но и обеспечить качественные параметры: цвет излучения, пульсацию светового потока, ослепленность, неравномерность. Для общественных помещений, кроме того, используют также насыщенность пространства светом (цилиндрическая освещенность) и зрительный комфорт (показатель дискомфорта).

*Цвет излучения* может быть определен расчетным спектрофотометрическим методом или по специальной колориметрической координате цветности.

*Коэффициент пульсации освещенности  $K_n$ , %* – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников, в первую очередь газоразрядных ламп, при питании их переменным током.

Он определяется по следующей формуле:

$$K_n = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{cp}}} 100, \quad (6.1)$$

где  $E_{\max}$ ,  $E_{\min}$  и  $E_{\text{cp}}$  – 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  $K_n$  до 10–20 % в зависимости от характера зрительных работ.

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.

Известно, что освещенность в любой точке рабочей поверхности создается за счет светового потока  $\Phi_{\text{рп}}$ , который достиг и распределился на этой рабочей поверхности. Учитывая, что не весь

световой поток источника  $\Phi_{\text{ИСТ}}$  достигает рабочей поверхности, то при светотехническом расчете вводят понятие коэффициента использования светового потока  $\eta$ , значение которого указывает на долю светового потока источника (например, светильника), находящегося на рабочей поверхности:

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{РП}}}{\Phi_{\text{ИСТ}}}, \quad (6.2)$$

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

$\Phi_{\text{РП}}$  – световой поток, который достиг и распределился на рабочей поверхности, лм.

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

$$\Phi_{\text{РП}} = \eta \Phi_{\text{ИСТ}} \quad (6.3)$$

и состоит из двух составляющих: прямой  $\Phi'_{\text{РП}}$  – светового потока, падающего на рабочую поверхность непосредственно от источников (светильников), и отраженной  $\Phi''_{\text{РП}}$  – светового потока, падающего на окружающие поверхности (стены, потолок и др.) непосредственно от источника, отраженный от них и достигший рабочей поверхности. Соотношение между составляющими ( $\Phi'_{\text{РП}}$  и  $\Phi''_{\text{РП}}$ ) 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

$$E'_{\text{РП}} = \frac{I_{\alpha} \cos \beta}{l^2} \quad \text{или} \quad E'_{\text{РП}} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{h^2} \quad (6.4)$$

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

$$E_{\Sigma} = \Phi'_{\text{рп}} + \Phi''_{\text{рп}}. \quad (6.5)$$

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

$$\mu = \frac{E_{\Sigma}}{E'_{\text{рп}}}. \quad (6.6)$$

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

$$\Phi_{\text{рп}} = E_{\text{ср}} S_{\text{п}} \quad (6.7)$$

и коэффициент использования светового потока  $\eta$  (6.2).

В приведенных выше формулах (6.2)–(6.7):  $\eta$  – коэффициент использования светового потока;  $I_{\alpha}$  – сила света источника в направлении рассматриваемой точки, кд;  $\beta$  – угол между нормалью к поверхности и направлением силы света, град.;  $\alpha$  – угол между направлением силы света и осью симметрии источника, град.;  $l$  – расстояние между источником и рассматриваемой точкой, м;  $h$  – расчетная высота подвеса источника, м;  $S_{\text{п}}$  – площадь освещаемой поверхности, м<sup>2</sup>.

Нормативные документы, в частности ТКП 45-2.04-153–2009, регламентируют качественные параметры осветительной установки: показатели дискомфорта и ослепленности, цилиндрическую освещенность, коэффициенты пульсации и неравномерности освещенности. При этом предельные отношения коэффициента пульсации освещенности  $K_n$ , коэффициента неравномерности

освещенности  $Z$  и показателя ослепленности  $P$  установлены для осветительных установок производственных помещений, а цилиндрической освещенности  $E_{ц}$  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.

*Показатель ослепленности  $P$*  – критерий оценки слепящего действия осветительной установки, определяется по формуле:

$$P = (S - 1) 1000, \quad (6.8)$$

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  $P = 10\text{--}40$ . 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. 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



$$M = \frac{L_c \omega^{0,5}}{\Phi_o L_{ад}^{0,5}}, \quad (6.9)$$

где  $L_c$  – яркость блеского источника, кд·м<sup>-2</sup>;  
 $\omega$  – угловой размер блеского источника, ср;  
 $\Phi_o$  – индекс позиции блеского источника относительно линии зрения;  
 $L_{ад}$  – яркость адаптации, кд·м<sup>-2</sup>.

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. При проектировании показатель дискомфорта рассчитывается инженерными методами, изложенными в специальной литературе, или по упрощенной формуле:

$$M = M_T K_M, \quad (6.10)$$

где  $M_T$  – табличное значение показателя дискомфорта;  
 $K_M$  – поправочный коэффициент, равный

$$K_M = 0,5 \sqrt{\frac{\Phi_{\cup p}}{S_{вых}}}, \quad (6.11)$$

где  $\Phi_{\cup p}$  – реальный световой поток светильника в нижнюю полу-сферу, клм;  
 $S_{вых}$  – площадь выходного отверстия светильника, м<sup>2</sup>.

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.

*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, перпендикулярной проекции луча, на  $\pi$ . Расчет цилиндрической освещенности при нескольких светильниках в осветительной установке производится инженерным методом по справочным данным [3, 4].

*Коэффициент неравномерности освещенности* – определяет 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.

### **Задание на самостоятельную подготовку к выполнению работы**

1. 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 по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, качественных показателях осветительных установок, схему экспериментального 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 качественных характеристик (коэффициентов использования светового потока, неравномерности освещенности и добавочной освещенности (рис. 6.1)).

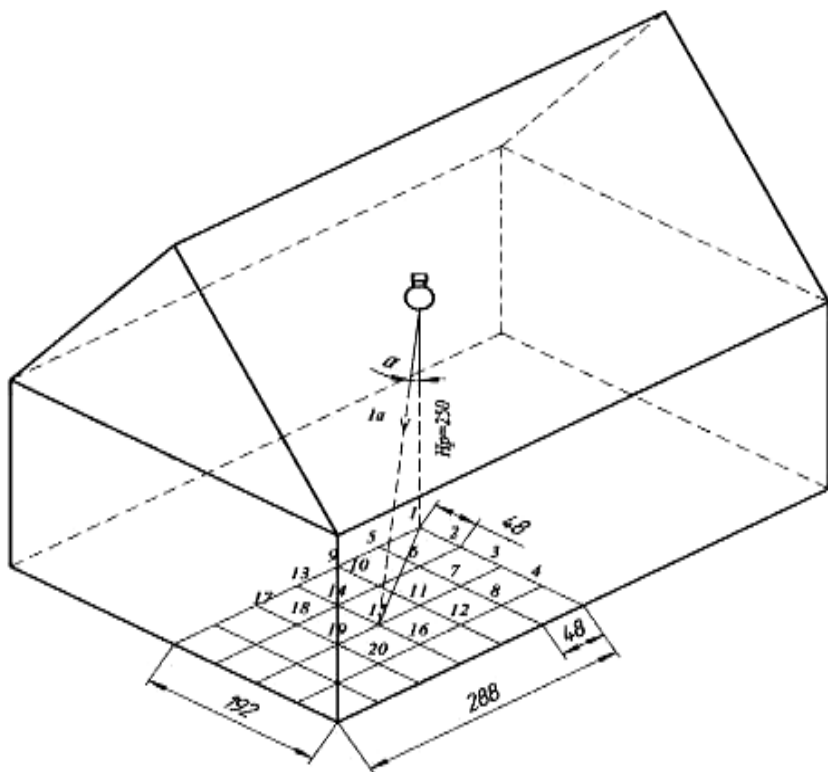


Рис. 6.1. Месторасположение контрольных точек на макете помещения

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 табл. 6.1.

Все измерения повторить при другой окраске потолка, стен и рабочей поверхности, для чего в макете предварительно изменить облицовку их поверхностей (окраска поверхностей краской белого и черного цвета).

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

9. По результатам измерений и вычислений сравнить полученное значение коэффициента пульсации освещенности с допустимым по СН 2.04.03–2020 и сделать вывод о соответствии осветительной установки нормативным требованиям.

Таблица 6.1

Результаты измерений 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
Номер контрольной точки	5	6	7	8	5	6	7	8
	9	10	11	12	9	10	11	12
	Освещенность, лк							
	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 рис. 6.2 кривой распределения силы света установленного в макете светового прибора, вычислить (см. рис. 6.1) значение освещенности  $E'_{рп}$  в заданных преподавателем контрольных точках.

4. По формуле (6.6) определить значение коэффициента добавочной освещенности.

5. Изобразить график зависимости коэффициента добавочной освещенности в контрольных точках от расстояния  $l$  их до стенки  $\mu = f(l)$ . По среднему значению освещенности  $E_{\text{СР}}$  горизонтальной поверхности пола макета помещения (табл. 6.1) определить коэффициент использования светового потока  $\eta$  осветительной установки макета помещения. При расчетах площадь освещаемой поверхности принять равной  $0,576 \cdot 0,384 = 0,2212 \text{ м}^2$ .

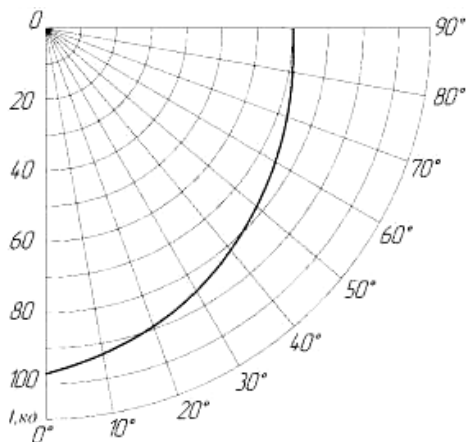


Рис. 6.2. Кривая распределения силы света светового прибора в макете помещения

6. С помощью пульсметра измерить коэффициент пульсации освещенности на рабочей поверхности в учебной лаборатории. Результаты измерений представить по форме табл. 6.2.

По результатам измерений сравнить полученное значение коэффициента пульсации освещенности с допустимыми по ТКП 45-2.04-153–2009 и сделать вывод о соответствии осветительной установки нормированным требованиям.

7. 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 табл. 6.2.

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

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

### Методика вычислений

Вычисление значений освещенности  $E'_{\text{рп}}$  в контрольных точках, коэффициентов добавочной освещенности  $\mu$  и использования светового потока  $\eta$  рекомендуется производить с использованием следующих формул:

– освещенность  $E'_{\text{рп}}$  в контрольной точке горизонтальной поверхности:

$$E'_{\text{рп}} = \frac{I_a \cos^3 a}{H_p^2}, \quad (6.12)$$

где  $I_a$  – сила света светового прибора в направлении контрольной точки, кд;

$\alpha$  – угол между направлением силы света  $I_a$  и осью симметрии светового прибора, град;

$H_p$  – высота подвеса светового прибора над уровнем пола макета помещения, м.

2. Коэффициент добавочной освещенности  $\mu$  в контрольной точке:

$$\mu = \frac{E}{E'_{\text{рп}}}, \quad (6.13)$$

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

3. Коэффициент использования светового потока:

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{рп}}}{\Phi_{\text{ист}}}, \quad (6.14)$$

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

$\Phi_{\text{рп}}$  – световой поток, достигший рабочей поверхности, лм, определяемый как

$$\Phi_{\text{рп}} = E_{\text{ср}} S, \quad (6.15)$$

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

$S$  – площадь горизонтальной поверхности пола макета помещения, м<sup>2</sup>.

### 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.
3. Конструктивная схема экспериментального лабораторного стенда.
4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 6.1 и 6.2).
5. Графические зависимости: коэффициента добавочной освещенности в контрольных точках от расстояния  $l$  их до стенки  $\mu = f(l)$ ; кривых горизонтальных изолюкс на уровне пола макета помещения.
6. Выводы по результатам проделанной работы.

### Вопросы и задания для подготовки к защите отчета по лабораторной работе

1. Какие нормируемые ТКП 45-2.04-153–2009 качественные показатели осветительной рабочей поверхности вы знаете? Поясните

их физический смысл и влияние на зрительную работоспособность работающих в помещении.

2. К каким нежелательным ситуациям может привести увеличение значения 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?



## **7. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛУЧЕННОСТИ, СОЗДАВАЕМОЙ ИНФРАКРАСНЫМИ ОБЛУЧАТЕЛЯМИ, ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ ИСТОЧНИКА И ВЫСОТЫ ПОДВЕСА**

**Цель работы:** изучить устройство, основные параметры и принципы регулирования ИК-облученности облучателей для ИК-обогрева молодняка животных и птицы.

### **Задачи работы:**

1. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и основные характеристики представленных в лаборатории облучателей для ИК-обогрева молодняка животных и птицы.

2. Исследовать зависимость ИК-облученности и «ощущаемой» температуры от напряжения и высоты подвеса облучателя.

3. Для заданного преподавателем варианта (вида и возраста молодняка) определить закономерность изменения напряжения питания ИК-облучателей при изменении в заданных пределах температуры помещения в зоне расположения животных.

### **Общие сведения**

Эффективность воздействия инфракрасных лучей зависит от длины волны  $\lambda$  (от 0,76 мкм до 1 мм) и поглощательной способности поверхности тела. Поглощение инфракрасного излучения кожей зависит от ее состояния (влажности, наличия шерстного или пухо-перьевого покрова, пигментации). Это сложный биологический процесс, в котором принимает участие весь организм животного (птицы) с его терморегуляторным аппаратом.

Вследствие разной глубины проникновения механизм действия длинноволнового ( $\lambda > 1,4$  мкм) и коротковолнового ( $\lambda = 0,76-1,4$  мкм) излучений различен. Длинноволновое излучение поглощается поверхностными слоями кожи, вызывает их тепловую эритему и высыхание влаги шерстного (пухо-перьевого) покрова. Это ведет к расширению кровеносных сосудов, увеличивает скорость кровотока, что значительно улучшает тепловой режим животного (птицы).

Коротковолновое излучение проникает на глубину 2,5–8,0 мм. Энергия излучения поглощается тканями и преобразуется в тепловую. Повышение температуры ткани способствует ускорению

химических реакций и происходящих там биологических процессов, что, в конечном счете, повышает обмен веществ, улучшает питание тканей, ускоряет рассасывание и удаление патологических продуктов.

Наиболее используемыми источниками инфракрасного излучения являются инфракрасные лампы («светлые» излучатели) и трубчатые нагреватели, панели и другие электронагревательные элементы («темные» излучатели). Для защиты источников инфракрасного излучения от механических повреждений, пыли, влаги, а в некоторых случаях и перераспределения потока излучения в пространстве, применяют специальную арматуру (кожухи, сетки, отражатели, устройства подключения к сети). Источник излучения вместе с арматурой называется облучателем. Из отдельных облучателей могут быть созданы установки инфракрасного обогрева, в которых облучатели объединяются единой схемой управления.

В сельскохозяйственном производстве для обогрева молодняка животных и птицы используют облучатели: ОРИ-1 (ОРИ-2); ОВИ-1 (ОВИ-2); ССП01-250 (ССП05-250, ССП06-250, ССП09-250); ОСХ-01-1000; ОКБ-1378А; ЭИ-1,0-И1; ЭИС-0,25-И1 «Ирис», керамические инфракрасные излучатели ECZ и ECH1 (рис. 7.1) и др.

При выборе мощности нагревателя необходимо иметь в виду, что с увеличением мощности нагревательного элемента растет интенсивность излучения и уменьшается длина волны (табл. 7.1 и 7.2).

Максимальная рабочая температура поверхности излучателей 600 °С для ECZ и 900 °С для ECH1. Обогреватель ECZ изготовлен наподобие инфракрасной лампы и оборудован цоколем E27.



Рис. 7.1. Керамические инфракрасные обогреватели ECZ (а) и ECH1 (б)

Таблица 7.1

Средняя температура поверхности и длина волны излучений  
керамических инфракрасных излучателей ECZ

Мощность, Вт	Средняя температура, °С	Длина волны, мкм	Масса, кг
75	330	5,0	0,16
150	460	4,0	0,16
250	560	3,5	0,16

Таблица 7.2

Средняя температура поверхности и длина волны излучений  
керамических инфракрасных излучателей ЕСН1

Мощность, Вт	250	400	600	800	1000
Средняя температура, °С	460	560	690	800	890
Длина волны, мкм	1,0–10,0				

Инфракрасный облучатель ССП09-250 (рис. 7.2) состоит из пластмассового корпуса и металлического защитного кожуха, покрытого силикатной эмалью, которая легко очищается от загрязнений. Сетка внизу предохраняет лампу от повреждений.



Рис. 7.2. Инфракрасный облучатель ССП 09-250

Инфракрасные облучатели применяют для создания требуемого температурного режима в зоне содержания животных и птицы. Инфракрасное излучение облучателя поглощается кожей животного

или птицы, в результате этого облучаемое тело ощущает температуру, более высокую, чем температура окружающего воздуха. Температура, которую ощущает тело в результате действия на него инфракрасного излучения и теплоты окружающего воздуха, называется ощущаемой температурой:

$$t_0 = t_{\text{Л}} + t_{\text{В}}, \quad (7.1)$$

где  $t_0$  – ощущаемая температура, °С;

$t_{\text{Л}}$  – температура инфракрасного излучения, °С;

$t_{\text{В}}$  – температура окружающего воздуха, °С.

Температуру инфракрасного излучения приближенно можно определить как

$$t_{\text{Л}} = 0,04 E k, \quad (7.2)$$

где 0,04 – коэффициент, определяющий зависимость температуры инфракрасного излучения от инфракрасной облученности тела, °С / (Вт·м<sup>-2</sup>);

$k$  – коэффициент «восприятия» инфракрасного излучения организмом животного (птицы), определяемый состоянием шерстно-перьевого покрова (загрязненности, влажности, окраски);

$E$  – облученность поверхности тела, Вт·м<sup>-2</sup>.

При неподвижном воздухе в помещении величина  $k \approx 1$ , с увеличением скорости воздуха и загрязнения кожно-перьевого покрова восприятие организмом инфракрасного излучения снижается.

Облученность, создаваемая облучателем, должна обеспечить требуемую ощущаемую температуру, которая нормируется в зависимости от вида и возраста животных (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Рекомендуемые значения ощущаемой температуры

Вид и возраст, сут	Телята			Поросята		Цыплята		
	20	20–60	60–120	сосуны	>14	1–5	6–12	13–21
Ощущаемая температура, °С	16–20	15–18	12–18	30	26	33–35	28–33	25–28

Ощущаемая температура обеспечивается за счет рационального выбора параметров облучателей. Основными параметрами, по которым выбирают облучатели, являются: тип, мощность, число и взаимное расположение источников излучения в облучателе; напряжение на источнике; высота подвеса облучателя; способ регулирования облученности.

Мощность и количество источников излучения зависят от требуемой облученности и площади облучения. Если тип облучателя и, следовательно, мощность его источника инфракрасного излучения выбраны, то облученность (а следовательно, и ощущаемую температуру) обеспечивают высотой подвеса облучателя или изменением напряжения питания. Высота подвеса облучателя ограничена снизу пожарной безопасностью (не ниже 0,5 м), а также конструкцией станка или другого оборудования, сверху – требуемой облученностью на заданной площади. Высота подвеса  $h$  должна быть принята из соображений минимально возможной. Она может быть принята по справочной литературе в зависимости от вида и возраста животного и типа облучателя или рассчитана.

При расчетном определении  $h$  исходят из зависимости  $E(h)$  для выбранного типа облучателя. Требуемую облученность  $E$  находят по заданной величине ощущаемой температуры и фактической температуре воздуха в помещении:

$$E = \frac{t_o - t_b}{0,04k} . \quad (7.3)$$

По известной облученности  $E$  и зависимости  $E(h)$  может быть определена требуемая высота подвеса облучателя.

При изменении температуры в помещении изменяется и ощущаемая температура. Поэтому в процессе эксплуатации облучателей для поддержания заданной ощущаемой температуры приходится изменять величину облученности. Облученность регулируют изменением высоты подвеса или напряжения на источниках излучения.

При изменении  $h$  инфракрасные источники питаются от постоянного напряжения, чаще всего номинального. Однако этот способ управления связан со значительными затратами ручного труда

и повышенным расходом электрической энергии. Преимуществами способа регулирования облученности изменением питающего напряжения являются: возможность автоматизации процесса, увеличение срока службы ламп из-за понижения напряжения, сокращение расхода электрической энергии.

Основная задача регулирования – изменение облученности в зависимости от возраста животных или птицы и температуры воздуха в помещении.

*Закон регулирования* напряжения в зависимости от температуры в помещении находят из выражения (7.1) для ощущаемой температуры. Из (7.1), (7.2) следует, что условие  $t_0 = \text{const}$  при  $t_B = \text{var}$  можно обеспечить, изменяя  $t_L$ . Уменьшая или увеличивая отклонение  $t_B$ , находят требуемые значения  $t_L$  и  $E$ . Далее зависимость  $E(h)$  определяют экспериментально или по справочной литературе. По зависимостям  $t_L(t_B)$ ,  $t_L(t_B)$ ,  $E(h)$ ,  $E(U)$  находят закон регулирования  $U(t_B)$ .

Более подробные сведения об устройстве, принципе действия, обозначении и номенклатуре, основных параметрах инфракрасных облучателей, применяемых для обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы, методике и последовательности рассмотрения вопросов при расчете установок инфракрасного обогрева, методике получения закономерности изменения напряжения питания источников для разработки схемы автоматического управления установкой можно получить в специальной литературе.

### **Задание для самостоятельной подготовки к выполнению работы**

1. Изучить устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные параметры ИК-облучателей, применяемых для обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы; методику и последовательность рассмотрения вопросов при расчете установок ИК-обогрева молодняка животных и птицы; методику получения закономерности изменения напряжения питания источников для разработки схемы автоматического управления установкой ИК-обогрева молодняка животных и птицы.

2. В соответствии с требованиями подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе,

в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, обозначении и основных параметрах ИК-облучателей, схему экспериментального стенда для проведения исследований, форму таблицы для регистрации результатов измерений и расчетов.

### Методические указания по выполнению работы

1. Изучить устройство экспериментального стенда для исследования изменения ИК-облученности, создаваемой облучателями на горизонтальной поверхности, при изменении напряжения питания и высоты подвеса облучателей (рис. 7.3).

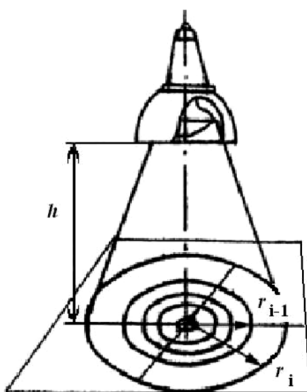


Рис. 7.3. Конструктивная схема экспериментального лабораторного стенда

2. По представленным в лаборатории натурным образцам ознакомиться с устройством, принципом действия, обозначением и основными параметрами ИК-облучателей (ОРИ-1, ССП01-250, ССП05-250, ССП 09-250 и др.).

3. На лабораторном экспериментальном стенде, включающем ИК-облучатель, приборы для измерения напряжения, тока, ИК-облученности и линейных размеров, исследовать изменения ИК-облученности, создаваемой облучателями на горизонтальной поверхности, при изменении напряжения питания и высоты подвеса облучателей. Для этого исследуемые облучатели подвесить на специально предназначенном для этой цели кронштейне на требуемой высоте, включить облучатель в сеть, подать заданное напряжение и измерить ИК-облученность в контрольных точках

горизонтальной поверхности. Изменяя регулятором напряжение, повторить измерения.

3. ИК-облученность измерять термостолбиком, подключенным к милливольтметру. Показания милливольтметра перевести в облученность по градуировочной кривой. Высоту подвеса облучателей изменять в пределах 0,4–0,8 м, напряжение питания – 140–220 В. Результаты измерений записать по форме табл. 7.4.

Таблица 7.4

Значения ИК-облученности в зависимости от напряжения питания и высоты подвеса облучателя, Вт/м<sup>2</sup>

Измерено								Вычислено	
<i>h</i> , м	<i>U</i> , В	Расстояние от центра проекции излучателя, м						$E_{\text{CP}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$T_{\text{ИК}}$ , °С
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5		
0,4	140								
	160								
	180								
	220								
0,6	140								
	160								
	180								
	220								
	...и т. д.								

В таблице: *h* – высота подвеса облучателя; *U* – напряжение питания облучателя;  $E_{\text{CP}}$  – средняя облученность;  $T_{\text{ИК}}$  – температура, создаваемая ИК-облучателем.

4. Построить графические зависимости  $E_{\text{CP}} = f(h)$  при  $U = \text{const}$  и  $E_{\text{CP}} = f(U)$  при  $h = \text{const}$ .

5. Воспользовавшись результатами исследований  $E_{\text{CP}} = f(U)$  для произвольно принятой высоты подвеса облучателя и заданного преподавателем варианта (вида и возраста молодняка) определить закономерность изменения напряжения питания ИК-облучателей при изменении в заданных пределах температуры помещения в зоне расположения животных.

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



## Содержание отчета

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения об устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре и основным параметрам ИК-облучателей, применяемых для обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы.
3. Конструктивная и электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.
4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 7.1).
5. Графическая зависимость:  $E_{\text{CP}} = f(U)$  для произвольно принятой высоты подвеса облучателя,  $E_{\text{CP}} = f(h)$  при  $U = \text{const}$  и  $E_{\text{CP}} = f(U)$  при  $h = \text{const}$ .
6. Аналитическая зависимость  $U = f(T_{\text{П}})$ .
7. Выводы по результатам проделанной работы.

### Вопросы и задания для подготовки к защите отчета по лабораторной работе

1. Объясните механизм воздействия ИК-излучения на организм животных и птицы.
2. Какие величины и единицы их измерения служат для оценки действия ИК-излучения?
3. Расскажите об устройстве известных вам ИК-облучателей, применяемых для обогрева молодняка сельскохозяйственных животных и птицы.
4. Как определить среднее значение ИК-облученности, создаваемой круглосимметричным облучателем на горизонтальной поверхности, при известном ее распределении на облучаемой поверхности?
5. Поясните физический смысл термина «ощущаемая температура».
6. Какими способами регулируется ИК-облученность рабочей поверхности?
7. Приведите методику получения закономерности изменения напряжения питания источников при разработке схемы автоматического управления установкой ИК-обогрева молодняка животных и птицы.

## 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛИЧНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЕЙ

**Цель работы:** изучить устройство, схемы включения и основные параметры облучателей, применяемых в установках искусственного облучения растений, ознакомиться с особенностями конструктивного исполнения применяемых в них источников. Исследовать электрические и светотехнические параметры облучателей и их изменение при включении.

### **Задачи работы:**

1. Изучить устройство, принцип действия, схемы включения, обозначение и основные характеристики представленных в лаборатории тепличных облучателей.
2. Получить практические навыки исследования электрических и светотехнических параметров тепличных облучателей.

### **Общие сведения**

Одним из важнейших условий существования биологической жизни на Земле является поглощенная и преобразованная энергия оптического излучения (ОИ) во всех ее видах и качествах в богатые энергией биохимические связи. Наиболее распространенной в природе фитобиологической реакцией является реакция *фотосинтеза*. При фотосинтезе световая энергия трансформируется в химическую энергию органических молекул растений и микроорганизмов путем восстановления углекислого газа до углеводов и выделения при этом кислорода. Выделяющийся в результате фотолиза воды кислород – основной фактор формообразования земной атмосферы и поддержания в ней кислородного баланса.

Наибольшей эффективностью для фотосинтеза является оптическое излучение с длиной волны  $\lambda = 400\text{--}700$  нм. Излучение в указанном спектральном диапазоне получило название *фотосинтетически активной радиации* (ФАР).

В климатических условиях Беларуси при недостаточном уровне и продолжительности естественного оптической облученности для повышения эффективности выращивания растений и синтеза

в них органических веществ широко применяют искусственное облучение. При искусственном облучении растений требуются весьма высокие уровни облученности ( $25\text{--}50 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ,  $8\text{--}17 \text{ фит}\cdot\text{м}^{-2}$ ,  $7\text{--}13$  тыс. лк), которые могут быть обеспечены лишь электрическими источниками излучения – преимущественно газоразрядными лампами низкого и высокого давления.

Если проанализировать применяемые для выращивания растений источники [1, 2], то можно сделать следующие выводы. Люминесцентные лампы, нашедшие применение для облучения растений на стеллажах и лотках, а также при выращивании рассады или цветочных культур в офисных и домашних оранжереях, имеют КПД ФАР до 28 %. Они относительно дешевы и долговечны, отличаются относительно небольшой температурой колбы в рабочем режиме, что позволяет их размещать на небольшом расстоянии от растений. Однако для них характерны относительно большие габариты и материалоемкость.

Широкое применение в теплицах получили ртутные лампы высокого давления с исправленной цветностью (типа ДРЛФ). Их достоинства – большая концентрация мощности, высокий срок службы и низкая стоимость. Основные недостатки – повышенное излучение в ближней УФ-части спектра и низкий КПД ФАР.

Натриевые и металлогалогенные лампы высокого давления отличаются наиболее высоким КПД ФАР, повышенным сроком службы, благоприятным для фотосинтеза спектром излучения, что обеспечивает им расширяющиеся масштабы использования в облучателях и установках для облучения растений. КПД ФАР натриевых ламп достигает  $25\text{--}35$  % – благодаря этому, а также большой средней продолжительности горения, натриевые лампы высокого давления получили широкое применение в теплицах. Основным недостатком ламп – малое излучение в синей части спектра, не превышающее 8 %.

Металлогалогенные лампы лишены этого недостатка. В спектре излучения металлогалогенных ламп с йодидами *Sc* и *Na* содержится излучение натрия (желто-оранжевая часть спектра), скандия (излучение в синей и красной частях спектра) и ртути (излучение в синей, зеленой и желтой частях спектра). Приемлемый спектр излучения, регулируемый соответствующими светящимися добавками, высокий КПД ФАР ( $25\text{--}30$  %) и большой диапазон мощностей

(0,25–4,00 кВт) позволяют эффективно использовать их при крупномасштабном выращивании овощной, цветочной и другой сельскохозяйственной продукции, а также в селекционно-генетических исследованиях.

Из многообразия стационарных тепличных облучателей, изготавливаемых для установок искусственного облучения растений, отметим только наиболее часто применяемые: ЖСП30 с лампами ДНаЗ (ДНаТ) мощностью 400 или 600 Вт; ЖСП59 и ЖСП70 с лампами ДНаЗ 400 (ДНаТ 400); ЖСП64 с лампами ДНаЗ 600 (ДНаТ 600); ЖСП62 с лампами ДНаТ 400; ЖСП61 с лампами ДНаТ 600; ГСП30 с лампами ДРИ модификации 6 мощностью 1000 и 2000 Вт. В тепличных комбинатах еще можно встретить тепличные облучатели: ОТ-400 с лампой ДРЛФ 400; ОТ-1000 с лампой ДРФ 1000; ГСП26-400 и ГСП26-1000 с лампами ДРИ 400 и ДРИ 1000; ОТ-2000 с лампой ДРОТ 2000; РСП15-2000 с лампой ДРЛ 2000; ССП03-750 с лампой ДРВ 750; РСП26-125 с лампой ДРЛ 125; ЖСП18-400 с лампой ДНаТ 400; серии ОГС01 «Фотос» с лампами ДРИ 1000, 2000, 3500 и ДМЗ 3000; типа 02ДП «Светотрон» с лампой ДРИ-2000; облучатели с лампами ЛФ и ЛФР, смонтированными в рамках-кассетах, например, ОТ 6×40, и др. Особенности конструкции и основные технические параметры большинства из них приведены в специальной литературе [1–3, 7].

*Облучатель ЖСП64-600-001Т* (рис. 8.1) изготовлен из литого алюминиевого корпуса с высоким уровнем защиты от коррозии. Комплектуется электронным пускорегулирующим аппаратом и лампой ДНаЗ 600 РЕФЛАКС «Супер» с повышенным уровнем светоотдачи – до  $143 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$ . Его технические параметры: напряжение питания –  $230 \text{ В} \pm 10 \%$  переменного тока частотой 50–60 Гц; номинальный ток лампы – 3,6 А; коэффициент мощности – 0,98; климатическое исполнение – У5; степень защиты отсека ЭПРА – IP65; габариты –  $700 \times 285 \times 273 \text{ мм}$ ; масса – 2,6 кг.



Рис. 8.1. Общий вид тепличного облучателя ЖСП64-600-001Т

Облучатель ОТ-2000 (рис. 8.2) состоит из диффузного отражателя и зажигающего устройства, объединенных в одном алюминиевом корпусе. Поверхность отражателя покрыта теплостойкой кремний-органической эмалью. Зажигающее устройство расположено рядом с лампой, что уменьшает длину высоковольтных проводов. Конструкция патронов для лампы обеспечивает ее надежное крепление, а также легкую смену. Отражатель обеспечивает защиту лампы от воды и ее интенсивную естественную вентиляцию. Корпус облучателя выполнен из алюминия. Снижению его массы способствует также размещение балластного дросселя на удалении. В качестве источника света в облучателе ОТ-2000 использована высокоэффективная металлогалогенная лампа ДРОТ 2000. КПД облучателя – не менее 70 %; КПД ФАР лампы – не менее 25 %; напряжение питания – 380 В, 50 Гц; потребляемая мощность – 2000 Вт при коэффициенте мощности равном 0,6; масса облучателя (без ПРА) – 7 кг.

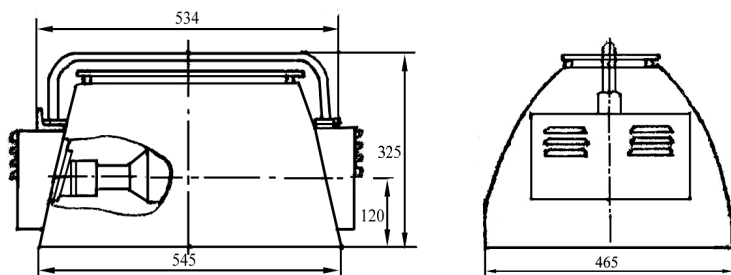


Рис. 8.2. Элементы конструкции облучателя ОТ-2000-01

Более подробные сведения об устройстве, принципе действия, обозначении и номенклатуре, основных технических параметрах тепличных облучателей можно получить в специальной литературе [4, 5].

### **Задание для самостоятельной подготовки к выполнению работы**

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе, рекомендуемой литературе и практикуму к лабораторным занятиям, изучить устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные параметры тепличных облучателей и применяемых в них источников.

2. В соответствии с требованиями нижеприведенного подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, обозначении и основных параметрах тепличных облучателей, схему экспериментального стенда для проведения исследований, форму таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

### Методические указания по выполнению работы

1. Изучить устройство экспериментального стенда для исследования электрических и светотехнических параметров тепличных облучателей (рис. 8.3).

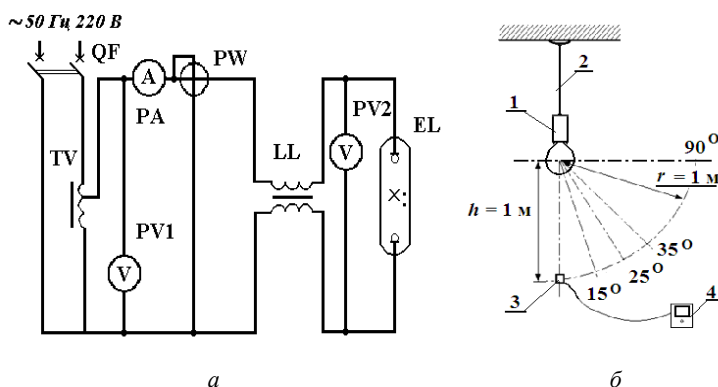


Рис. 8.3. Принципиальная электрическая (а) и конструктивная (б) схемы экспериментального стенда:

1 – облучатель; 2 – подвес; 3 – фотоэлемент люксметра; 4 – люксметр

2. По представленным в лаборатории плакатам и натурным образцам изучить устройство, основные характеристики и схемы включения облучателей и источников, применяемых для облучения растений.

3. На экспериментальном стенде исследовать светораспределение указанных преподавателем облучателей, для чего облучатели поочередно подвесить в затемненном пространстве таким образом, чтобы расстояние от его светового центра до фотоэлемента люксметра составило 1 м.

4. Включить облучатель в сеть и после разгорания лампы (5–8 минут), перемещая специальным приспособлением фотоэлемент люксметра вокруг облучателя по окружности (радиусом  $r = 1$  м), измерить в заданных точках пространства освещенность, создаваемую облучателем. Результаты измерений записать в табл. 8.1. Не выключая облучатель повторить измерения в этих же точках пространства, измеряя дозиметром ДАУ-81 энергетическую облученность, создаваемую облучателем.

Результаты расчетов представить в виде табл. 8.1.

5. Построить в полярных координатах кривые силы света и силы энергетического излучения  $I_\alpha = f(\alpha)$  и  $I_\phi = f(\alpha)$ .

6. Вычислить световой  $\Phi_C$  и энергетический  $\Phi_\Sigma$  потоки облучателя, направленные в нижнюю  $\Phi_{C\downarrow}$  ( $\Phi_{\Sigma\downarrow}$ ) и верхнюю  $\Phi_{C\uparrow}$  ( $\Phi_{\Sigma\uparrow}$ ) полушеры.

7. Определить КПД  $\eta$  облучателя, %.

Таблица 8.1

Результаты исследований светотехнических параметров тепличных облучателей

Измерено			Вычислено					
Угол направления излучения $\alpha$ , град	Освещенность $E_\alpha$ , лк	Облученность $E_\phi$ , Вт/м <sup>2</sup>	$K_\phi$ , Вт/лм	Сила		Поток		КПД $\eta$ , %
				света $I_\alpha$ , кд	энергетического излучения $I_\phi$ , Вт/ср	световой $\Phi_C$ , лм	энергетический $\Phi_\Sigma$ , Вт	
Облучатель _____								
0								
5								
15								
...								
180								

8. Исследовать изменение электрических и светотехнических параметров тепличного облучателя во время разгорания, для чего облучатель после остывания (не менее 15 мин) включить в сеть

и фиксировать данные (напряжение сети  $U_c$  и на лампе  $U_{л}$ , ток  $I$ , потребляемый схемой, и освещенность  $E$  в расчетной точке на расстоянии 1 м от облучателя) в момент включения ( $\tau = 0$ ) и через каждые 30 секунд ее работы до стабилизации всех параметров.

Для соответствующих интервалов времени вычислить полную мощность  $S$  (ВА), потребляемую облучателем. Результаты измерений и расчетов представить по форме табл. 8.2.

Построить графически зависимость тока  $I$  и напряжения на лампе  $U_{л}$  в функции времени разгорания  $\tau$ .

9. Дооформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

Таблица 8.2

Временные изменения параметров тепличного облучателя

Время разгорания $\tau$ , с	Измерено				Вычислено
	Напряжение сети $U_c$ , В	Напряжение на лампе $U_{л}$ , В	Ток лампы $I$ , А	Освещенность $E$ , лк	Полная мощность $S$ , ВА
0					
30					
60					
... и до полного разгорания					

### Методика вычислений

1. Значение силы света  $I_{\alpha}$  и силы энергетического излучения  $I_{\phi}$  определять по формуле:

$$I_{\alpha(\phi)} = \frac{E_{\alpha(\phi)} \cdot r^2}{\cos\beta}, \quad (8.2)$$

где  $E_{\alpha(\phi)}$  – освещенность (энергетическая облученность) плоскости, перпендикулярной рассматриваемому направлению  $\alpha$ , лк (Вт/м<sup>2</sup>);

$r$  – расстояние от источника до точки замера, м;



$\beta$  – угол падения потока излучения на фотоприемник (в работе  $\beta = 0^\circ$ ).

3. Поток для соответствующего телесного угла –  $\Phi_5 = I_5 \cdot \omega_{0-10}$ ,  $\Phi_{15} = I_{15} \cdot \omega_{10-20}$ , ...,  $\Phi_{85} = I_{85} \cdot \omega_{80-90}$  и т. д., где  $I_i$  – значение силы света и силы энергетического излучения в заданном направлении, кд (Вт/ср);  $\omega_{(i-5)-(i+5)}$  – значение телесного угла в интервале меридианного угла, ср (табл. 8.3)

4. Световой  $\Phi_C$  (энергетический  $\Phi_\Theta$ ) поток облучателя, направленный в нижнюю  $\Phi_{C\downarrow}$  ( $\Phi_{\Theta\downarrow}$ ) или верхнюю  $\Phi_{C\uparrow}$  ( $\Phi_{\Theta\uparrow}$ ) полусферы, равен

$$\Phi_{C(\Theta)\downarrow} = \Phi_5 + \Phi_{15} + \Phi_{25} + \dots + \Phi_{75} + \Phi_{85}; \quad (8.3)$$

$$\Phi_{C(\Theta)\uparrow} = \Phi_{95} + \Phi_{105} + \Phi_{115} + \dots + \Phi_{165} + \Phi_{175}, \quad (8.4)$$

5. КПД облучателя равен

$$\eta_C = (\Phi_{C\downarrow} + \Phi_{C\uparrow}) / \Phi_{\text{ИСТ}}, \quad (8.5)$$

где  $\Phi_{\text{ИСТ}}$  – световой поток лампы в облучателе.

6. Полная мощность  $S$  облучателя, ВА:

$$S = U_C I. \quad (8.6)$$

Таблица 8.3

Диапазоны значений меридианных  
и значения соответствующих им телесных углов

Диапазоны значений меридианного угла, град	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90
	180–170	170–160	160–150	150–140	140–130	130–120	120–110	110–100	100–90
Телесный угол, град	0,085	0,283	0,463	0,628	0,774	0,897	0,992	0,058	1,091

## Содержание отчета

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения об устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре и основных параметрах тепличных облучателей.
3. Конструктивная и электрическая схема экспериментального лабораторного стенда.
4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 8.1 и 8.2).
5. Графические зависимости: кривые силы света и силы энергетического излучения  $I_\alpha = f(\alpha)$  и  $I_\phi = f(\alpha)$ ; тока  $I$  и напряжения на лампе  $U_L$  в функции времени разгорания  $I = f(\tau)$  и  $U_L = f(\tau)$ .
6. Выводы по результатам проделанной работы.

### Вопросы и задания для подготовки к защите отчета по лабораторной работе

1. Поясните устройство исследуемых вами облучателей, используемых для искусственного облучения растений.
2. Какие источники ОИ применяют для искусственного облучения растений. Приведите их характеристики и отличительные особенности конструкции.
3. Как при известной кривой силы излучения определить поток и КПД облучателя?
4. Как и почему изменяются светотехнические и электрические параметры исследуемых вами источников ОИ при разгорании?
5. Какие единицы измерения применяют для оценки действия ОИ на растения? Назовите величины их измерения.
6. Что характеризует и как определяется переводной коэффициент от системы световых величин к системе энергетических величин?

## 9. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВА И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ

**Цель работы:** изучить устройство и основные параметры комбинированных установок для ИК-обогрева и УФ-облучения молодняка животных и птицы, принципы автоматического управления ими.

### **Задачи работы:**

1. Изучить устройство, принцип действия, обозначение и основные характеристики представленных в лаборатории комбинированных установок для ИК-обогрева и УФ-облучения молодняка животных и птицы.

2. Изучить работу схем управления установками ИКУФ-1, ИКУФ-1М и «Луч».

3. Определить изменение ИК- и УФ-облученностей в продольной и поперечной плоскостях от напряжения и высоты подвеса облучателей исследуемых установок.

### **Общие сведения**

В основе эффективности комбинированного облучения лежит одновременное воздействие на один объект двух потоков разных спектральных диапазонов. Ультрафиолетовое облучение животных и птицы наиболее эффективно в сочетании с инфракрасным обогревом или видимым излучением.

Количественно оценить соотношение этих потоков в общем случае можно с помощью коэффициента комбинации:  $K_{\Phi} = \Phi_1 / \Phi_2$ , где  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  – полные ИК- и УФ-потоки облучателя.

Естественный коэффициент комбинации ИК- и УФ-потоков для нечерноземной зоны находится в пределах 0,70–3,25 Вт/мвит.

Для одновременного инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения молодняка сельскохозяйственных животных и птицы разработаны и серийно выпускаются промышленностью стационарные автоматизированные установки ИКУФ-1, ИКУФ-1М, «Луч», «Сож» (рис. 9.1), предназначенные для местного обогрева

поросят-сосунов до 45–60-дневного возраста, телят до 45–120-дневного возраста, ягнят до 60-дневного возраста, молодняка птицы (цыплят, индюшат, утят, гусят) до 20–30-дневного возраста; а также их ультрафиолетового облучения в течение времени содержания. Установки ИКУФ и «Луч» состоят из блока программного управления и 20, 40, 60 или 80 облучателей.

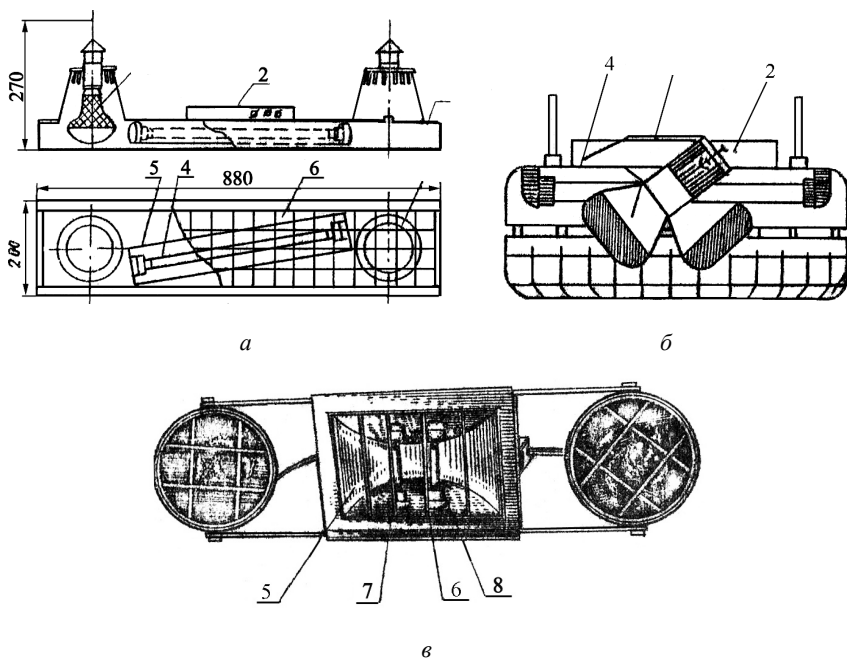


Рис. 9.1. Облучатели установок ИКУФ-1 (а), «Луч» (б) и «Сож-1» (в):  
 1 – лампа ИКЗК 220-250; 2 – коробка с ПРА; 3 – корпус; 4 – лампа ЛЭ-15;  
 5 – отражатель; 6 – защитная сетка; 7 – лампа ДРТ-100; 8 – лампа ДРТ2-100

Облучатели установок ИКУФ-1 (рис. 9.1, а) и ИКУФ-1М аналогичны по конструктивному исполнению и представляют собой жесткую металлическую коробку, на обоих концах которой размещены инфракрасные лампы ИКЗК 220-250, а между ними ультрафиолетовая лампа ЛЭ-15 (ЛЭО-15) с отражателем. Пускорегулирующее устройство ультрафиолетовой лампы установлено сверху на облучателе и закрыто кожухом. Снизу облучатель закрыт сеткой.

Различие облучателей установок ИКУФ-1 и ИКУФ-1М в том, что в ИКУФ-1М исполнение облучателя герметичное и на нем нет переключателей индивидуального управления ИК- и УФ-лампами.

Облучатель установки «Луч» (рис. 9.1, б) внешне представляет собой овальную конструкцию, в нижней части которой за защитной сеткой вмонтированы лампы ИК- и УФ-излучения. Сверху на облучателе расположена пускорегулирующая аппаратура УФ-лампы. Крепление ИК-ламп позволяет устанавливать их под углом  $90^\circ$ ,  $68^\circ$ ,  $45^\circ$  к обогреваемой поверхности и тем самым изменять облученность и площадь облучений. Исполнение облучателя брызгозащищенное.

Облучатель установки «Сож-1» (рис. 9.1, в) имеет две ИК-лампы типа ИКЗК 220-250, размещенные в конических корпусах, бактерицидную лампу типа ДРТ-100 для обеззараживания воздуха и мест содержания молодняка и витальную лампу типа ДРТ2-100. Корпуса с лампами ИКЗК 220-250 могут отклоняться от вертикального положения на угол до  $30^\circ$ .

Шкаф управления установок типа ИКУФ, «Луч» содержит аппаратуру защиты и управления облучателями по заданной программе.

Время включения в течение суток и продолжительность работы ИК- и УФ-ламп задается посредством реле времени. Программу на реле времени устанавливают в соответствии с зоотехническими требованиями для заданного вида и возраста животных и птицы.

Принципиальная электрическая схема облучательных установок типа ИКУФ, «Луч» (рис. 9.2) предусматривает независимую друг от друга работу ИК- и УФ-ламп. Управление УФ-лампами может осуществляться как по заданной временной программе, так и вручную. По временной программе установка работает при положении тумблера SA2 «Авт». При срабатывании замыкающего контакта КТ программного реле времени катушка пускателя КМ получает питание и своими замыкающими контактами КМ подключает к сети УФ-лампы (клеммы В6, С6, N) через автотрансформаторы TV2 и TV3, о чем сигнализирует лампа HL2. Лампа HL1 сигнализирует о наличии питающего напряжения. Автоматические выключатели QF1 и QF2 обеспечивают защиту УФ-ламп от аварийных режимов.

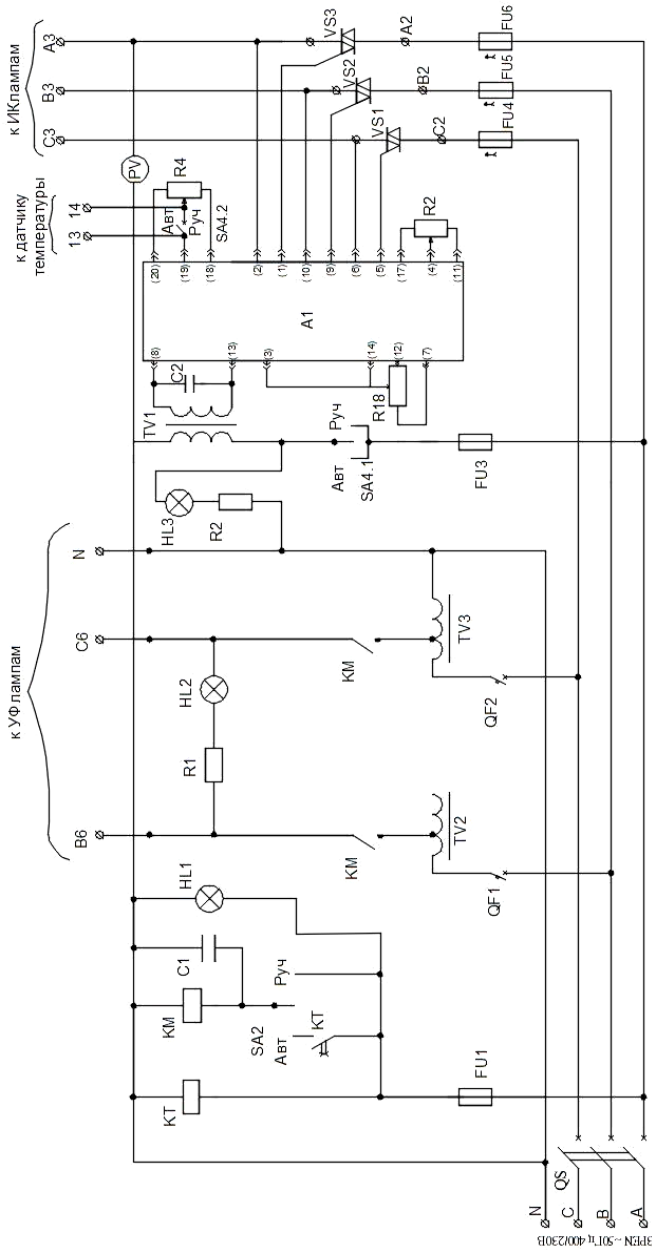


Рис. 9.2. Принципиальная схема облучательных установок типа ИКУФ, «Луч»

Тумблером *SA4* устанавливаются автоматический или ручной режим работы ИК-ламп. Контакт *SA4.1* в автоматическом и ручном режиме подает напряжение на трансформатор *TV1*, о чем сигнализирует лампа *HL3*. Со вторичной обмотки трансформатора *TV1* напряжение подается на выводы *13* и *8* блока управления *A1*. Выводы *1, 5, 9* блока *A1* путем воздействия на управляющие электроды симисторов *VS1... VS3* обеспечивают регулирование напряжения, подаваемого на ИК-лампы (выводы *C3, B3, A3*).

Регулирование напряжения, подаваемого на ИК-лампы, осуществляется при постоянной высоте подвеса облучателей. В автоматическом режиме, когда контакт *SA4.2* разомкнут и к клеммам *13* и *14* подключен датчик температуры (установленный в зоне содержания животных или птицы), сигнал разбаланса сравнивается в блоке *A1* с заданным значением (резистор *R4*). В зависимости от знака сигнала разбаланса блок *A1* подает сигнал на открытие или закрытие симисторов *VS1, VS3*. Переменным резистором *R4* устанавливается необходимая температура срабатывания симисторов. Угол открытия симисторов (напряжение на ИК-лампах) регулируется переменным резистором *R18*, а ограничение напряжения – резистором *R2*.

В ручном режиме управления ИК-облучением контакт *SA4.2* замкнут и шунтирует датчик температуры. Управление напряжением на ИК-лампах осуществляется посредством переменного резистора *R18*.

Технические характеристики комбинированных облучательных установок ИК- и УФ-облучения животных приведены в табл. 9.1.

Для профилактического и лечебного воздействия одновременно ультрафиолетовыми и инфракрасными лучами или отдельно инфракрасными предназначен облучатель комбинированный настольный ОКН (рис. 9.3). Он состоит из основания, рефлектора с кожухом и штанги. Источником инфракрасных лучей является нихромовая спираль инфракрасного излучения, а ультрафиолетовых – ртутно-кварцевая лампа типа ДРТ-400, которые смонтированы в одной отражательной системе.

Аппарат можно установить в любом нужном положении, его легко складывать и удобно переносить, поскольку для этого имеется специальная ручка. Шарнирное соединение штанги с рефлектором

и основанием позволяет при работе придавать рефлектору необходимое положение.

Таблица 9.1

Технические характеристики комбинированных установок ИК- и УФ-облучения животных

Тип установки	Тип источников и число в одном облучателе	Мощность, потребляемая облучателем, Вт	Габариты облучателя, мм	Масса, кг
ИКУФ-1	ИКЗК 220-250 (2 шт.), ЛЭ-15	520	800×210×270	7,0
ИКУФ-1М	ИКЗК 220-250 (2 шт.), ЛЭ-15	520	800×200×300	6,5
«Луч»	ИКЗК 220-250 (2 шт.), ЛЭ-15	520	520×400×280	5,9
«Сож-1»	ИКЗК 220-250 (2 шт.), ДРТ-100, ДРТ2-100	720	800×210×240	5,6

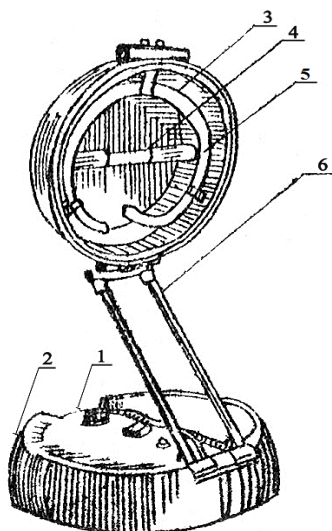


Рис. 9.3. Облучатель ОКН:

1 – устройство управления; 2 – ПРА; 3 – отражатель;  
4 – источник УФ излучения; 5 – источник ИК излучения; 6 – штатив



В основании облучателя расположен часовой механизм со звуковым сигналом, свидетельствующим об окончании процедуры, тумблер для включения часового механизма, пакетный переключатель и пусковое устройство.

Питание от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В.

Потребляемая мощность при облучении инфракрасными лучами – 600 Вт, при облучении ультрафиолетовыми и инфракрасными – 800 Вт.

### **Задание для самостоятельной подготовки к выполнению работы**

1. По теоретическому материалу, приведенному в настоящей главе, и рекомендуемой литературе изучить: устройство, принцип действия, обозначение, номенклатуру и основные параметры комбинированных установок для ИК-обогрева и УФ-облучения молодняка животных и птицы; работу схем управления установками ИКУФ-1, ИКУФ-1М и «Луч».

2. В соответствии с требованиями нижеприведенного подраздела «Содержание отчета» подготовить форму для отчета по лабораторной работе, в которой привести краткие сведения о цели и задачах работы, устройстве, обозначении и основных параметрах комбинированных установок для ИК-обогрева и УФ-облучения молодняка животных и птицы, формы таблиц для регистрации результатов измерений и расчетов.

### **Методические указания по выполнению работы**

1. Изучить устройство экспериментального стенда для исследования изменения ИК- и УФ-облученностей, создаваемых облучателями на горизонтальной поверхности, при изменении напряжения питания и высоты подвеса облучателей.

2. По представленным в лаборатории натурным образцам ознакомиться с устройством, принципом действия, обозначением и основными параметрами комбинированных установок для ИК-обогрева

и УФ-облучения молодняка животных и птицы (ИКУФ-1, ИКУФ-1М и «Луч»).

3. На лабораторном экспериментальном стенде, включающем облучатели и станции управления установками для ИК-обогрева и УФ-облучения, приборы для измерения напряжения, ИК- и УФ-облученностей, а также линейных размеров, исследовать изменения ИК- и УФ-облученности, создаваемой облучателями на горизонтальной поверхности, при изменении напряжения их питания и высоты подвеса.

Определить кривые распределения ИК- и УФ-облученности в контрольных точках продольной и поперечной плоскостей, проходящих через центр проекции облучателей на горизонтальную плоскость рабочей поверхности, которая находится от облучателя на расстоянии  $h = 0,6; 0,8$  и  $1,0$  м. Напряжение питания ИК-ламп по показанию вольтметра принять равным 220, 180, 140 и 100 В, изменяя переменным резистором R18 при нахождении тумблера SA4 в положении «Р – ручное» (см. принципиальную схему управления, расположенную на лабораторном стенде). ИК-облученность измерять термостолбиком, подключенным к милливольтметру. Для перевода показаний милливольтметра (мВ) в ИК-облученность воспользоваться переводным коэффициентом  $k_{ИК} = 43 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{мВ}^{-1}$ . Поскольку облучатели имеют оси симметрии в продольных и поперечных плоскостях, измерения достаточно провести в правой или левой полуплоскости от центра. УФ-облученность измерить люксометром Ю-117 с фотоэлементом без насадки. Переводной коэффициент принять  $k_{УФ} = 2,54 \text{ мвит} \cdot \text{м}^{-2}$ .

Результаты измерений записать по форме табл. 9.1–9.3.

4. По результатам расчетов средних облученностей для продольной и поперечной плоскостей построить графические зависимости  $E_{СР ИК} = f(h)$  при  $U = 220 \text{ В}$  (табл. 9.1),  $E_{СР ИК} = f(U)$  при  $h = 1 \text{ м}$  (табл. 9.4) и  $E_{СР УФ} = f(h)$  при  $U = 220 \text{ В}$  (табл. 9.3).

5. Дооформить отчет и подготовиться к его защите у преподавателя.

### Методика вычислений

Среднюю ИК-облученность  $E_{СР}$  поверхности в продольной и поперечной плоскостях (рис. 9.4) рассчитать по формуле:

$$E_{\text{ИК.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \pi \cdot (r_i^2 - r_{i-1}^2) E_i}{\sum_{i=1}^n \pi \cdot (r_i^2 - r_{i-1}^2)},$$

где  $E_i$  – среднее значение ИК-облученности  $i$ -й окружности, Вт·м<sup>2</sup>.

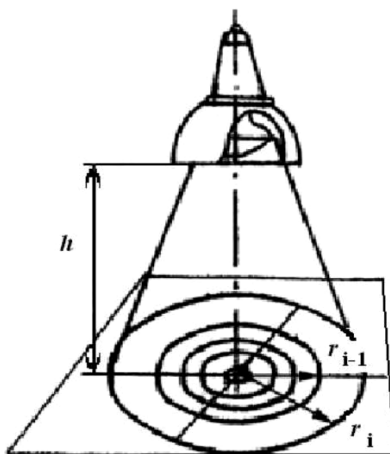


Рис. 9.4. К определению среднего значения ИК-облученности горизонтальной поверхности под ИК-излучателем с круглосимметричным светораспределением

### Содержание отчета

1. Название, цель и задачи работы.
2. Краткие сведения об устройстве, принципе действия, обозначении, номенклатуре и основных параметрах установок для ИК-обогрева и УФ-облучения молодняка животных и птицы.
3. Принципиальная электрическая схема управления установками ИКУФ-1 и «Луч».
4. Результаты произведенных измерений и расчетов (табл. 9.2–9.4).
5. Графические зависимости по п. 4 указаний по выполнению работы.
6. Выводы по результатам проделанной работы.

Таблица 9.2

Зависимости распределения ИК-облученности ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ )  
на рабочей поверхности от высоты подвеса облучателей  
исследуемых установок при номинальном напряжении 220 В

Расположение контрольных точек вдоль оси	Высота подвеса облучателя $h$ , м	Расстояние от центра, м						Средняя облученность
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
Облучатель установки _____								
продольной	1,0							
поперечной								
продольной	0,8							
поперечной								
продольной	0,6							
поперечной								

Таблица 9.3

Зависимости распределения УФ-облученности ( $\text{мВт} \cdot \text{м}^{-2}$ )  
на рабочей поверхности от высоты подвеса облучателей  
исследуемых установок при номинальном напряжении 220 В

Расположение контрольных точек вдоль оси	Высота подвеса облучателя $h$ , м	Расстояние от центра, м						Средняя облученность
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
Облучатель установки _____								
продольной	1,0							
поперечной								
продольной	0,8							
поперечной								
продольной	0,6							
поперечной								

Таблица 9.4

Зависимости распределения ИК-облученностей ( $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ) на рабочей поверхности от напряжения питания ИК-источников облучателей исследуемых установок при  $h = 1 \text{ м}$

Расположение контрольных точек вдоль оси	Напряжение питания ИК-ламп, В	Расстояние от центра, м						Средняя облученность
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	
Облучатель установки _____								
продольной	220							
поперечной								
продольной	180							
поперечной								
продольной	140							
поперечной								
продольной	100							
поперечной								

### Вопросы и задания для подготовки к защите отчета по лабораторной работе

1. Какие установки для ИК-обогрева и УФ-облучения сельскохозяйственных животных и птицы вам известны? Приведите отличительные особенности их конструкции.

2. Расскажите об устройстве и назначении установки ИКУФ-1 (ИКУФ-1М).

3. Расскажите об устройстве и назначении установки «Луч».

4. Расскажите об устройстве и назначении установки «Сож».

5. Как определить среднее значение ИК-облученности, создаваемой круглосимметричным облучателем на горизонтальной поверхности, при известном ее распределении на облучаемой поверхности?

6. Каким способом задаются режимы в автоматизированных комбинированных установках ИК-обогрева и УФ-облучения животных и птицы?

7. Объясните работу схемы управления установками ИКУФ-1 и «Луч».

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанцов, В. П. Светотехника : учебное пособие / В. П. Степанцов, Р. И. Кустова. – Минск : БГАТУ, 2012. – 568 с.
2. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – 2-е изд. – Минск : Техноперспектива, 2008 – 272 с.
3. Естественное и искусственное освещение : СН 2.04.03–2020. – Введ. 30.10.20. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 63 с.
4. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
5. Степанцов, В. П. Технологическое использование оптического излучения : учебно-методическое пособие / В. П. Степанцов. – Минск : БГАТУ, 2012. – 208 с.
6. Степанцов, В. П. Светотехника : учебное пособие / В. П. Степанцов. – Минск : БГАТУ, 2017. – 436 с.
7. Светотехника : учебное пособие / Е. М. Заяц, Р. И. Кустова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2020. – 232 с.

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

Учебное издание

**Кустова** Раиса Ивановна,  
**Кривовязенко** Денис Иванович

**СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *П. В. Кардашов*  
Редактор *Д. О. Бабакова*  
Корректор *Д. О. Бабакова*  
Компьютерная верстка *Д. О. Бабаковой*  
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 08.02.2022. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 6,97. Уч.-изд. л. 5,45. Тираж 99 экз. Заказ 94.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–1, 220023, Минск.