

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ  
ФГБОУ ВПО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра электропривода и электротехнологии

# **СВЕТОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ**

Сборник лабораторных работ  
для студентов направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»,  
профиль «Электрооборудование и электротехнологии»  
очной и заочной форм обучения

*2-е издание стереотипное*

КАРАБАЕВО  
Костромская ГСХА  
2015

УДК 628.93 : 63  
ББК 31.294  
С 24

*Составители:* сотрудники кафедры электропривода и электротехнологии Костромской ГСХА к.т.н., доцент *Н.А. Фалилеев*, к.т.н., доцент *И.В. Бушуев*.

*Рецензент:* д.т.н., доцент кафедры электроснабжения Костромской ГСХА *Н.М. Попов*.

*Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета электрификации и автоматизации сельского хозяйства, протокол № 3 от 13 апреля 2015 г.*

С 24     **Светотехника и электротехнология** : сборник лабораторных работ для студентов направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения / сост. Н.А. Фалилеев, И.В. Бушуев. — 2-е изд., стереотип. — Караваево : Костромская ГСХА, 2015. — 78 с.

В издании приводятся краткие теоретические сведения по природе оптического излучения и применения его в сельскохозяйственном производстве, а также методика выполнения лабораторных работ.

Сборник лабораторных работ предназначен для студентов направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения.

УДК 628.93 : 63  
ББК 31.294

© ФГОУ ВПО Костромская ГСХА, 2007  
© ФГБОУ ВПО Костромская ГСХА, 2015, стереотип.  
© Н.А. Фалилеев, И.В. Бушуев, составление, 2015  
© Оформление, РИО Костромская ГСХА, 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
Общие правила организации и проведения лабораторных работ .....	4
Общие требования безопасности .....	6
Лабораторная работа 1	
Исследование электрических и светотехнических характеристик ламп накаливания .....	9
Лабораторная работа 2	
Исследование электрических и светотехнических характеристик люминесцентных ламп .....	16
Лабораторная работа 3	
Исследование двухламповой схемы включения люминесцентных ламп .....	24
Лабораторная работа 4	
Исследование светильников с лампами накаливания .....	30
Лабораторная работа 5	
Исследование установок инфракрасного облучения животных и птицы .....	40
Лабораторная работа 6	
Исследование источников облучения, используемых в теплицах .....	50
Лабораторная работа 7	
Исследование работы УФ-установок для облучения животных .....	60
Лабораторная работа 8	
Исследование установок автоматического управления освещением .....	67
Список литературных источников .....	76

## **ВВЕДЕНИЕ**

Оптическое излучение является одним из важнейших параметров микроклимата животноводческих помещений, оказывающих существенное влияние на продуктивность животных.

Невозможно представить себе современную производственную деятельность человека в темное время суток без электрического освещения.

Грамотное применение осветительных и облучательных установок может повысить производительность труда на 5-10%, продуктивность животных на 8-15%, дать более высокий урожай сельскохозяйственных культур, снизить травматизм.

Основным элементом осветительных или облучательных установок являются источники оптического излучения — источники, основанные на тепловом излучении, и источники, основанные на электрическом разряде, сопровождающемся оптическим излучением.

Основным назначением электрических источников света является создание световых условий для труда и отдыха.

В тепловых источниках излучение возникает при нагревании тела накала до высокой температуры, в люминесцентных — в результате преобразования тех или иных видов энергии непосредственно в оптическое излучение независимо от теплового состояния излучающего тела.

Выполнение лабораторных работ позволит студентам глубже усвоить положения теории, освоить методику экспериментального получения характеристик источников оптического излучения, светильников и облучателей, выяснить их особенности и порядок выбора и расчета.

Изучив данный курс, студент должен представлять современный уровень развития сельскохозяйственного производства в области использования оптического излучения, уметь правильно выбирать и рассчитывать осветительные и облучательные установки, использовать наиболее рациональные типы источников излучения.

### **Общие правила организации и проведения лабораторных работ**

Перед началом выполнения работ в лаборатории «Светотехника» все студенты обязаны изучить приведенные ниже правила и пройти инструктаж по технике безопасности и расписаться в специальном журнале.

#### *Подготовка к лабораторным работам*

Лабораторные занятия преследуют цель более глубокого усвоения теоретических вопросов путем экспериментальной проверки основных положений курса. Занятия способствуют выработке навыков проведения исследований и анализа полученных экспериментальных данных.

Приступая к выполнению работы, студент должен иметь ясное представление о поставленной перед ним задаче, хорошо знать устройство приборов и оборудования, с помощью которых выполняется работа, а также знать устройство и принцип действия исследуемого оборудования.

Так как изучение теоретического курса и лабораторные занятия проводятся не параллельно, студенту часто приходится выполнять лабораторные работы по разделам курса, которые на теоретических занятиях еще не рассматривались, либо по разделам, которые вынесены для самостоятельной проработки. Для облегчения подготовки к лабораторным работам в разделе «Общие сведения» данного пособия приводятся краткие теоретические положения по рассматриваемым вопросам. Более полно эти вопросы изложены в курсе лекций и в рекомендованной дополнительной литературе.

Каждый студент обязан подготовиться к самостоятельному выполнению лабораторной работы, для этого он предварительно должен изучить соответствующий теоретический материал по конспекту и учебным пособиям. Рекомендуется заранее в отчете зарисовать электрические схемы, подготовить таблицы для записи наблюдений и выписать формулы для получения результатов расчетов.

Перед началом выполнения лабораторной работы преподаватель путем устного опроса или с применением *технических средств обучения* выясняет подготовленность студентов к занятиям. Студенты, плохо подготовленные к лабораторной работе, не допускаются к её выполнению и выполняют ее после занятий по согласованию с преподавателем дня и времени.

### *Порядок проведения лабораторных работ*

Лабораторные работы выполняются группой студентов в количестве 2-3 человек. Каждая группа должна выполнить лабораторные работы, предусмотренные тематическим планом кафедры.

Перед началом работы необходимо ознакомиться с находящимся на рабочем месте оборудованием, изучить название каждого элемента оборудования, основные характеристики объекта исследования, пределы измерения, род тока, цену деления измерительных приборов. При наличии на месте автотрансформаторов и реостатов, необходимо определить начальное положение их движков.

При выполнении работ необходимо распределить обязанности между членами группы и при выполнении последующих пунктов этими обязанностями меняться. При этом все должны активно вникать в смысл проводимых испытаний.

*Включать напряжение можно, лишь убедившись в том, что никто в лаборатории не может попасть под напряжение. При включении предупредить товарищей словом «Включаю».*

Проводя те или иные испытания, необходимо особенно тщательно наблюдать за приборами, правильно и быстро отсчитывать их показания и сразу же записывать. Следует помнить, что небрежность в отсчете показаний приборов и записях приводит к неправильным выводам о свойствах испытуемого объекта. Если результаты наблюдений будут признаны неудовлетворительными или содержать грубые ошибки, то опыт необходимо повторить.

*Экспериментальная часть работы считается выполненной только после проверки и утверждения результатов опытов преподавателем.*

После окончания работы необходимо привести в порядок рабочее место и приступить к оформлению отчета.

### *Оформление и сдача отчета по лабораторной работе*

Оформленный отчет о проделанной лабораторной работе предоставляется и защищается каждым студентом на следующем занятии. Без предоставления отчета по предыдущей работе студент к следующему занятию не допускается. Если студент не защитил отчеты по всем работам предыдущего цикла, то к следующему циклу он также не допускается.

Отчет оформляется в отдельной тетради. Записи выполняются чернилами или шариковой ручкой; графики, эскизы и схемы вычерчиваются карандашом с соблюдением правил начертания и обозначения элементов согласно ГОСТ и ЕСКД.

Все графики должны быть выполнены на миллиметровой бумаге, координатные оси графиков должны иметь обозначения изображаемых величин, размерность и масштаб. На графике обязательно должны быть нанесены точки, по которым строились кривые.

*Отчет должен содержать:* название, цель и задачи работы; электрические схемы всех цепей, исследованных в данной работе; таблицы, графики или иные результаты всех опытов, проведенных при выполнении работы; расчетные формулы, примеры расчетов и результаты вычислений; анализ результатов и выводы.

Работа засчитывается в том случае, если студент показывает знание цели, методики выполнения работы, устройство и принципы действия объекта испытания, работы схем управления, а также может объяснить и проанализировать полученные результаты вычислений и графики.

### **Общие требования безопасности**

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по охране труда.

Для выполнения лабораторных работ студентам предоставляется одно рабочее место — лабораторный стол на 2-4 человека.

### *Требования безопасности перед началом работы*

Все студенты в первый день лабораторных занятий в лаборатории должны получить инструктаж по технике безопасности на рабочем месте, о чем производится соответствующая запись в журнале.

Приступая к работе, следует ознакомиться с источниками электропитания лаборатории и стенда, способами их включения и выключения.

До включения под напряжение обязательно произвести осмотр установки и исключить возможность наличия в ней и на лабораторном стенде посторонних предметов.

Категорически запрещается пользоваться неисправным электрооборудованием; о замеченных неисправностях необходимо немедленно сообщить лаборанту или преподавателю.

Подача напряжения разрешается только после проверки схемы лаборантом или преподавателем.

### *Требования безопасности во время работы*

Запрещается производить всякие переключения проводов в схеме после подачи напряжения.

В процессе проведения работы запрещается прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

Запрещается переносить и передвигать включенные электроприборы, а также электрооборудование, находящееся под напряжением.

Смена сгоревших предохранителей производится только лаборантом.

Запрещается подключать к силовой сети осветительные установки.

Не загромождать доступ к распределительным шкафам, пультам управления, выключателям.

Во избежание ожогов, запрещается прикасаться к колбам источников оптического излучения, особенно ламп накаливания и ДРТ.

Излучение газоразрядных ламп ДРТ, ДБ, ЛЭ опасно для глаз. Работать с этими лампами можно только в специальных защитных очках.

Источники инфракрасного излучения не вызывают болезненных явлений в глазах, но приводят к ухудшению зрения вследствие нагрева глазного яблока. Нужно избегать прямого попадания этих лучей в глаза.

Будьте осторожны с ртутными лампами: пары ртути ядовиты.

Во время работы с лампами накаливания необходимо надевать нейтральные очки, предохраняющие глаза от попадания стекла при возможных разрушениях колбы лампы.

### *Требования безопасности в аварийных ситуациях*

При возникновении аварийной ситуации или несчастного случая немедленно снять напряжение автоматическим выключателем на лабораторном стенде или автоматическим выключателем ввода и сообщить об этом преподавателю.

Принять возможные меры по оказанию первой помощи пострадавшему.

Принять меры для ликвидации аварийной ситуации, которая грозит возникновением пожара или другой опасности.

При обнаружении дефектов изоляции проводов, неисправностей пускателей, автоматов, сети заземления необходимо отключить электроустановку и поставить в известность преподавателя или лаборанта.

В случае прекращения питания, все лабораторные и испытательные установки и электроприборы должны быть отключены автоматическими выключателями.

### *Требования безопасности по окончании работы*

После окончания измерений полученные результаты следует показать преподавателю и, получив разрешение, приступить к разборке схемы. Запрещается разбирать схему, если она не отключена от источника питания автоматическим выключателем на лабораторном стенде.

Разобрав схему, соединительные провода аккуратно сложить, приборы установить на определенные (специально отведенные) места.

# Лабораторная работа 1

## Исследование электрических и светотехнических характеристик ламп накаливания

*Цель работы:* изучение устройства, принципа действия ламп накаливания и исследование их электрических и светотехнических характеристик.

### Основные теоретические сведения

Лампы накаливания относятся к тепловым источникам оптического излучения. Принцип действия осветительных и инфракрасных ламп накаливания основан на преобразовании тепловой энергии в энергию оптического излучения. При подаче напряжения на тело накала в нем создается электрическое поле, которое увеличивает скорость движения свободных электронов. Разогнавшиеся электроны, встречаясь с атомами кристаллической решетки, отдают им часть своей энергии. В результате ударов возрастает температура — мера средней кинетической энергии атомов и молекул. В результате поглощения энергии атомы и молекулы переходят в возбужденное состояние, при котором валентные электроны переходят на более высокие энергетические уровни.

При возвращении в исходное состояние атом излучает излишек энергии в виде кванта, при этом чем больше возбуждение атома, тем больше энергия излучения и короче длина волны.

Энергетическая плотность излучения тела накала, Вт/м<sup>2</sup>, определяется законом Стефана-Больцмана:

$$M = \varepsilon \delta T^4,$$

где  $\varepsilon$  — интегральный коэффициент степени черноты вольфрама;

$\delta$  — постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$T$  — температура тела накала, К.

Распределение плотности излучения по длинам волн, Вт/м<sup>2</sup>, описывается законом Планка:

$$m(\lambda, T) = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1},$$

где  $C_1 = 3,472 \cdot 10^{-16}$ , Вт/м<sup>2</sup>;

$C_2 = 1,439 \cdot 10^{-2}$ , м·К;

$K$  — постоянные коэффициенты.

Чем выше температура, тем меньше длина волны, мкм, при которой наблюдается максимум спектральной плотности излучения (закон смещения Вина):

$$\lambda_{\max} = \frac{2896}{T}, \quad (1.1)$$

где  $T$  — температура тела накала, К.

Интегральный поток излучения можно определить по закону Стефана-Больцмана с учетом площади тела излучения, Вт:

$$\Phi = \varepsilon \delta T^4 s, \quad (1.2)$$

где  $s$  — условная площадь излучения тела накала,  $\text{м}^2$ .

Активный поток — поток, находящийся в зоне чувствительности глаза человека, ограниченного длинами волн  $\lambda_1 = 380$  нм и  $\lambda_2 = 760$  нм, рассчитывают, пользуясь табулированными значениями функции Планка [1]. С их учетом активный поток вычисляется как разность потоков в диапазоне длин волн от 0 до  $\lambda_1$  и от 0 до  $\lambda_2$ :

$$\Phi_a = \frac{\Phi}{\varepsilon} \varepsilon_{cp} [y(\lambda'_2) - y(\lambda'_1)], \quad (1.3)$$

где  $\varepsilon_{cp}$  — средний коэффициент степени черноты в видимой зоне;

$y(\lambda'_2)$  — доля потока излучения, заключенная в зоне с относительными длинами волн от 0 до  $\lambda_2$ :

$$\lambda'_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_{max}}$$

где  $y(\lambda'_1)$  — доля потока излучения, заключенная в зоне с относительными длинами волн от 0 до  $\lambda_1$ :

$$\lambda'_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_{max}}$$

Значения  $\lambda$ ,  $\varepsilon$ ,  $y(\lambda')$  находят соответственно по таблицам 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1. Степень черноты вольфрама

$T$	3200	3000	2900	2800	2700	2600	2400	2200	2000
$\varepsilon$	0,356	0,347	0,341	0,334	0,328	0,320	0,304	0,285	0,264
$\varepsilon_{cp}$	0,429	0,433	0,433	0,434	0,436	0,437	0,440	0,443	0,446

Таблица 1.2. Значение  $y(\lambda')$

$\lambda'$	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46
$y(\lambda') \cdot 10^{-4}$	1,28	5,17	9,21	15,4	24,3	36,6	53,0
$\lambda'$	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84
$y(\lambda') \cdot 10^{-2}$	8,07	9,08	10,14	11,23	12,37	13,55	14,75

У вакуумных ламп воздух откачан до давления  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па и рабочая температура тела накала 2300-2600 К. Такие лампы выпускаются мощностью до 25 Вт. У более мощных вакуумных ламп возрастает распыление материала тела накала. Скорость распыления тела накала снижается при увеличении давления внутри лампы.

У газонаполненных ламп колбу после откачки воздуха наполняют смесью аргона или криптона (86%) с азотом (14%) до давления, близкого к атмосферному. Это позволяет повысить температуру тела накала до 2900-3000 К и увеличить по сравнению с вакуумными лампами светоотдачу в полтора раза. В зависимости от типа наполнителя, мощности и особенности конструкции спирали, лампы подразделяют на три группы: газонаполненные моноспиральные Г (150-1500 Вт), газонаполненные биспиральные Б (40-200 Вт) и газонаполненные биспиральные с криптоновым наполнителем БК (40-150 Вт).

Чтобы увеличить светоотдачу и КПД ламп накаливания, необходимо увеличить температуру тела накала. При этом происходит смещение максимума спектральной плотности излучения из длинноволновой части инфракрасного излучения в коротковолновую, и тем самым возрастает доля потока излучения, находящаяся в видимой зоне. Вместе с этим возрастает и распыление тела накала. Снижение распыления достигается введением йода в колбу лампы, а колбу лампы выполняют из кварцевого стекла, выдерживающего высокие температуры без потери прозрачности.

Галогенный цикл включает испарение вольфрама из спирали, движение его к стенке колбы и соединение с йодом при температуре 600-1450 К, возвращение йодида вольфрама к спирали, разложение его на исходные элементы при температуре около спирали более 1500 К и осаждение вольфрама на спираль.

### *Программа работы*

1. Изучить конструкцию лампы.
2. Освоить методику измерения и установить зависимость тока, мощности, сопротивления, температуры тела накала, светового потока и освещенности, создаваемой лампой, от напряжения питания лампы.
3. Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности излучения при различных напряжениях сети.
4. Определить значение светоотдачи и светового КПД лампы.
5. Определить интегральный, активный поток и энергетический КПД лампы.
6. Сравнить результаты исследования с паспортными данными лампы.

## Методика выполнения работы

1. По рекомендуемой литературе [1-3] изучить конструкцию лампы. Составить эскиз лампы с указанием всех деталей.

2. Освоение методики измерения и установления характеристик лампы провести на лабораторном стенде (рис. 1.1), который состоит из патрона с исследуемой лампой 2, промышленного визуального пирометра «Проминь» 3 и фотоэлемента 1.

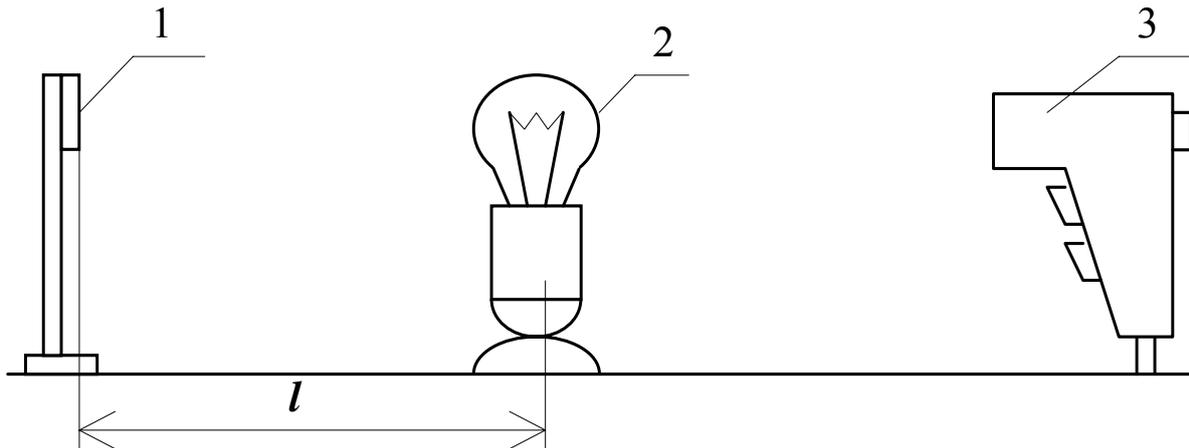


Рис. 1.1. Лабораторный стенд для исследования лампы накаливания:  
1 — фотоэлемент; 2 — исследуемая лампа накаливания;  
3 — пирометр «Проминь»

Электрическая схема стенда, изображенная на рисунке 1.2, включает в себя: блок питания, состоящий из автоматического выключателя QF, автотрансформатора TV; блок измерения электрических параметров, состоящий из вольтметра PV, амперметра PA1 и ваттметра PW; патрон с исследуемой лампой; блок измерения температуры, состоящий из промышленного визуального пирометра; блок измерения светового излучения, состоящий из селенового фотоэлемента BL и микроамперметра PA2.

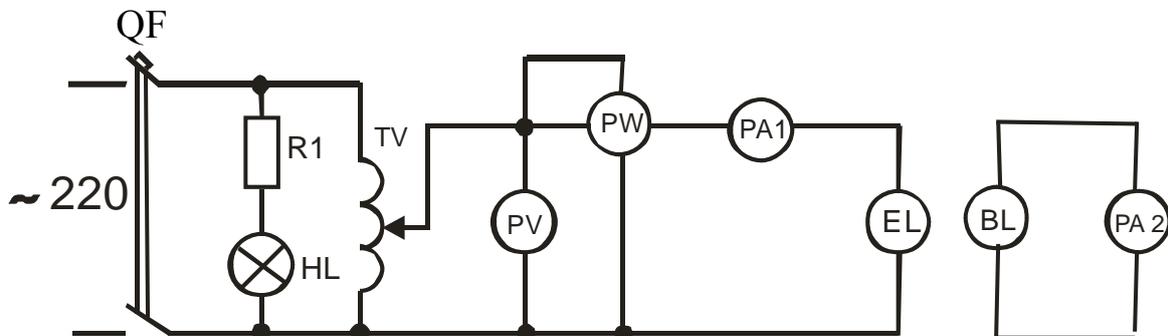


Рис. 1.2. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда для исследования лампы накаливания

Экспериментальные исследования сводятся к регистрации тока, мощности, температуры тела накала лампы и создаваемой ею освещенности при изменении напряжения питания.

Расчет характеристик лампы нужно выполнять в нижеследующей последовательности.

1. Замерить омметром сопротивление спирали в холодном состоянии  $R_0$ .
2. Определить световой поток  $\Phi_C$ , лм, по формуле

$$\Phi_C = 4\pi \cdot E \cdot l^2,$$

где  $E$  — освещенность фотоэлемента, лк;

$l$  — расстояние от лампы до фотоэлемента, м.

3. Найти сопротивление тела накала, Ом:

$$R = \frac{U}{I}.$$

4. Определить светоотдачу, лм/Вт:

$$H_C = \Phi_C / P.$$

5. Вычислить световой КПД, %:

$$\eta_c = \frac{\Phi_C}{P_{680}} 100.$$

6. Рассчитать интегральный поток излучения по формуле (1.2).

7. Вычислить активный поток излучения по формуле (1.3).

8. Рассчитать энергетический КПД, %:

$$\eta_s = \frac{\Phi_a}{\Phi}.$$

9. Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности излучения, по формуле (1.1).

10. Рассчитать срок службы лампы, %:

$$\tau = \tau_H \left( \frac{U}{U_H} \right)^{-14},$$

где  $\tau_H$  — номинальный срок службы лампы, ч;

$U_H$  — номинальное напряжение, В.

11. Сравнить сопротивление тела накала в холодном и нагретом состояниях.

### *Последовательность выполнения работы*

1. Составить эскиз лампы и изучить ее конструкцию.
2. Ознакомиться с измерительным стендом и его электрической схемой.
3. Используя приложение 1 заполнить таблицы 1.3 и 1.4.
4. Определить тип лампы по геометрическим размерам с помощью таблицы, имеющейся на измерительном стенде.
5. Измерить сопротивление нити в холодном состоянии.
6. Ввернуть лампу в патрон и подать на нее номинальное напряжение.
7. Проградуировать люксметр, установленный на стенде, с помощью образцового люксметра.
8. Установить визуальный пирометр так, чтобы была видна спираль лампы накаливания, и навести на ее резкое изображение.
9. Измерить расстояние  $l$  между лампой и фотоэлементом.
10. Установить напряжение питания 240 В и снять все показания приборов. Результаты занести в таблицу 1.5. Аналогично измерить все необходимые параметры для других напряжений.
11. Экспериментальные данные показать преподавателю.
12. Произвести вычисление характеристик ламп.

*Таблица 1.3. Технические характеристики исследуемых ламп*

Тип лампы	Номинальное напряжение, В	Номинальная мощность, Вт	Световой поток, лм	Примечания

*Таблица 1.4. Технические характеристики приборов, используемых в работе*

Наименование прибора	Тип	Пределы измерения	Род тока	Класс точности	Примечания

*Таблица 1.5. Результаты экспериментальных и расчетных исследований*

Напряжение $U, В$	Измерено				Вычислено				
	ток $I, А$	мощность $P, Вт$	температура $T, К$	освещенность $E, лк$	сопротивление $R, Ом$	световой поток $\Phi, лм$	световой КПД $\eta, \%$	длина волны $\lambda_{max}, нм$	срок службы $\tau, ч$
180									
200									
220									
240									

### *Содержание отчета*

1. Цель работы.
2. Эскиз лампы и ее паспортные данные.
3. Технические данные приборов и оборудования.
4. Электрическая принципиальная схема лабораторного стенда.
5. Методика и примеры расчета сопротивления, светового, интегрального и активного потоков, светового и энергетического КПД, светоотдачи и срока службы.
6. Графическая зависимость тока, мощности, сопротивления, светоотдачи, срока службы и светового КПД от напряжения сети.
7. Выводы по работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Назовите основные детали лампы накаливания.
2. Укажите основные причины снижения светового потока лампы накаливания.
3. Укажите мероприятия, снижающие распыление тела накаливания.
4. Почему светоотдача и световой КПД лампы с увеличением напряжения питающей сети возрастает?
5. Объясните, почему лампы с биспиралью имеют более высокую светоотдачу.
6. Как электрическая энергия в лампе накаливания преобразуется в световую?
7. Почему тело накала нагревается при прохождении по нему электрического тока?
8. Почему  $\lambda_{\max}$  уменьшается при увеличении напряжения сети?
9. Каков принцип действия лампы накаливания?

## Лабораторная работа 2

### Исследование электрических и светотехнических характеристик люминесцентных ламп

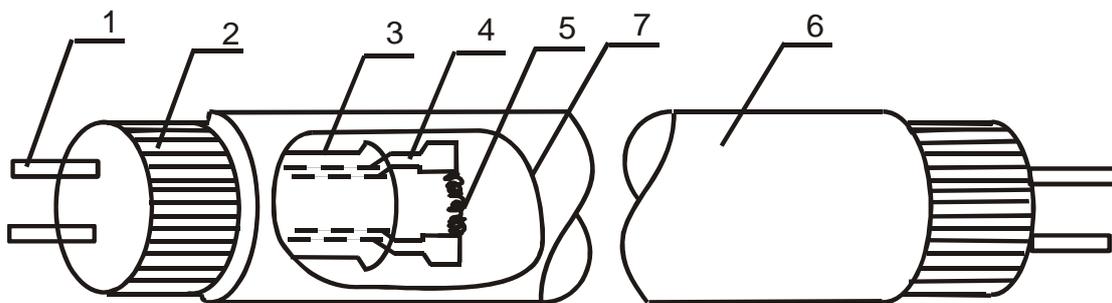
*Цель работы:* изучение устройства и исследование электрических и светотехнических характеристик люминесцентной лампы при работе с индуктивным балластом.

#### *Основные теоретические сведения*

В нашей стране люминесцентная лампа была разработана в 1933 году. В настоящее время нашей промышленностью разработаны и выпускаются различные типы осветительных ламп, отличающихся по цвету: лампы улучшенного спектрального свойства (ЛДЦ и ЛЕЦ), лампы дневного света (ЛД), лампы белые (ЛБ), лампы холодно-белые (ЛХБ) и лампы тепло-белого цвета, линейные и компактные (ЛТБ, КЛС/ТБЦ, КЛ/ТБЦ).

#### Конструкция и принцип действия

Люминесцентная лампа (рис. 2.1) представляет собой стеклянную трубку 6, из которой откачан воздух до давления 1-1,5 Па. После откачки воздуха колба заполняется аргоном до давления 400 Па и вводится дозированное количество ртути. Внутренняя поверхность колбы покрыта люминофором 7 — твердым кристаллическим порошкообразным веществом (соли кальция, активированные сурьмой и марганцем).



*Рис. 2.1. Устройство люминесцентной лампы*

В зависимости от концентрации марганца (0,3-1,2%), при постоянной концентрации сурьмы (около 1%) определяется цветопередача и светоотдача ламп. Трубка герметически закрыта вваренными в ее торцы стеклянными ножками 3, на которых смонтированы вольфрамовые биспирали 5, покрытые слоем оксида. На концах лампы имеются короткие цоколи 2 с полыми штырьками 1, к которым припаяны выводы электродов 4.

Электрическая энергия в люминесцентных лампах преобразуется в световую ступенчато. Если лампа горит, то электрическое поле, создаваемое в лампе, увеличивает кинетическую энергию свободных носителей зарядов (электронов и ионов). При столкновении с атомами и молекулами эти заряды передают им часть своей энергии.

Эта энергия идет:

- 1) на увеличение кинетической энергии атомов и молекул (что говорит об увеличении температуры);
- 2) на возбуждение или ионизацию (если заряды получили очень большую энергию).

Возвращаясь в исходное состояние, возбужденные атомы излучают энергию в виде квантов. Возникающая при этом лучистая энергия состоит из УФ-излучения с длинами волн 254 и 185 нм (64%) и видимого излучения 2%. УФ-излучение, воздействуя на люминофор, преобразуется в видимое излучение. С учетом вторичных преобразований можно приблизительно считать, что на долю видимого излучения приходится около 20% энергии, подводимой к лампе.

### Механизм зажигания разряда

Процесс зажигания люминесцентной лампы рассмотрим на примере включения ее в сеть с индуктивным балластом (рис. 2.2).

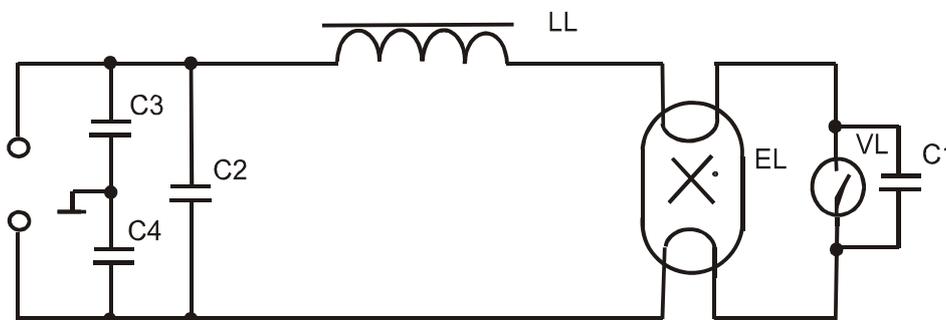


Рис. 2.2. Схема электрическая принципиальная включения люминесцентной лампы

Для зажигания разряда в лампе необходимо выполнить ряд условий. Основными из них являются:

- 1) наличие свободных носителей зарядов;
- 2) создание в лампе соответствующей напряженности поля. Для конкретной лампы и определенных расстояний между электродами — напряжения зажигания;
- 3) наличие определенной длины свободного пробега зарядов, на которой они смогли бы приобрести под действием поля достаточную энергию для ионизации. Длина свободного пробега зависит от давления газа и температуры.

Так как напряжение зажигания лампы выше напряжения сети, а напряжение зажигания стартера ниже (порядка 180 В), то сначала возникает тлеющий разряд в стартере, и температура газа в нем возрастает. Возрастает и температура электродов стартера, в результате чего биметаллическая пластинка изгибается и замыкает электроды. По цепи дроссель – спираль лампы – стартер – вторая спираль лампы пройдет электрический ток  $I_n$ , равный (1,4-1,6), который нагревает биспираль лампы. В результате термоэлектронной эмиссии в приэлектродном пространстве лампы создается электронное облако. Нагревается приэлектродное пространство, испаряется ртуть, и образуется так называемая смесь Пеннинга. Ее особенностью является снижение потенциала ионизации по сравнению с составляющими (аргоном и парами ртути).

В это время электроды стартера остывают, и через 0,2-0,6 с они замыкаются. Для нормального запуска лампы продолжительность разогрева электродов должна составить 1,5-2 с, поэтому стартер за время одного пуска лампы делает в среднем от 2 до 5 попыток. При разрыве цепи стартера ток резко уменьшается, и в дросселе наводится электродвижущая сила, зависящая от индуктивности и скорости изменения тока. Совместно с напряжением сети (второй закон Кирхгофа) на лампе создается импульс повышенного напряжения. Создаваемое в лампе электрическое поле, разгоняя электроны, сообщает им кинетическую энергию. Если напряженность поля достаточна, то в лампе в результате ударной ионизации создается лавина электронов и ионов. По лампе пойдет ток.

Скорость разрыва цепи стартером составляет около 1-2 мкс, а ЭДС самоиндукции — несколько киловольт. Для увеличения длительности импульса высокого напряжения параллельно стартеру устанавливают конденсатор С1, который уменьшает скорость изменения тока в цепи, а следовательно, и ЭДС самоиндукции (до 500-1500 В), но увеличивает длительность ее существования до 100 мкс. Это способствует более устойчивому зажиганию лампы. Кроме того, этот конденсатор предотвращает искрение и образование дуги в стартере, так как напряжение на нем в момент коммутации и образования ЭДС самоиндукции равно нулю (второй закон коммутации). По мере нарастания напряжения на конденсаторе, возрастает и расстояние между электродами стартера. Поэтому напряженности поля в стартере недостаточно для возникновения разряда и искры, дуги нет.

При зажигании лампы и прохождения по ней тока часть напряжения (приблизительно  $0,5 U_c$ ) падает на дросселе, поэтому напряжение на стартере будет недостаточно для его зажигания.

## Программа работы

1. Изучить конструкцию лампы.
2. Освоить методику измерения и установить зависимость тока, мощности, напряжения на лампе и создаваемой ею освещенности от напряжения сети.
3. Определить световой поток, светоотдачу, коэффициент мощности и коэффициент искажения в зависимости от напряжения сети.
4. При напряжении, заданном преподавателем, снять осциллограммы тока, напряжения сети и напряжения на лампе и кривую светового потока.

## Методика выполнения работы

Конструкция лампы изучается путем ее осмотра и ознакомления с назначением ее отдельных деталей по литературным источникам [2, 3].

Основные параметры лампы снимаются на лабораторном стенде, схема которого (рис. 2.3) включает в себя: блок измерения, состоящий из ваттметра PW, вольтметра PV, амперметра PA, автотрансформатора TV, дросселя LL; люминесцентную лампу. Защита схемы осуществляется автоматическим воздушным выключателем QF.

Экспериментальное исследование сводится к регистрации тока, освещенности с помощью люксметра, напряжения на лампе и потребляемой мощности при изменении напряжения сети.

## Последовательность выполнения работы

1. Составить эскиз лампы и изучить ее конструкцию.
2. Ознакомиться с измерительным стендом и его электрической схемой.
3. Заполнить таблицы 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1. Характеристика приборов, используемых в работе

Приборы	Тип	Система	Пределы измерения	Цена деления	Класс точности	Примечание

Таблица 2.2. Паспортные данные лампы

Лампа	Тип	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм	Длина, м	Примечание

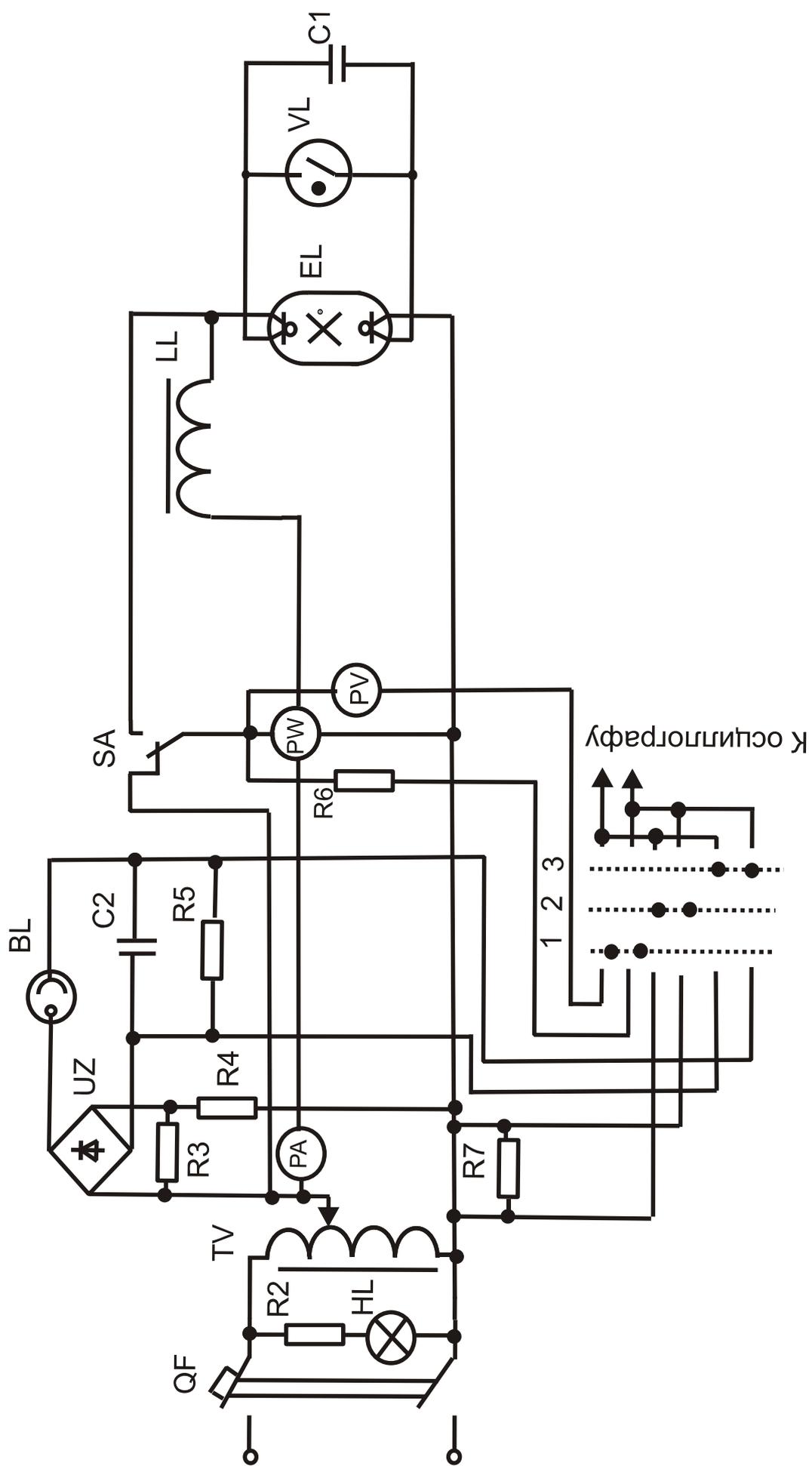


Рис. 2.3. Электрическая принципиальная схема лабораторного стенда для исследования люминесцентной лампы

4. Собрать схему и получить разрешение на ее включение.
5. Установить автотрансформатор в нулевое положение, подключить схему к сети и, поднимая напряжение, зафиксировать напряжение сети, при котором лампа загорается.
6. Повысить напряжение на схеме до 250 В и записать показания соответствующих приборов в таблицу 2.3.

Таблица 2.3. Результаты экспериментальных и расчетных исследований

Измерено					Вычислено					
напряжение		мощность		ток $I, A$	Освещенность $E_A, лк$	световой поток $\Phi_c, лм$	светоотдача		$\cos \varphi$	$K_u$
сети $U_C, В$	на лампе $U_L, В$	схемы $P_C, Вт$	лампы $P_L, Вт$				лампы $\eta_l,$ лм/Вт	лампа - дроссель $\eta_{л-д}, лм/Вт$		
250										
240										
и т.д.										

7. Снижая через 10 В напряжение на схеме до погасания лампы, произвести соответствующие записи в таблице 2.3. Зафиксировать напряжение погасания.
8. При номинальном напряжении снять на кальку осциллограммы тока, напряжения сети и на лампе, светового потока.

9. Рассчитать световой поток  $\Phi_c$ , коэффициенты мощности схемы  $\cos \varphi$  и коэффициент искажения лампы  $K_u$ , светоотдачу лампы  $H_l$  и блока дроссель – лампа  $H_{л-д}$ . Результаты занести в таблицу 2.3

При расчете показателей таблицы 2.3 необходимо пользоваться ниже следующими формулами.

Световой поток, лм:

$$\Phi_c = \frac{2\pi^2 L H_p E_A}{\left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right) \cos^2 \gamma},$$

где  $L$  — длина лампы, м;

$H_p$  — высота расположения светящейся линии над освещенной поверхностью, м;

$E_A$  — освещенность в исследуемой точке А (рис. 2.4), лк;

$\alpha$  — угол, под которым видна светящаяся линия из точки расчета, рад;

$\gamma$  — угол между нормалью от светящейся линии к поверхности, в которой расположена расчетная точка, до этой точки.

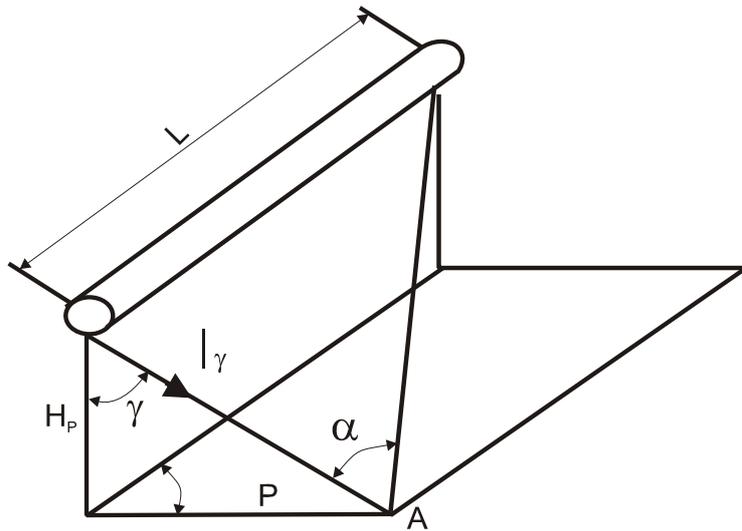


Рис. 2.4. К расчету освещенности, создаваемой люминесцентной лампой

Светоотдача лампы, лм/Вт:

$$H_{л} = \frac{\Phi_c}{P_{л}},$$

где  $P_{л}$  — мощность, потребляемая лампой, Вт.

Светоотдача блока «лампа - дроссель», лм/Вт:

$$H_{л-д} = \frac{\Phi_c}{P_c},$$

где  $P_c$  — соответственно мощность, потребляемая схемой из сети, Вт.

Коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P_c}{U_c I},$$

где  $I$  — ток, А;

$U_c$  — соответственно напряжение сети, В.

Коэффициент искажения:

$$K_{и} = \frac{P_{л}}{U_{л} I},$$

где  $U_{л}$  — соответственно напряжение на лампе, В.

### Содержание отчета

1. Эскиз люминесцентной лампы с указанием основных деталей.
2. Схема лабораторного стенда.
3. Осциллограммы.
4. Таблицы 2.1, 2.2, 2.3.

5. Графики зависимостей  $P_c$ ,  $P_l$ ,  $\Phi_c$ ,  $H_l$ ,  $H_l-d$ ,  $\cos \varphi$ ,  $K_u$  от напряжения сети.
6. Примеры расчета.
7. Вольтамперная характеристика.
8. Выводы по работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Как устроена люминесцентная лампа?
2. Каковы преимущества и недостатки люминесцентной лампы перед лампой накаливания?
3. Устройство стартера и его назначение.
4. Назначение дросселя и конденсатора  $C1$ .
5. Объясните порядок зажигания лампы и ее работу с индуктивным балластом.
6. Как электрическая энергия в лампе преобразуется в световую?
7. Что понимают под коэффициентом искажения? Дайте его физическое толкование.
8. Почему не существует  $\cos \varphi$  для газоразрядных ламп?

### Лабораторная работа 3 Исследование двухламповой схемы включения люминесцентных ламп

*Цель работы:* исследование работы двухламповой схемы включения люминесцентных ламп типа ЛБ и ЛД.

#### *Основные теоретические сведения*

Работа люминесцентных ламп сопровождается их погасанием и зажиганием в каждый полупериод переменного тока. В связи с этим возникают пульсации светового потока. Освещение объектов пульсирующим световым потоком утомляет зрение (так как мышцы зрачка глаза сокращаются два раза за период) и вызывает стробоскопический эффект (кажущаяся неподвижность объекта при совпадении или кратности частоты пульсации светового потока и частоты вращения или колебания объекта наблюдения).

Пульсация светового потока характеризуется коэффициентом пульсации, %:

$$K = \frac{\Phi_{\text{макс}} - \Phi_{\text{мин}}}{\Phi_{\text{макс}} + \Phi_{\text{мин}}} 100, \quad (3.1)$$

Величина  $K$  определяется составом люминофора, видом балластного сопротивления и схемой включения лампы в сеть. У лампы типа ЛБ меньший коэффициент пульсации (табл. 3.1) по сравнению с другими лампами, т.к. у них преобладает фосфоресценция (длительное послесвечение). У ламп типа ЛД и ЛДЦ более заметен процесс флюоресценции (отсутствие послесвечения).

*Таблица 3.1. Значение коэффициента пульсации светового потока для люминесцентных ламп при различных способах их включения*

Тип лампы	Коэффициент пульсации, %			
	одной лампы	двух ламп в схемах с расщепленной фазой	двух ламп в разных фазах	трех ламп в разных фазах
ЛБ и ЛТБ	25	10,5	10	2,2
ЛХБ	35	15	15	3,1
ЛДЦ	40	17	17	3,5
ЛД	55	23	23	5
ДРЛ	65	–	31	5

Для снижения коэффициента пульсации газоразрядных ламп применяют многоламповую схему освещения объекта со сдвигом фаз тока в различных лампах таким образом, чтобы излучения светового потока в лампах были в различные моменты времени. Реализация этого принципа заключается в трехфазной схеме включения люминесцентных ламп и в однофазной двухламповой схеме. Наиболее распространенная схема — двухламповое пускорегулирующее устройство с расщепленной фазой. В этой схеме одна из ламп включается по обычной схеме с индуктивным балластом, а другая — с индуктивно-емкостным (рис. 3.1).

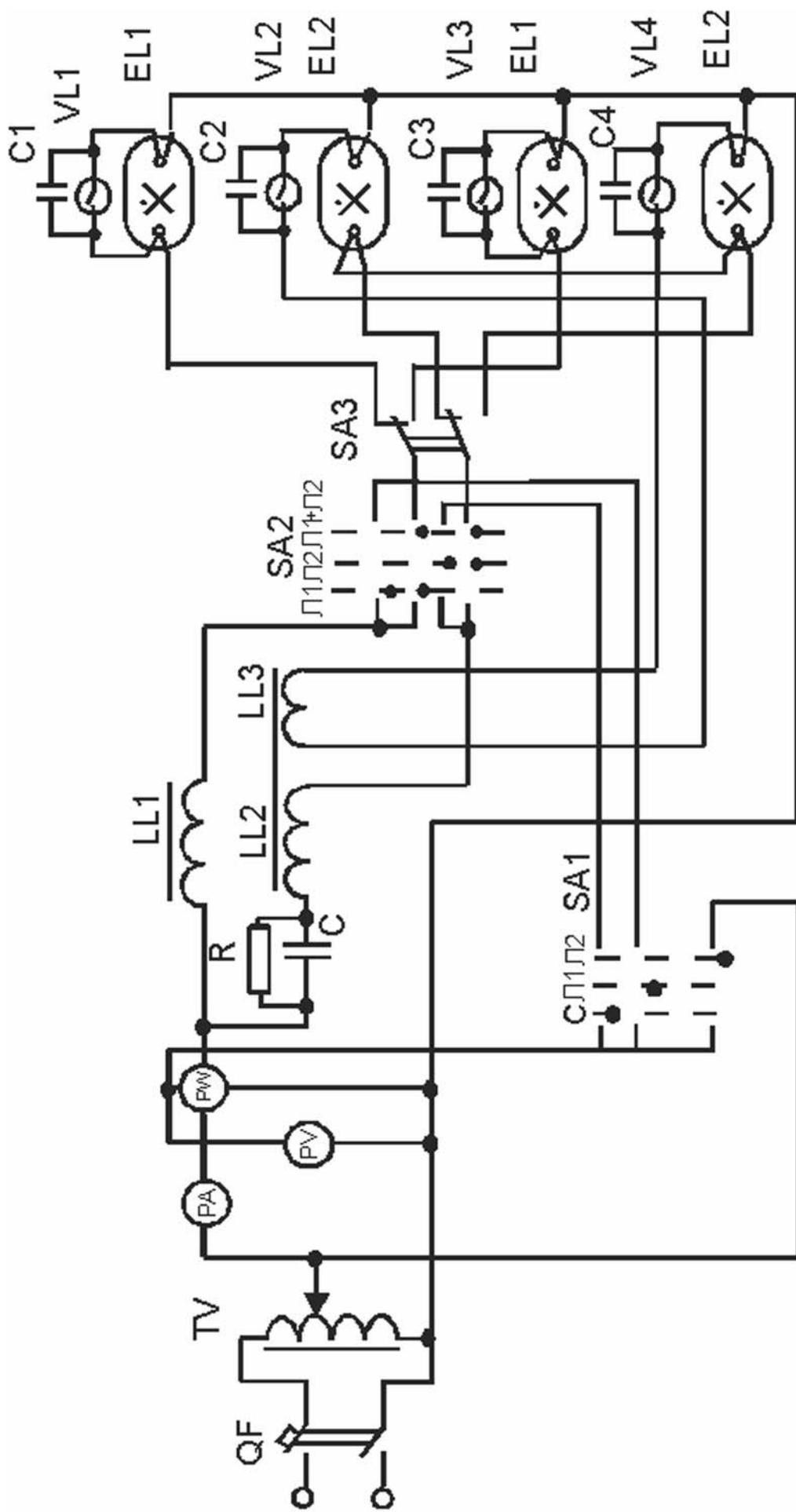


Рис. 3.1. Электрическая схема стенда

Такая схема обеспечивает высокий коэффициент мощности установки ( $\cos \varphi = 0,9-0,98$ ) и уменьшает пульсацию светового потока. Коэффициент мощности в отстающей цепи  $\cos \varphi = 0,5$ , — это соответствует углу  $\varphi = 60^\circ$ .

Для компенсации столь низкого коэффициента мощности необходимо обеспечить в опережающей цепи сдвиг на  $60^\circ$ . Это достигается путем включения в опережающую цепь индуктивно-емкостного балласта с соотношением:

$$X_C = 2X_L.$$

Емкость в опережающей цепи снижает импульс напряжения на лампе, поэтому в цепи пуска устанавливают дополнительную индуктивность, обеспечивающую нормальный разогрев электродов и напряжение на лампе при запуске.

Векторная диаграмма токов и осциллограммы световых потоков для двухламповой схемы представлены на рисунках 3.2 и 3.3.

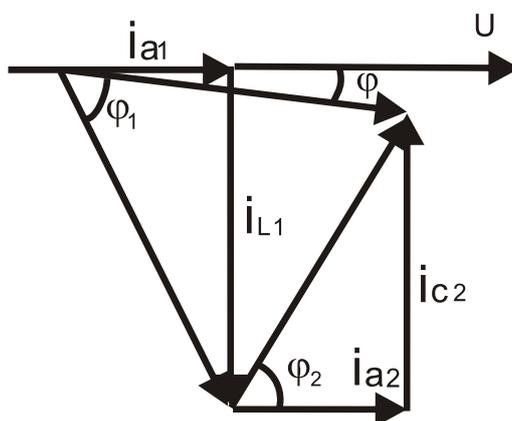


Рис. 3.2. Векторная диаграмма токов для двухламповой схемы

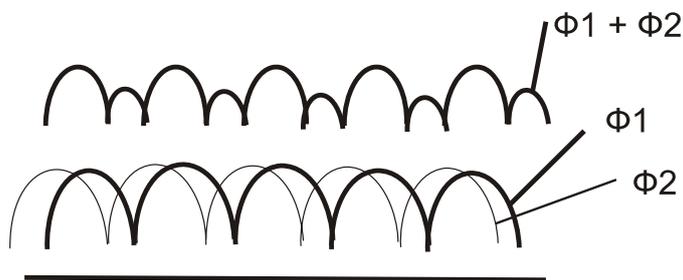


Рис. 3.3. Осциллограммы потоков излучения

### Методика выполнения работы

Основные электротехнические и светотехнические параметры снимаются на лабораторном стенде, электрическая схема которого приведена на рисунке 3.1.

В схему входят автоматический выключатель, защищающий цепь от токов короткого замыкания, блок измерения и цепи включения лампы с индуктивным и индуктивно-емкостным балластами.

Блок измерения содержит амперметр РА, вольтметр РV, ваттметр РW, люксметр, два фотоэлемента и осциллограф. Цепь лампы с индуктивным балластом состоит из дросселя LL1, стартера VL1 и люминесцентной лампы EL1. Цепь ламп с индуктивно-емкостным балластом включает в себя дроссель LL2 с компенсирующей индуктивностью LL3, конденсатор С, стартер VL2 и люминесцентную лампу EL2.

### *Последовательность выполнения работы*

1. Изучить работу двухламповой схемы включения люминесцентных ламп и ее влияние на снижение коэффициента пульсации светового потока [1, 2, 3].
2. Ознакомиться с измерительным стендом и его электрической схемой.
3. Записать паспортные данные электроизмерительных приборов в таблицу 3.2.

*Таблица 3.2. Технические характеристики приборов, используемых в работе*

Наименование прибора	Тип, система	Пределы измерения	Цена деления	Класс точности	Примечания

4. Записать паспортные данные исследуемых ламп в таблицу 3.3.

*Таблица 3.3. Технические характеристики исследуемых ламп*

Лампы	Тип	Напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Размеры, мм	
					диаметр	длина
ЛД						
ЛБ						

5. Установить переключатель SA2 в положение отстающей лампы Л1, а переключатель SA1 — в положение  $U_c$ .
6. Установить люксметр на столе стенда напротив конца лампы, а фотоэлементы — под исследуемыми лампами.
7. Подключить схему к сети с помощью автоматического выключателя QF и установить автотрансформатором напряжение 220 В.
8. Записать в таблицу 3.4 показания соответствующих приборов.
9. Снять на кальку осциллограммы напряжения и светового потока.
10. Провести аналогичные опыты с другими лампами и схемами.
11. Произвести расчеты и данные записать в таблицу 3.4.
12. Оформить отчет.

Таблица 3.4. Результаты экспериментальных и расчетных исследований

Лампы	Схема	Мощность		Напряжение		Ток, А	Освещенность, лк	Вычислено			
		$P_C$ , Вт	$P_L$ , Вт	$U_C$ , В	$U_L$ , В			свет. поток, лм	коэф. мощн.	$K_{П}$ , %	$K_u$ , %
ЛБ	Отстающая EL1										
	Опережающая EL2										
	Схема в целом										
ЛД	Отстающая EL1										
	Опережающая EL2										
	Схема в целом										

Коэффициент пульсации светового потока вычисляют по формуле (3.1). Напряжение на лампе 1 или 2 и пульсации их светового потока измеряются с помощью осциллографа путем установки переключателей SA2 и SA3 в соответствующие положения.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема лабораторного стенда.
3. Таблицы паспортных и лабораторных данных.
4. Примеры расчета светового потока, коэффициента пульсации и светоотдачи ламп.
5. Осциллограммы мгновенных значений светового потока.
6. Напряжение сети и ламп для каждой из схем.
7. Сравнительная оценка работы ламп типов ЛБ и ЛД в отдельных цепях и схеме в целом.

### *Контрольные вопросы*

1. Назовите причины пульсации светового потока ГРЛ.
2. Как влияет состав люминофора на глубину пульсации светового потока?
3. Какова пульсация светового потока ламп накаливания и почему?
4. Как влияет пульсация светового потока на зрение?
5. Какова сущность стробоскопического эффекта?
6. Как определить коэффициент пульсации?
7. Назовите методы снижения коэффициента пульсации.
8. Почему коэффициент мощности схемы в целом больше, чем у каждой лампы?
9. Почему электрический ток схемы в целом практически такой же, как и у отдельных ламп?

## Лабораторная работа 4

### Исследование светильников с лампами накаливания

*Цель работы:* изучение конструкции и исследование светотехнических характеристик светильников.

#### *Основные теоретические сведения*

Светильник — световой прибор, предназначенный для освещения помещений, открытых пространств и отдельных предметов на расстоянии до 20 размеров светильника. Он состоит из источников света и арматуры, предназначенной для рационального перераспределения светового потока, защиты глаз от чрезмерной его яркости, предохранения источников от механических повреждений и загрязнения, а также для крепления источника и подведения к нему электрического тока.

По своим главным признакам светильники классифицируются:

- 1) по распределению светового потока в нижнюю и верхнюю полушеры;
- 2) по светораспределению в пространстве;
- 3) по степени защиты от пыли, воды, взрыва;
- 4) по назначению.

По ГОСТ 17677—82 все светильники подразделяются на пять классов в зависимости от доли светового потока, падающего в нижнюю полусферу. Классификация светильников по этому признаку приведена в таблице 4.1.

*Таблица 4.1. Классификация светильников по распределению светового потока в верхнюю и нижнюю полусферы*

Условное обозначение класса	Класс светораспределения	Доля светового потока, падающего в нижнюю полусферу, %	Примечание
П	Прямого света	>80	
Н	Преимущественно прямого света	60-80	
Р	Рассеянного света	40-60	
В	Преимущественно отраженного света	20-40	
О	Отраженного света	<20	

Светораспределение в пространстве характеризуется кривыми силы света. Тот же ГОСТ устанавливает семь типовых кривых силы света (таблица 4.2, рис. 4.1).

Таблица 4.2. Классификация светильников по светораспределению в пространстве

Наименование типовой кривой силы света	Обозначение типовой кривой силы света	Зона направления максимальной силы света, град
Концентрированная	К	0-15
Глубокая	Г	0-30, 180-150
Косинусная	Д	0-35, 180-145
Полуширокая	Л	35-55, 145-125
Широкая	Ш	55-85, 123-95
Равномерная	М	0-90, 180-90
Синусная	С	70-90, 110-90

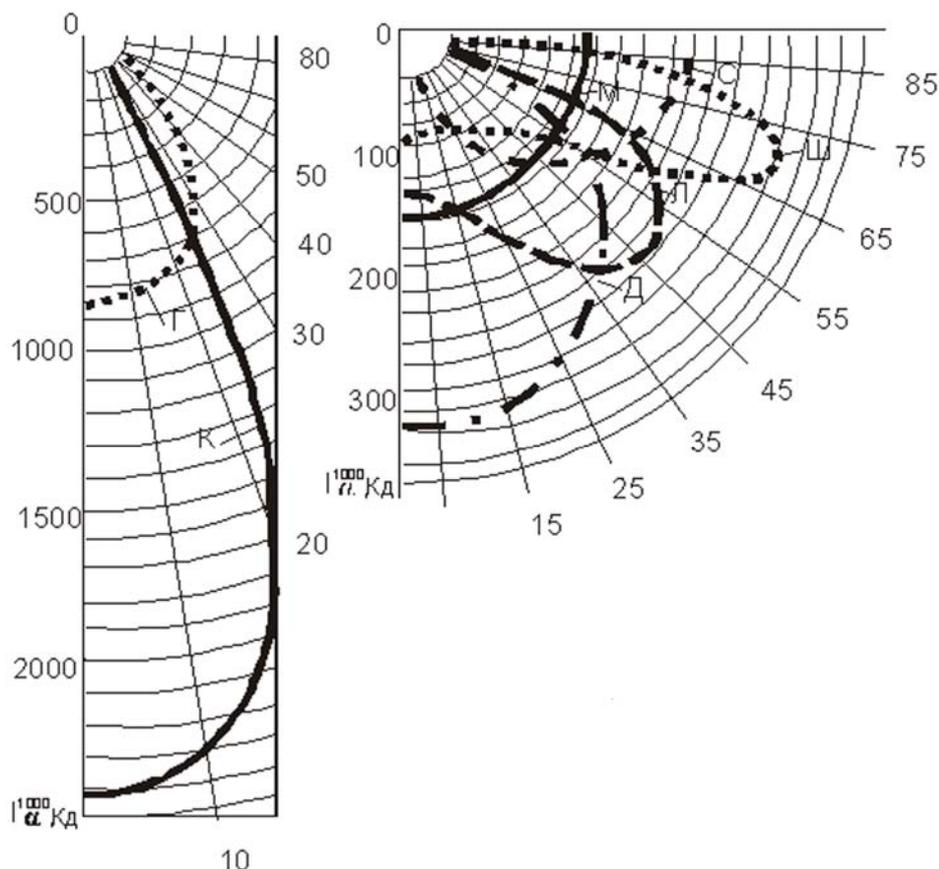


Рис. 4.1. Типовые кривые силы света:  
 К — концентрированная; Г — глубокая; Д — косинусная;  
 Л — полуширокая; Ш — широкая; М — равномерная;  
 С — синусная

По ГОСТ 17677—82, все светильники делятся на шесть классов по степени защиты от пыли и на девять классов по степени защиты от влаги.

Обозначение степени защиты состоит из двух прописных букв латинского алфавита IP (International Protection — Международная защита) и двух цифр, первая из которых обозначает степень защиты от пыли, вторая — от воды (например, IP 53). Для светильников, у которых степень защиты источника света и узла ввода различны, в обозначении отсутствуют буквы IP и присутствует после первой цифры, указывающей степень защиты от пыли, знак «штрих» (например, 5'3).

Первая цифра обозначает:

- 2 — открытый, пыленезащищенный. Токоведущие части и колба лампы не защищены от попадания пыли;
- 2' — перекрытый, пылезащищенный. Попадание пыли ограничивается неуплотненными, светопропускающими оболочками;
- 5' — частично пылезащищенный. Токоведущие части защищены от попадания пыли в количествах, достаточных для нарушения удовлетворительной работы светильника;
- 5 — полностью пылезащищенный. Токоведущие части и колба лампы защищены от попадания пыли в количествах, достаточных для нарушения удовлетворительной работы светильника;
- 6' — частично пыленепроницаемый. Токоведущие части защищены от попадания пыли;
- 6 — токоведущие части и колба лампы полностью защищены от попадания пыли.

Вторая цифра означает:

- 0 — водонезащищенный;
- 2 — каплезащищенный. Защита от попадания капель, падающих под углом к вертикали  $< 15^\circ$ ;
- 3 — дождезащищенный. Защита от попадания капель или струй, падающих сверху под углом к вертикали менее  $< 60^\circ$ ;
- 4 — брызгозащищенный. Защита от попадания капель или брызг;
- 5 — струезащищенный. Защита от попадания воды при обливании водой;
- 7 — водонепроницаемый. Защита от попадания воды при погружении в воду;
- 8 — герметичный. Защита от попадания воды при неограниченно долгом погружении в воду.

К паспортным данным светильников также относятся КПД и защитный угол. КПД светильника определяется отношением светового потока светильника к световому потоку источника. Иногда общий КПД светильника подразделяют на КПД в верхнюю и нижнюю полусферы.

Защитный угол характеризует светильник с точки зрения блескости ярких частей источника света. Его значение определяют по формуле

$$\gamma = \arctg \frac{h}{l}, \quad (4.1)$$

где  $\gamma$  — защитный угол светильника;

$h$  — минимальная высота от края входного отверстия до светящегося тела источника, м;

$l$  — максимальное расстояние от основания высоты до края входного отверстия или между экранирующими элементами решетки (для светильников с люминесцентными лампами), м (рис. 4.2).

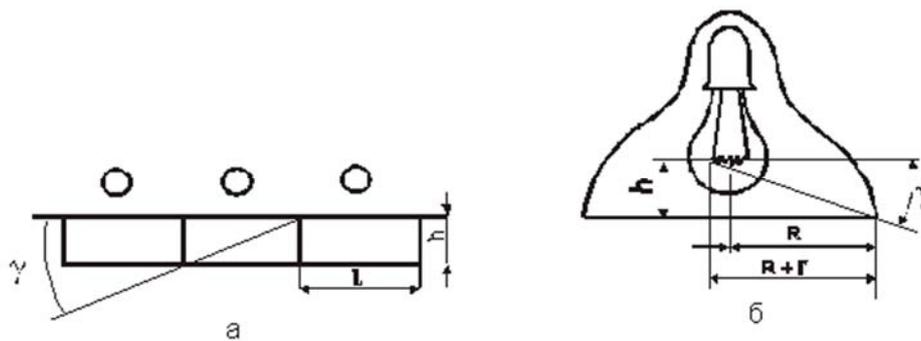


Рис. 4.2. Защитный угол, создаваемый экранирующей решеткой (а) и отражателем (б)

Каждому светильнику присваивают шифр. Структура условного обозначения светильников, по ГОСТ 17677—82, такова:

1
2
3
4
-
5
×
6
-
7
-
8

где 1 — буква, обозначающая *источник света*:

- Н — лампа накаливания,
- Р — ртутная лампа,
- Л — люминесцентная лампа,
- И — галогенная лампа,
- Г — металлогалогенная лампа,
- Ж — натриевая лампа,
- Ф — фигурная люминесцентная лампа;

2 — буква, обозначающая *способ установки светильника*:

- С — подвесные,
- П — потолочные,
- Б — настенные,
- В — встраиваемые,
- К — консольные,
- Т — напольные и венчающие,
- Р — ручные сетевые,
- Ф — ручные аккумуляторные и т.д.;

3 — буква, обозначающая *основное назначение*:

- П — промышленные,
- О — общественные,
- У — наружные,
- Б — бытовые,
- Р — рудничные;

4 — двузначное число 01-99 — *номер серии*;

5 — число, обозначающее *количество ламп в светильнике* (число 1 не указывается);

- 6 — цифра, обозначающая *мощность лампы*, Вт;  
7 — трехзначное число 001-999, обозначающее *номер модификации*;  
8 — буква и цифра, обозначающие *климатическое исполнение и категорию размещения светильника*:  
У — умеренный климат,  
УХЛ — умеренный и холодный климат,  
ХЛ — холодный климат,  
Т — тропический климат и т.д.;  
1 — на открытом воздухе;  
2 — под навесом;  
3 — в закрытых неотапливаемых помещениях,  
4 — в закрытых отапливаемых помещениях,  
5 — в сырых помещениях.

*Пример обозначения:* НСП 01 100 02-У1 — светильник с лампой накаливания, подвесной, для промышленных помещений, с одной лампой мощностью 100 Вт, второй модификации, рассчитанный для работы в умеренном климате, на открытом воздухе.

### *Программа работы*

1. Изучить конструкцию светильников с лампами накаливания.
2. Ознакомиться с классификацией и маркировкой светильников.
3. Освоить методику измерения светотехнических характеристик светильника.
4. Экспериментально снять кривые светораспределения светильника и лампы накаливания.
5. Расчетным путем определить световой поток светильника и лампы, КПД светильника и защитный угол.
6. По результатам исследований классифицировать светильники по светотехническим характеристикам.
7. Сравнить расчетные данные со справочными.

### *Методика выполнения работы*

1. Изучить конструкцию, классификацию и маркировку светильников по литературным источникам [1-4], по имеющимся в лаборатории светильникам и пособию к работе. Эскизы светильников выполняются с натуры.

2. Экспериментальные кривые светораспределения снимаются при помощи распределительного фотометра. Распределительный фотометр (рис. 4.3) состоит из штанги 1 с закрепленным на конце селеновым фотоэлементом 2. При снятии кривых светораспределения на фотоэлемент надевается тубус 3. Штанга поворачивается в секторе от 0 до 180° с помощью исполнительного механизма 4. Для измерения угла поворота с лицевой стороны исполнительного механизма укреплен транспортир 5. Светильник или лампа укрепляются так, чтобы нить накала лампы находилась против центра вращения штанги.

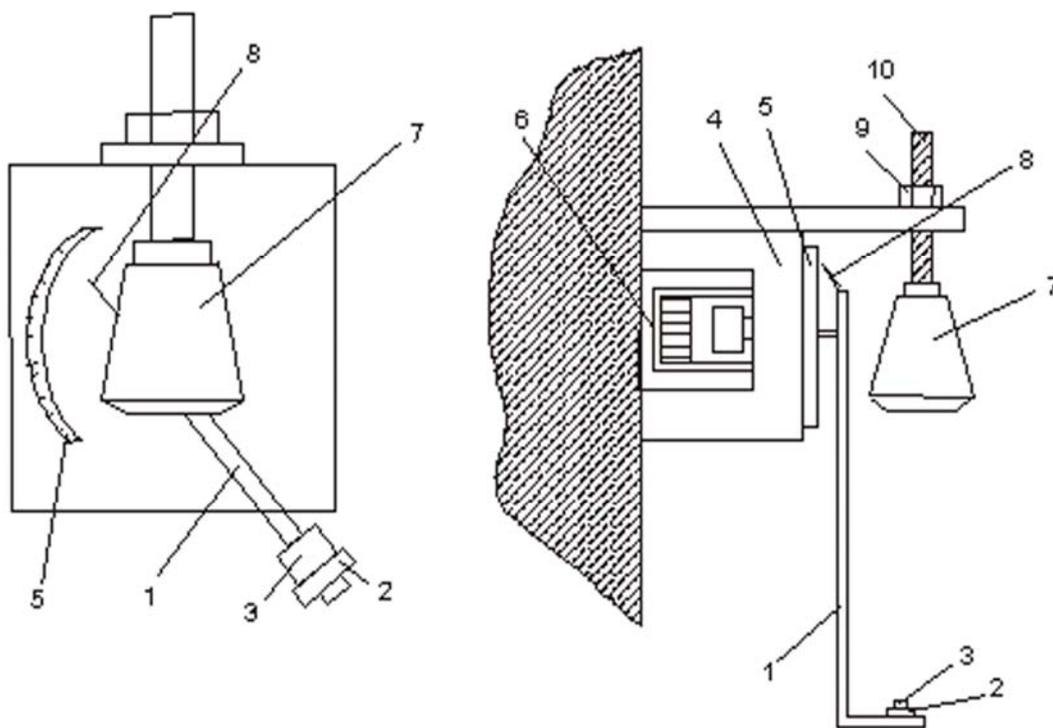


Рис. 4.3. Распределительный фотометр

Электрическая схема фотометра (рис. 4.4) состоит из блока регулирования напряжения на источнике света, блока измерения оптического излучения и поста управления конденсаторным электродвигателем исполнительного механизма 4 (см. рис. 4.3).

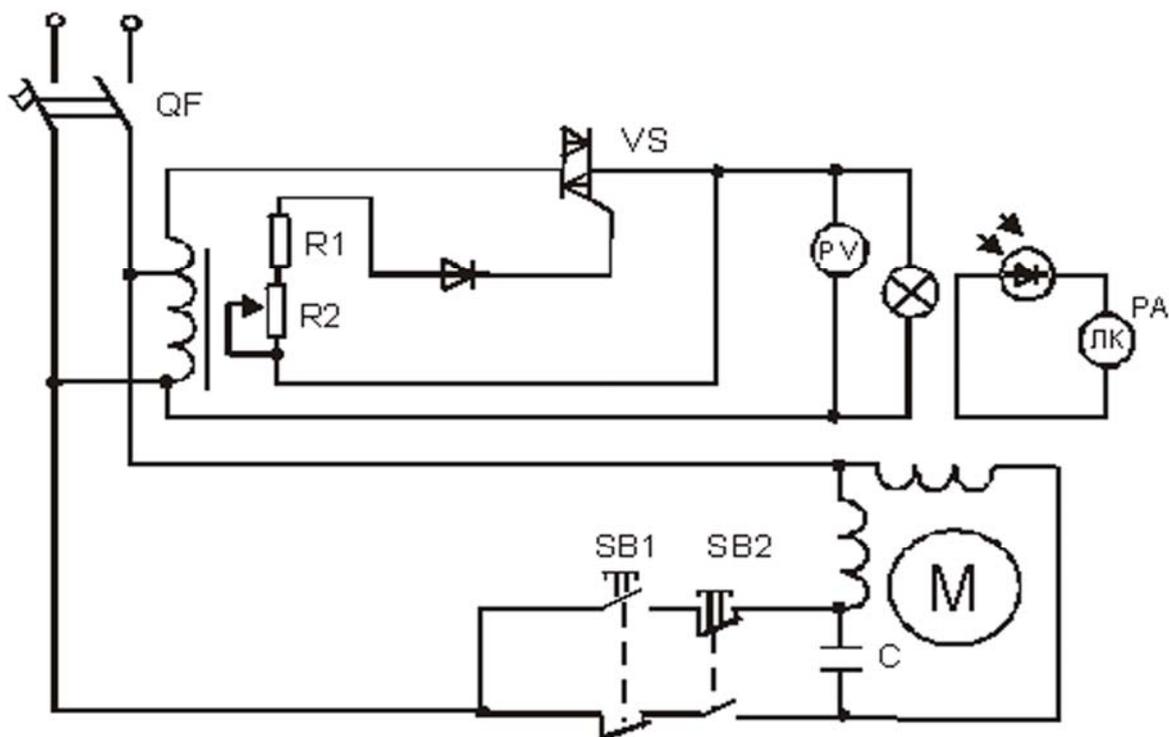


Рис. 4.4. Схема электрическая принципиальная для измерения силы света

Блок измерения оптического излучения состоит из селенового фотоэлемента и микроамперметра, шкала которого проградуирована в люксах.

Схема управления электродвигателем исполнительного механизма, служащего для поворота штанги фотометра, состоит из кнопочной станции электродвигателя с редуктором. При нажатии на кнопку SB1 штанга поднимается, а при нажатии на кнопку SB2 — опускается.

### *Последовательность выполнения работы*

1. Ознакомиться с программой работы и лабораторным оборудованием.
2. Заполнить таблицы 4.3 и 4.4.

*Таблица 4.3. Технические характеристики приборов, используемых в работе*

Наименование прибора	Тип	Пределы измерения	Род тока	Класс точности	Примечания

*Таблица 4.4. Характеристика электрооборудования*

Наименование, тип	Номинальные величины				Примечание
	мощность $P_{н2}$ , Вт	напряжение $U_{н2}$ , В	ток $I_{н2}$ , А	световой поток $\Phi_{н2}$ , лм	

3. Выполнить пункт 1 программы работы.
4. Изучить пункт 2 программы работы.
5. Снять кривую светораспределения лампы накаливания.
6. Определить тип лампы и ее характеристики.
7. Поместить патрон на подвесной крюк и вернуть лампу.
8. Вилку лампы вставить в розетку блока регулирования напряжения и установить с помощью автотрансформатора напряжение на лампе, равное номинальному.
9. Снять тубус 3 с фотоэлемента 2 и, используя образцовый люксметр, проградуировать микроамперметр. Надеть тубус.
10. Измерить освещение  $E_{\alpha \text{ изм}}$  при значениях меридианного угла 0, 5, 15, ..., 165, 175°. При каждом измерении освещенности необходимо определить освещенность, создаваемую посторонним источником  $E_{\text{нос}}$ , путем выключения лампы. В таблицу 4.5 занести истинную освещенность, создаваемую источником:  $E_{\alpha} = E_{\alpha \text{ изм}} - E_{\text{нос}}$ .
11. Аналогично снять светораспределение светильника.
12. Измерить  $h$  и  $R$  светильника (см. рис. 4.2).
13. Рассчитать значения  $I_{\alpha}$ ,  $\Delta\Phi$ ,  $\Phi$ ,  $I_{\alpha}^{1000}$ ,  $\eta$ ,  $\gamma$  и результаты занести в таблицу 4.5.



14. По справочнику для используемого типа светильника определить значение  $I_{\alpha}^{1000}$  табль,  $\eta_{\text{табль}}$ ,  $\gamma_{\text{табль}}$ .
15. Построить экспериментальные кривые силы света лампы, светильника.
16. Определить класс светораспределения светильника и тип КСС.

Указанные в пункте 13 величины определяются нижеследующим образом.

Сила света при произвольном значении угла  $\alpha$  вычисляется по формуле

$$I_{\alpha i} = E_{\alpha i} l^2,$$

где  $l$  — расстояние между телом накала и фотоэлементом, м;  
 $E_{\alpha i}$  — освещенность фотоэлемента при произвольном значении угла  $\alpha$ , лк.  
 Световой поток, заключенный в любом зональном телесном угле  $\Delta\omega_i$ :

$$\Delta\Phi_i = I_{\alpha i} \Delta\omega_i.$$

Суммарный поток источника излучения:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta\Phi.$$

В светильнике реальные кривые светораспределения заменяют кривыми светораспределения от условного источника со световым потоком в 1000 лм. Сила света реального источника  $I_{\alpha}$  переводится в силу света условного источника  $I_{\alpha}^{1000}$  по формуле

$$I_{\alpha}^{1000} = I_{\alpha} \frac{1000}{\Phi_{\text{л}}},$$

где  $\Phi_{\text{л}}$  — световой поток источника света (лампы), лм.

КПД светильника определяется по формуле

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{св}}}{\Phi_{\text{л}}},$$

где  $\Phi_{\text{св}}$  — световой поток светильника, лм.

Защитный угол светильника  $\gamma$  определяется по резкому изменению освещенности при изменении радиального угла  $\alpha$ , а также может быть вычислен по формуле (4.1).

### *Содержание отчета*

1. Цель работы.
2. Паспортные данные используемого оборудования и измерительных приборов.
3. Эскиз исследуемого светильника.

4. Схема лабораторного стенда
5. Примеры расчетов
6. Таблицы с экспериментальными и расчетными данными
7. Кривые светораспределения лампы и светильника (опытные и паспортные)
8. Выводы по работе

#### *Контрольные вопросы*

1. Что называется светильником?
2. Каково назначение светильника и его арматуры?
3. Что называется защитным углом светильника и как его экспериментально определить?
4. Как определить световой поток внутри зонального телесного угла?
5. Дайте расшифровку маркировки светильника.
6. Дайте классификацию светильников.
7. Какой физический смысл кривой светораспределения?
8. Что называется фотометрическим телом?
9. Дайте определение телесного угла.
10. Что такое зональный телесный угол?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5**

### **Исследование установок инфракрасного облучения животных и птицы**

*Цель работы:* изучение устройства, основных характеристик, схема управления установок инфракрасного излучения и исследование распределения облученности от ИК-облучателя.

#### *Основные теоретические сведения*

Инфракрасное излучение ИК занимает значительную область оптического спектра (от 760 нм до 1 мм) и называется тепловым, так как вызывает нагрев облучаемых объектов.

Области применения ИК-излучения разнообразны: для обогрева молодняка животных и птицы; сушки сельскохозяйственных продуктов, зерна, овощей, фруктов; сушки лакокрасочных покрытий автомобилей, тракторов, обмоток электрических машин и агрегатов; пастеризации молока и соков; дезинсекции и предпосевной обработки зерна.

Физическая сущность ИК-излучения состоит в том, что оно появляется в результате вращательных и колебательных движений молекул (твердых, жидких, газообразных). Эти колебательные процессы вызываются нагреванием тел. При любой температуре (кроме абсолютного нуля) все тела являются источниками ИК-излучения, так как более «быстрые» молекулы и атомы при своем движении передают энергию менее «быстрым», которые приходят в возбужденное состояние и, возвращаясь в исходное состояние, излучают излишек энергии в виде кванта.

Источниками инфракрасного излучения являются лампы накаливания общего назначения, галогенные лампы, специальные лампы типа ИКЗ, ИКЗК, а также низкотемпературные инфракрасные излучатели, в частности трубчатые электронагреватели ТЭН.

В зависимости от спектрального состава, источники ИК-излучения делятся на светлые и темные. Светлые источники — лампы накаливания с температурой тела накала свыше 2500 К. Эти лампы испускают частично видимое излучение и значительную долю ИК-излучения. Темные источники генерируют в длинноволновой области ИК-спектра (нихромовые спирали, ТЭНы).

Для защиты источников ИК-излучения от механических повреждений, пыли, влаги и для перераспределения потока излучения применяют специальную арматуру (кожухи, защитные сетки, отражатели, устройства подключения к сети). Источник излучения вместе с арматурой называется облучателем.

Облучатель ССП01-250 разработан на базе светильника «Астра-12» и модифицирован применительно к лампе ИКЗК 220-250. Состоит из пластмассового корпуса и эмалированного отражателя. Отражатель покрыт силикатной эмалью, которая легко очищается от загрязнения. Снизу на отражателе

предусмотрена сетка, предохраняющая ИК-лампу от механических повреждений. Облучатель ССП05-250 отличается тем, что корпус его выполнен из жароупорной пластмассы.

Облучатель рефлекторный инфракрасный ОРИ-2 представляет собой конический корпус из листовой стали и выпускается с лампой ИКЗК 220-250.

Облучатель ветеринарный инфракрасный ОВИ-2 имеет герметическое исполнение и состоит из металлического корпуса с защитной сеткой и лампой ИКЗК 220-250.

Облучатель «Латвико» с лампой КИ 220-1000 изготовлен из жести коробчатой формы. Внутри корпуса расположена лампа с внешним отражателем, защищенная снизу металлической сеткой.

Выпускается два вида «темных» облучателей: ОКБ-3296А и ОКБ-1376А. Первый состоит из источника ИК-излучения и стального отражателя. В качестве источника излучения применен ТЭН мощностью 800 Вт. Нагреватель помещен в фокальной плоскости отражателя и снизу закрыт сеткой. Облучатель ОКБ-1376А представляет собой стальной кожух с закрепленными в его верхней части тремя трубчатыми нагревательными элементами. Стенки кожуха двойные, пространство между ними заполнено теплоизоляционной массой. Каждый нагреватель мощностью 0,4 кВт имеет выключатель, расположенный на защитном кожухе, что делает возможным трехступенчатое регулирование мощности.

Для обогрева цыплят при напольном содержании применяют брудер БП-1 и БП-1А. Брудер состоит из зонта пирамидальной формы, изготовленного из секций оцинкованной стали, соединенных друг с другом винтами. Внутри установлено четыре ТЭНа мощностью по 250 Вт. Для регулирования температурного режима в брудере БП-1 имеется термореле БП-00-090, а в брудере БП-1А — терморегулятор РТБ-1. Инфракрасное излучение дает наибольший эффект при сочетании с ультрафиолетовым УФ. Совместное действие ИК- и УФ-облучения обеспечивает сохранность молодняка и повышает его продуктивность. Промышленностью выпускаются установки «Икуф» и «Луч». Эти установки состоят из двух ламп типа ИКЗК 220-250 и одной ультрафиолетовой лампы ЛЭ-15, смонтированных в общую арматуру. В арматуре облучателя установлена пускорегулирующая аппаратура для ультрафиолетовой лампы, а в установке «Икуф» и переключатели для ламп ИКЗК. Лампа ЛЭ-15 располагается между инфракрасными лампами. Схема управления работой установки «Икуф» предусматривает ручной и автоматический режимы работы. В автоматическом режиме включение и отключение установки осуществляется с помощью реле времени 2РВМ, где контакты промежуточного реле первой программы включают и выключают инфракрасные, а второй программы — эритемные лампы. В установке «Луч» ИК-лампы могут устанавливаться под углом 90, 68 и 45 градусов к обогреваемой поверхности. Температурный режим в процессе роста молодняка регулируют изменением напряжения на ИК-лампах, для чего в установке «Луч» предусмотрен тиристорный регулятор напряжения.

Техническая характеристика облучателей приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Техническая характеристика инфракрасных облучателей

Тип облучателя	Источник излучения	Число источников	Мощность, Вт
ССП-01, ССП-05	ИКЗК 220-250	1	250
ОРИ-1	ИКЗК 220-500	1	500
ОРИ-2	ПС-70	1	375
ОВИ-2	ИКЗК 220-250	1	250
«ЛАТВИКО»	КИ 220-1000	1	1000
ОЭИ-500	ИКЗК 220-250	2	500
БП-1, БП-1А	4 ТЭН СКБ-5546-250	4	1000
ОКБ-1376	3 ТЭН · 400	3	1200
ОКБ-3296	1 ТЭН · 500	1	500
ИКУФ-1, ИКУФ-1М	2 ИКЗК 220-250 + ЛЭ 15	3	520
ЛУЧ	то же	3	520
СОЖ-1	2 ИКЗК 220-250 + 1 ДРТ-100+1 ДРТ-2-100	4	740

Эффективность воздействия ИК-лучей зависит от длины волны и поглощательной способности поверхности тела животных. Поглощение ИК-излучения кожей зависит от её состояния (влажности, наличия шерстного или пухо-перьевого покрова, пигментации); это сложный процесс, в котором принимает участие весь организм животного с его температурным 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 покрова. Это ведет к расширению кровеносных сосудов, увеличивает скорость кровотока, что значительно улучшает тепловой режим животного.

Коротковолновое излучение проникает на глубину 2,5-3 мм, где его энергия 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.

В результате поглощения ИК-излучения кожей животного или птицы их тело ощущает температуру более высокую, чем температура окружающего воздуха. Температура, которую ощущает тело в результате действия на него ИК-излучения совместно с теплотой окружающего воздуха, называется ощущаемой температурой:

$$t_0 = t_{\text{л}} + t_{\text{в}}, \quad (5.1)$$

где  $t_0$  — ощущаемая температура, °С;

$t_{\text{л}}$  — лучистая температура ИК-излучения, °С;

$t_{\text{в}}$  — температура окружающего воздуха, °С.

Лучистая температура:

$$t_{\text{л}} = 0,04 EK, \quad (5.2)$$

где 0,04 — коэффициент, связывающий ИК-облученность с лучистой температурой, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$E$  — облученность поверхности тела, Вт/м<sup>2</sup>;

$K$  — коэффициент «восприятия» ИК-излучения организмом.

При неподвижном воздухе в помещении  $K = 1$ , с увеличением скорости воздуха и загрязнения кожно-перьевого покрова восприятие организмом ИК-излучения снижается.

Облученность, создаваемая облучателем, должна обеспечивать требуемую ощущаемую температуру, которая нормируется в зависимости от вида и возраста животного (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Температурный режим при выращивании молодняка сельскохозяйственных животных и птицы

Вид, возраст животного, сут.	Температура в зоне нахождения молодняка, °С	Вид, возраст птицы, сут.	Температура в зоне нахождения молодняка, °С
Телята: 1-20 20-60 60-120	20-16 17-15 18-12	Цыплята: 1-5 6-12 13-21	35-33 33-28 28-25
Поросята: 1-26 30 45	30-24 23 22	Индюшата: 1-5 6-12 13-21	37-35 35-32 32-29
Ягнята: 1-10	17-10	Гусята: 1-20	32-28
Крольчата: 1-20	15	Утята: 1-10 11-21	28-24 20

Ощущаемая температура обеспечивается за счет рационального выбора параметров облучателей — типом, мощностью, числом и взаимным расположением источников излучения в облучателе, напряжением на источнике, высотой подвеса облучателя и углом наклона облучателя к обогреваемой поверхности.

Мощность и количество источников излучения зависят от требуемой облученности и площади облучения. Если тип облучателя и, следовательно, его мощность приняты, то облученность (ощущаемую температуру) обеспечивают высотой подвеса облучателя или изменением напряжения на нем. Высота подвеса облучателя ограничивается снизу пожарной безопасностью (не ниже 0,5 м), а также конструкцией станка или другого оборудования, сверху — требуемой облученностью на заданной площади.

Высота подвеса  $h$  может быть принята по справочной литературе в зависимости от вида и возраста животного или рассчитана по формуле

$$h = \sqrt{\frac{I_{\alpha} P \eta_{л}}{E 1000}},$$

где  $I_{\alpha}$  — сила света зеркальной лампы или светильника в направлении расчетной точки со световым потоком 1000 лм (табл. 5.3);

$\eta_{л}$  — лучистый КПД лампы ( $\eta_{л} = 0,70-0,85$ );

$P$  — суммарная мощность ламп, Вт;

1000 — световой поток условной лампы, лм.

Таблица 5.3. Светотехнические характеристики светильников с ИК-лампами, отнесенные к потоку лампы в 1000 лм

Типовые кривые светораспределения				
$\alpha^{\circ}$	глубокое «Г»	точечный источник «Д»	линейный источник «Д»	лампы ЗС, ЗК
0	763	238	260	600
5	741	229	250	586
15	640	215	245	483
25	479	204	219	347
35	321	195	187	235
45	189	164	150	161
55	52	145	112	113
65	10	112	72	273
75	2	76	40	222
85	0	7	16	61
90	0	3	1	0

При расчетном определении  $h$  исходят из зависимости  $E(h)$  для принятого облучателя, требуемую облученность  $E$  находят по заданной величине ощущаемой температуры и фактической температуре в помещении по формуле (5.1).

## Программа работы

1. Изучение источника и установки инфракрасного излучения и схемы их управления.

2. Исследовать зависимость облученности на горизонтальной плоскости от высоты подвеса, напряжения на лампе и закон регулирования напряжения в зависимости от температуры в помещении.

## Методика выполнения работы

Конструкции источников и облучателей изучаются по литературным источникам, имеющимся в лаборатории облучателям и методическому пособию к работе.

Эскизы облучателей выполняются с натуры.

Исследование распределения облученности производится на лабораторном стенде, включающем облучатель ССП01-250 или ИКО-1, приборы измерения напряжения и облученности. Электрическая схема стенда представлена на рисунке 5.1.

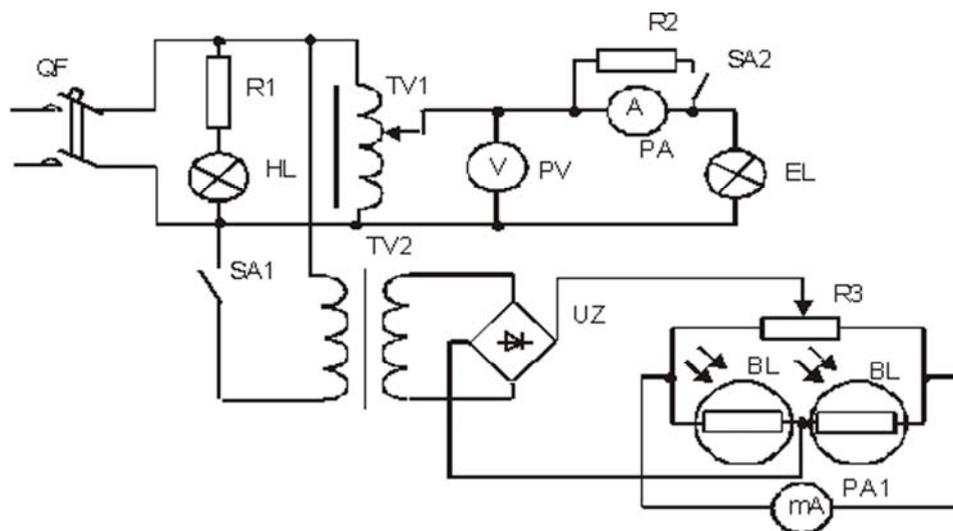


Рис. 5.1. Электрическая принципиальная схема стенда для исследования ИК-облучателей

Напряжение на облучателе устанавливается по показанию вольтметра.

Облученность измеряется с помощью фоторезисторов ФСА-1, включенных по мостовой схеме. Один из фоторезисторов является компенсационным, и на него помещена кювета со слоем дистиллированной воды 5...10 мм для поглощения ИК-излучения.

Облученность рассчитывается по формуле

$$E = PK, \quad (5.3)$$

где  $P$  — показания микроамперметра, мкА;

$K$  — тарировочный коэффициент, Вт/(м<sup>2</sup>·мкА); определяется в зависимости от напряжения, поданного на излучатель (рис. 5.2).

Для исследования распределения облученности на горизонтальной плоскости на столе лабораторного стенда проведены лучи. Облученность измеряется в центре симметрии облучателя и в 5-6 точках по одному из лучей, расстояние до которых от центра симметрии измеряется (рис. 5.3).

Для каждой из этих точек производится расчет облученности по формуле (5.3).

Для исследования зависимости электротехнических параметров облучателя от напряжения сети следует изменять напряжение, подводимое к облучателю, от 240 до 160 В. При измерении облученности фоторезистор поместить в произвольную точку на столе и в процессе исследования не перемещать.

Для исследования зависимости облученности от высоты подвеса облучателя (рис. 5.3) установить фоторезистор в произвольную точку под облучателем, подать номинальное напряжение на лампу и произвести замер при двух различных высотах облучателя.

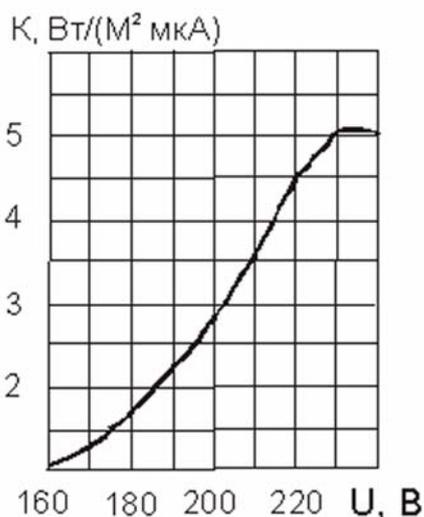


Рис. 5.2. Зависимость переводного коэффициента от напряжения

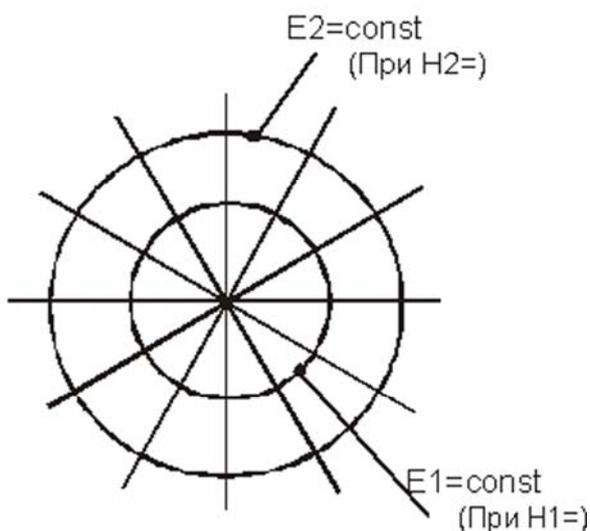


Рис. 5.3. Кривые равной облученности

Измерения производятся в трехкратной повторности. Среднее значение облученности рассчитывается по формуле

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i (r_i^2 - r_{i-1}^2)}{\sum_{i=1}^n (r_i^2 - r_{i-1}^2)},$$

где  $E_i$  — средняя облученность в точках с внутренним и наружным радиусом  $r_{i-1}$  и  $r_i$ , Вт/м<sup>2</sup>;

$r_i, r_{i-1}$  — расстояние от центра проекции источника, м.

Закон регулирования напряжения в зависимости от температуры в помещении находят из выражения для ощущаемой температуры (5.1).

Из (5.1, 5.2) следует, что условие  $t_0 = \text{const}$  при  $t_6 = \text{var}$  можно обеспечить, изменяя  $t_{л} = 0,04 \text{ EK}$ . Изменяя  $t_6$ , находят требуемые значения  $t_{л}(t_6)$  и  $E(t_{л})$  из формул (5.1, 5.2). Зависимость  $E(U)$  определяется экспериментально или из справочной литературы.

По расчетным значениям  $t_{л}(t_6)$  и  $E(t_{л})$  и экспериментальному значению  $E(U)$  определяют закон регулирования напряжения в зависимости от температуры в помещении для произвольно принятой высоты подвеса облучателя.

### Методика выполнения работы

1. Составить эскиз облучателя и изучить его конструкцию.
2. Ознакомиться с лабораторным стендом и его электрической схемой.
3. Заполнить таблицы 5.4 и 5.5.

Таблица 5.4. Характеристика приборов, используемых в работе

Наименование прибора	Тип	Предел измерения	Род тока	Класс точности	Примечание

Таблица 5.5. Характеристика облучателя

Наименование	Тип	Наименование величины			Примечание
		мощность, Вт	напряжение, В	ток, А	

4. Установить автотрансформатор в нулевое положение, подключить схему к сети и установить на лампе напряжение, указанное преподавателем.
5. Установить фоторезистор на столе в центре симметрии облучателя.
6. Произвести замеры облученности вдоль одного из лучей в 5-6 точках. Результаты измерений занести в таблицу 5.6.
7. По данным измерений построить график зависимости  $E = f(l)$ .
8. Установить фоторезистор в центре симметрии на столе и, изменяя напряжение на лампе в пределах  $(0,8-1,2)U_H$ , произвести замеры облученности. Результаты измерений занести в таблицу 5.7.

Таблица 5.6. Зависимость облученности вдоль луча

Расстояние от центра симметрии вдоль луча $l$ , м							
Показания микроамперметра, мкА							
Облученность $E$ , Вт/м <sup>2</sup>							

Таблица 5.7. Зависимость облученности от напряжения

$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	$n$ , мкА	$E$ , Вт/м <sup>2</sup>	$\Delta E$ , %	Примечание
240						
220						
200						
180						

9. По данным измерений построить графики зависимости  $I$ ,  $P$ ,  $\Delta E$  от напряжения сети.

$\Delta E$  — процентное отклонение облученности при текущем и номинальном напряжении:

$$\Delta E = \frac{E - E_H}{E_H} 100\% .$$

10. Снять кривую распределения ИК-облученности на поверхности стола на расстоянии от центра симметрии, указанном преподавателем.

Результаты измерений занести в таблицу 5.8.

Таблица 5.8. Кривая поля облученности

Номер луча	1	2	3	4	5	6	7
Расстояние от центра							
Облученность при высоте $H_1 =$							
Облученность при высоте $H_2 =$							

11. Построить поле облученности при различных высотах подвеса.

12. Установить закон регулирования напряжения в зависимости от температуры в помещении из выражения (5.1) и (5.2).

### *Содержание отчета*

1. Цель работы.
2. Таблицы 5.4-5.8.
3. Эскиз облучателя.
4. Принципиальная электрическая схема стенда.
5. Графики.
6. Выводы по работе.

### *Контрольные вопросы*

1. Применение ИК-излучения в с.-х. производстве.
2. Классификация источников ИК-излучения.
3. Преимущества ИК-нагрева перед другими видами нагрева.
4. Перечислите источники ИК-излучения: их устройство и характеристики.
5. Расскажите о конструкциях ИК-облучательных установок.
6. Какими приборами можно измерить ИК-облученность?

## Лабораторная работа 6 Исследование источников облучения, используемых в теплицах

*Цель работы:* изучение конструкции источников облучения, используемых в теплицах, исследование их технических характеристик.

### *Основные теоретические сведения*

Облучение играет большую роль в жизни растений. Под действием энергии излучения оптической части спектра в зеленом веществе растений (хлорофилле) происходит процесс фотосинтеза, накопление углеводов из углекислоты воздуха в виде зеленой массы растений и плодов. В теплицах осенью и зимой солнце не дает достаточного по интенсивности и продолжительности облучения, необходимого для нормального роста овощных культур. Этот недостаток восполняют искусственным облучением. Продолжительность облучения в сутки должна соответствовать требованиям данной культуры растений и составлять от 2 до 17 часов в сутки. Дополнительное облучение растений является наиболее эффективным, когда поток энергии излучения источника наиболее полно удовлетворяет данное растение по интенсивности и спектральному составу. Растения поглощают излучения с длинами волн от 300 до 760 нм, от которых зависит фотосинтез, рост и развитие растений. Основную роль играют излучения в зоне от 380 до 710 нм, эту зону называют фотосинтетически активной радиацией ФАР. Поток излучения, эффективно усваиваемый растением и фотосинтетически активно действующий на него, называется фитопотоком. За единицу фитопотока принят фит, численно равный потоку однородного излучения мощностью в 1 Вт при длине волны 680 нм.

Поскольку спектральная характеристика зеленого листа как приемника лучистой энергии отличается от спектральной характеристики глаза человека, фитопоток источника существенно отличается от светового потока. Степень использования лучистой энергии источника растением характеризуется коэффициентом полезного действия:

$$\eta = \frac{\varphi(\lambda)_{max} \int_{300}^{760} f(\lambda)k(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda)d\lambda} = \frac{\Phi_{\text{Э}}}{\Phi},$$

где  $\varphi(\lambda)$  — спектральная плотность излучения источника, Вт/нм;  
 $f(\lambda)$  — относительная спектральная плотность излучения источника;  
 $k(\lambda)$  — относительная спектральная чувствительность листа;  
 $\varphi(\lambda)_{max}$  — максимум спектральной плотности излучения источника, Вт/нм;  
 $\Phi_{\text{Э}}$  — эффективный поток, Вт;  
 $\Phi$  — лучистый поток, Вт.

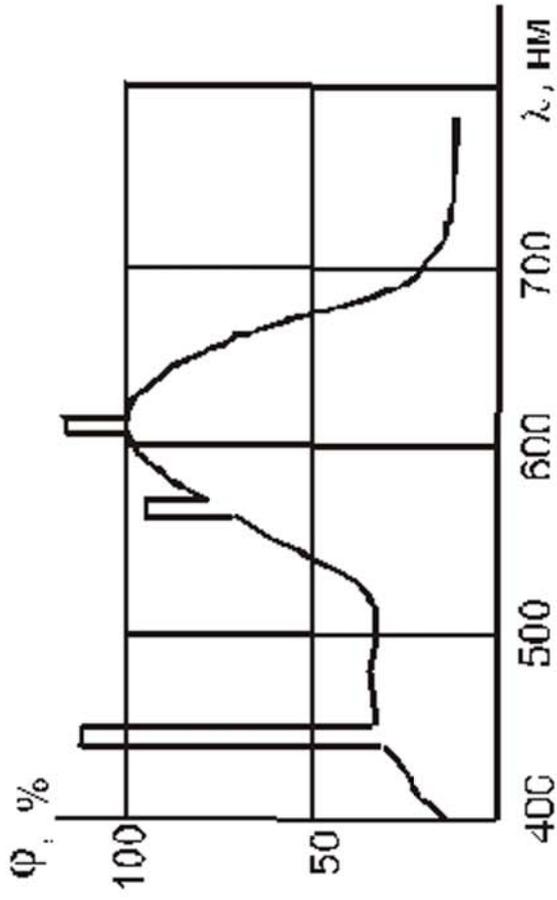
Для облучения рассады в теплицах используются обычные люминесцентные лампы, лампы с высокой фотосинтетической эффективностью излучения ЛФ-40-1, ЛФ-40-2, лампы высокого давления типа ДРЛ, ДРЛФ, ДНаТ, ДРИ, ДНаЗ. В фитотронах и вегетационных климатических камерах применяют лампы ДРФ-1000, ДРФ-2000, ДНаТ-400, ДКсТЛ-10000, ДКсТВ-10000, ЛФР-150 и др.

Спектральные характеристики ламп представлены на рисунке 6.1.

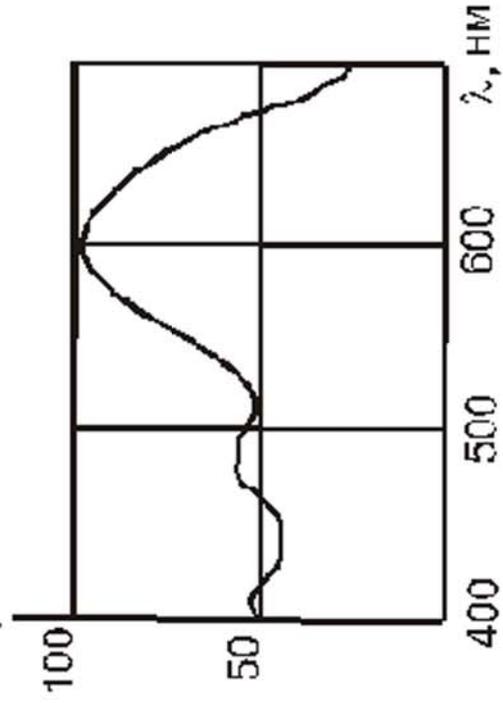
Люминесцентная лампа ЛФ-40-1 имеет однокомпонентное люминесцентное покрытие, мощность лампы 40 Вт, лампа ЛФ-40-2 с двухкомпонентным покрытием. Состав люминофорного покрытия у них подобран так, что основная часть излучения приходится на красную и сине-голубую области спектра. Поэтому синтез растений при этих лампах выше на 40-50% по сравнению с осветительными люминесцентными лампами при одинаковых мощностях. Электрическая схема подключения такая же, что и для обычных люминесцентных ламп.

Лампа ДРЛ состоит из ртутно-кварцевой горелки высокого давления, заключенной в стеклянную колбу, из которой откачан воздух и закачан углекислый газ. На внутреннюю поверхность колбы нанесен люминофор. Коротковолновое ультрафиолетовое излучение ртутной горелки преобразуется люминофором в длинноволновое фотосинтетически активное излучение с длиной волны 580-700 нм. При включении двухэлектродной лампы ДРЛ (рис. 6.2) под действием напряжения сети заряжается конденсатор С через сопротивление R, выпрямитель VD и дроссель LL. Когда напряжение на конденсаторе достигнет величины, достаточной для пробоя разрядника, произойдет разряд конденсатора на часть витков автотрансформатора, роль которого играет дроссель LL. В дросселе трансформируется импульс высокого напряжения, вызывающий разряд в лампе. Импульс повышенного напряжения на лампе получается в результате геометрической суммы напряжения на дросселе и напряжения сети. Рабочий режим в лампе устанавливается через 5...7 минут. Разрядник в рабочем режиме лампы не работает, так как напряжение на нем мало в результате падения напряжения на дросселе.

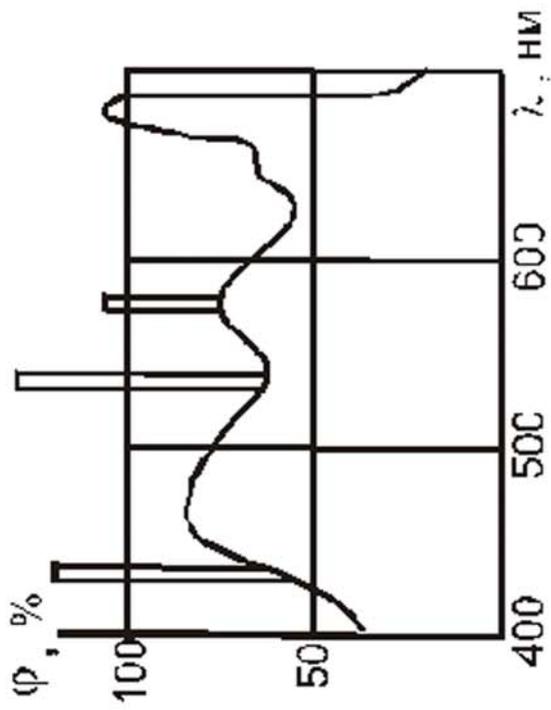
Лампа ДРЛФ аналогична лампе ДРЛ, но отличается наличием колбы из термостойкого стекла и внутренним отражателем из люминофора, покрывающим верхнюю половину колбы. Кроме того, в горелку введены иодиды щелочноземельных металлов для получения необходимого спектра излучения. При попадании капель воды на колбу стекло не растрескивается, поэтому лампа может работать при высокой влажности. Схема включения аналогична лампе ДРЛ.



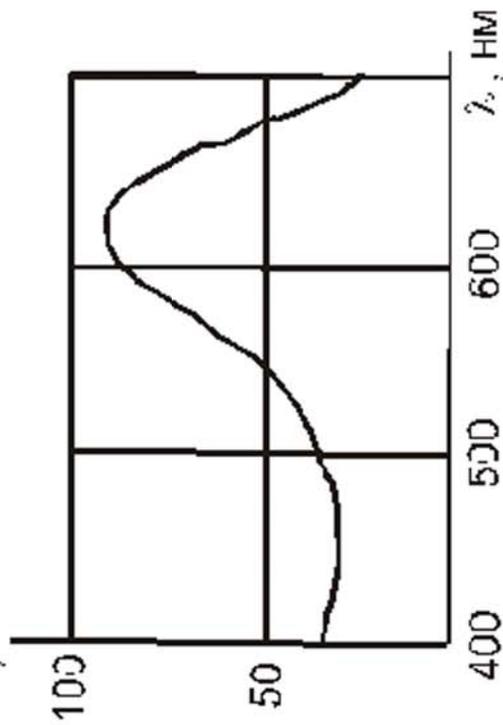
ЛБ



ЛФ40-2



ЛД



ЛФ40-1

Рис. 6.1. Кривые спектральной интенсивности различных источников

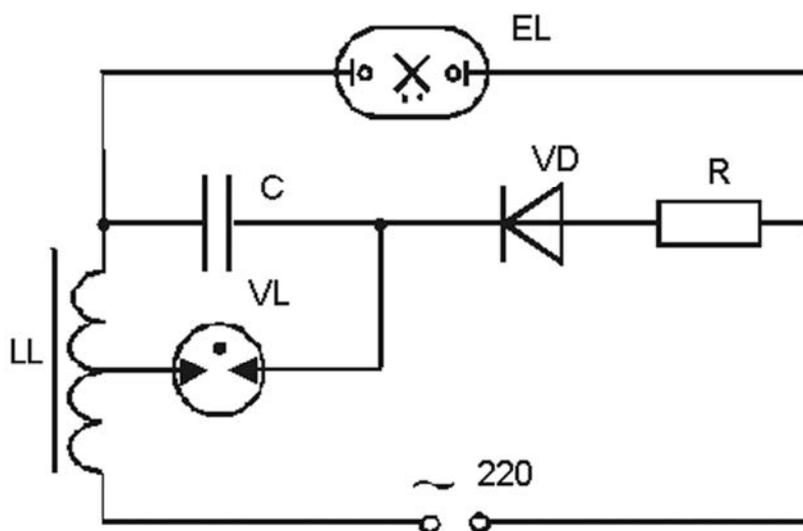


Рис. 6.2 Схема включения двухэлектродной лампы высокого давления

В настоящее время для облучения рассады и взрослой культуры в ангарных теплицах все больше применяется облучательная установка типа УОРТ-1-6000, которая состоит из облучателя ОТ-6000 с трехфазной лампой типа ДМ4-6000. Облучатель содержит корпус с отражателем и универсальное импульсное зажигающее устройство типа УИЗУ. Применение трехфазной металлогалогенной лампы ДМ4-6000 позволило осуществить симметричную нагрузку фаз сети, снизить более чем в три раза массу ПРА в сравнении с облучателем типа ОТ-400.

Наиболее экономичными являются облучательные установки с лампами типа ДРИ 400, ДРИ 1000, ДНаТ 400, ДРВ 750, ДРФ 1000, ДНаЗ 350, 400 и др.

С лампами ДРЛФ-400 выпускаются облучатели типа ОТ-400И и ОТ-400Е, первый — с индуктивным балластом, второй — с емкостным (рис. 6.3, 6.4).

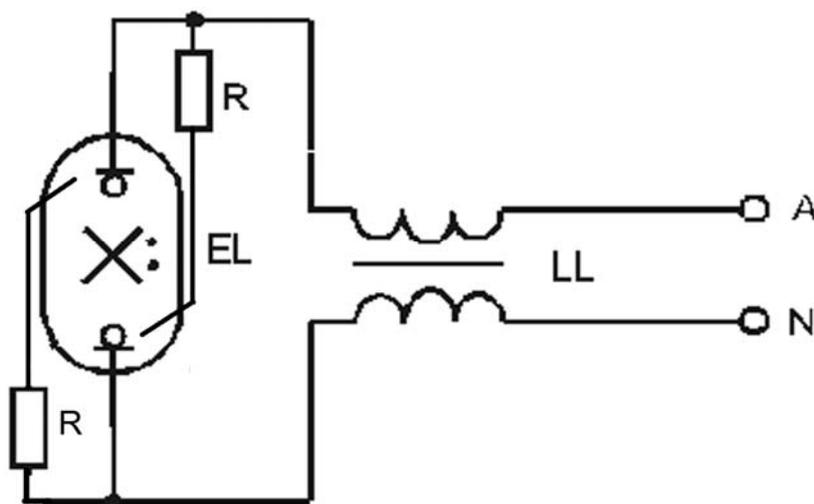


Рис. 6.3. Схема включения лампы высокого давления с компенсированным балластом

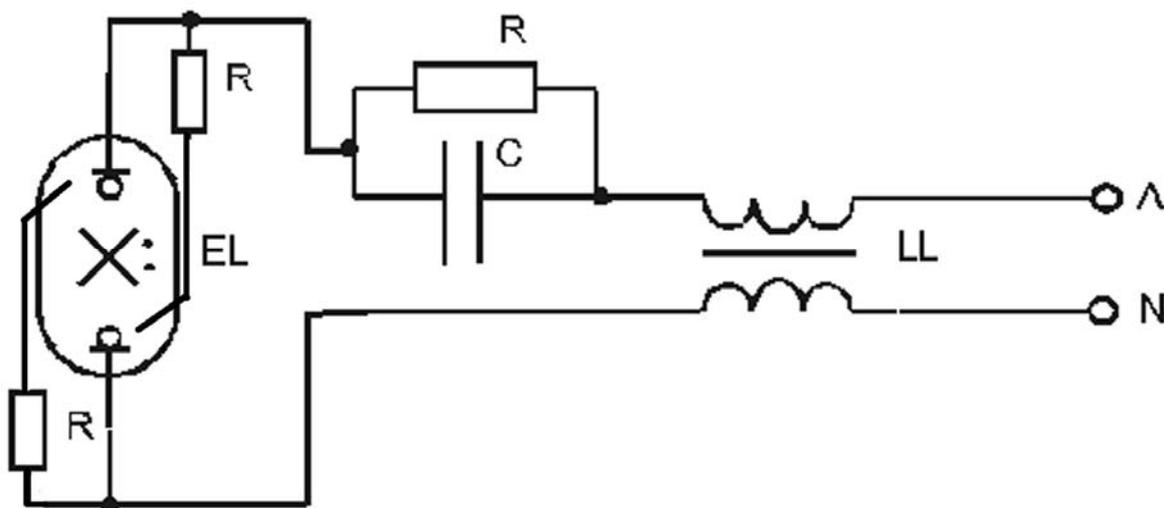


Рис. 6.4 Схема включения лампы высокого давления с индуктивно-емкостным балластом

Для ламп ДКсТВ-6000 (дуговых ксеноновых с водяным охлаждением) разработана облучательная установка, в которую входят шесть ламп и шкаф управления ФОУ 1-6. Лампы могут включаться как одновременно, так и в любой последовательности. Высота подвеса ламп от уровня грунта 1,4 м. Для ламп ДКсТЛ-10000 (дуговых ксеноновых с естественным воздушным охлаждением) выпускается установка СОРТ-1-10. Лампы зажигаются одновременно от одного пускового устройства. Отражатель светильников покрыт белой кремний-органической краской, которая в области инфракрасного излучения обладает большим коэффициентом поглощения, что снижает опасность перегрева растений. Тип конкретной облучательной установки для теплицы следует выбирать с учетом конструктивного плана помещения, стоимости электроэнергии, агротехнических требований, сроков выращивания, возможности приобретения оборудования. В последние годы для облучения растений в теплицах широко стали применять высокоэкономичные зеркальные лампы REFLUX (ДНаЗ).

Лампа REFLUX (ДНаЗ) предназначена для прямой замены ламп ДРЛФ в облучателе ОТ-400 с индуктивным балластом. Применение этих ламп позволяет значительно снизить потребление электроэнергии, сократить сроки выгонки рассады, снизить затраты на обслуживание.

Для средних широт Европейской части России при выращивании рассады овощных культур уровень искусственной облученности в области ФАР принимают равным не менее  $25 \text{ Вт/м}^2$  для огурцов и  $30 \text{ Вт/м}^2$  для томатов (6,5 и 7,5 тыс. лк или 8,5 и 10 фит/м<sup>2</sup> соответственно).

## Методика выполнения работы

Исследование электрических и светотехнических характеристик производится на лабораторном стенде, схема которого приведена на рисунке 6.5. Стенд представляет собой панель, на которой смонтированы измерительные приборы для контроля режима работы облучателя. Автоматический выключатель QF служит для подачи напряжения на стенд, переключатель SA1 позволяет измерять напряжения и мощности на лампе и потребляемые из сети.

Технические характеристики измерительных приборов внести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1. Характеристика приборов, используемых в работе

Наименование	Тип	Пределы измерения	Род тока	Класс точности	Примечание

Для исследования изменения электрических параметров лампы и фитооблученности в период разгорания лампы следует подать на лабораторный стенд напряжение 220 В, если лампа не зажглась, то нажать на кнопку SB. После зажигания лампы сделать 5-6 измерений (примерно через полминуты). Результаты занести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2. Результаты лабораторных исследований

Время от момента зажигания, мин	$I$ , А	$U_c$ , В	$U_l$ , В	$P_c$ , Вт	$P_l$ , Вт	$E$ , лк	$E_{\phi m^2}$

Фитооблученность вычисляется по формуле:

$$E_{\phi} = \frac{E}{K_{\phi} 1000}, \quad (6.1)$$

где  $E$  — измеренная освещенность.

Значения  $K_{\phi}$  представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3. Коэффициенты пересчета освещенности в фитооблученность

Тип лампы	ДНаТ	ДРЛФ	ДРЛ	ЛФ	ДКсТВ	Лампы накаливания
$K_{\phi}$	3,3	1,5	1,49	3,01	1,59	2,7

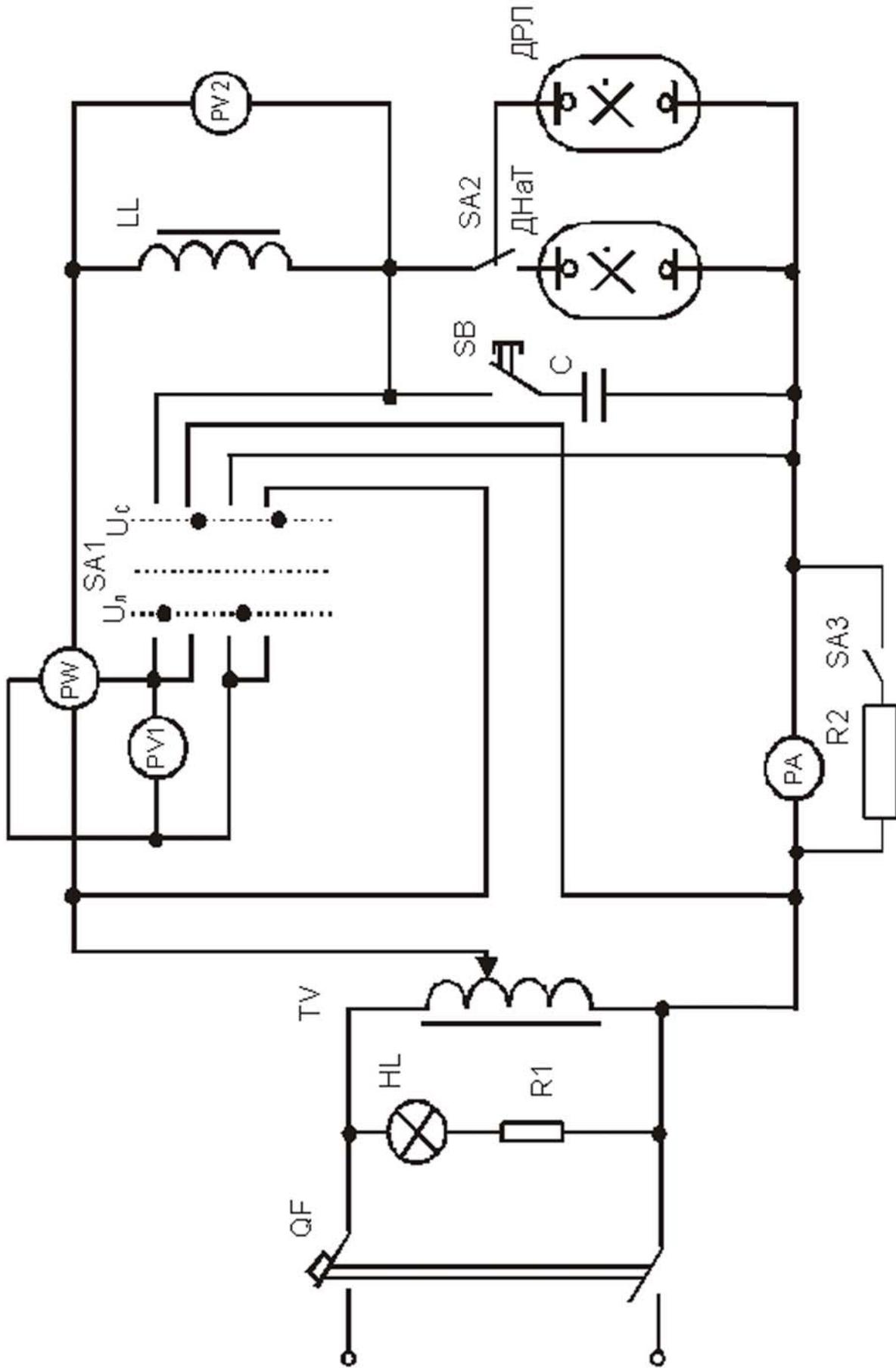


Рис. 6.5. Электрическая принципиальная схема для исследования ламп ДРЛ, ДРИ, ДРЛФ, ДНат

По данным таблицы 6.2 построить графики зависимости  $I, P_{л}, P_{с}, U_{л}, E$  от времени разгорания. Изменяя автотрансформатором напряжение, подводимое к установке, исследовать зависимости:  $I, P_{л}, E, E_{фм}, \Delta E_{ф}, (\%)$  от напряжения сети. Данные свести в таблицу 6.4.

Построить графики этих зависимостей.

Таблица 6.4. Результаты измерений

$U_{с}, В$	$I, А$	$P_{с}, Вт$	$U_{л}, В$	$P_{л}, Вт$	$E, лк$	$E_{фм}, фт/м^2$	$\Delta E_{ф}, \%$
230							
220							
210							
200							
190							

Процент отклонения фитооблученности от  $E_{фм}$  при заданном и номинальном напряжении рассчитывается:

$$\Delta E_{ф} = \frac{E_{фм} - E_{фм.ном}}{E_{фм.ном}} 100\%.$$

### Методика выполнения работы

Расчет облучательной установки для теплицы выполняется в ниже следующей последовательности.

1. Выбирается фитооблученность и тип источника (табл. 6.5-6.7).

Таблица 6.5. Технические характеристики ламп

Тип лампы	Мощность $P_{л}, Вт$	Ток $I_{л}, А$	Напряжение на лампе $U_{л}, В$	Пусковой ток $I_{л}, А$	Фитопоток $\Phi_{ф}, фт$	Световой поток $\Phi_{с}, лм$
ДРЛФ-400	400	3,25	135	7,15	27,2	16000
ДРЛ-400	400	3,25	135	7,15	15,7	19600
ДРИ-400-5	400	3,3	130	7,5	60,0	35000
ДНаТ-400	400	4,2	125	8,7	62,0	47000
ДРФ-1000-1	1000	8,5	130	13,0	130	55000
ДНаЗ-400	400	3,3	130	2,5	62,0	46000

Таблица 6.6. Размер теплицы

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8
Размеры теплиц $a \times b, м$	10×20	10×30	20×40	12×24	12×36	10×15	14×30	15×40

Таблица 6.7. Вид растения

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8
Вид растений	Рассада огурцов	Рассада томатов	Огурцы	Томаты	Редис	Рассада томатов	Огурцы	Томаты
Фитооблученность, $фт/м^2$	9	8	12	16	10	11	13	14

2. Выбирается высота подвеса источника в пределах 0,25-0,7 м.

3. Определяется расстояние  $L$  между облучателями. Облучатели располагают по углам прямоугольника со стороной  $L = \lambda H_p$ , где  $\lambda = 1,4$  для большинства облучателей с ГРЛ.

4. На план теплицы наносятся облучатели (рис. 6.6);

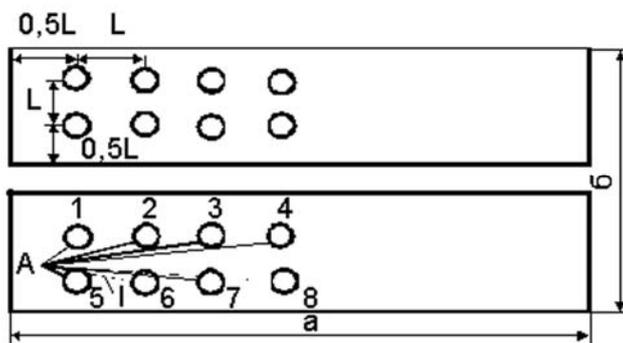


Рис 6.6. К расчету фитооблученности

5. Выбирают две контрольные точки: одну из них с минимальной облученностью, а другую с максимальной, например, под лампой, и определяют в них условные освещенности  $e$ , лк:

$$e = \frac{I_{\alpha}^{1000} \cdot \text{Cos}^3 \alpha}{H_p^2},$$

где  $I_{\alpha}^{1000}$  — сила излучения в данном направлении (рис. 6.7), Кд;

$\alpha$  — угол между перпендикуляром, опущенным из точки нахождения облучателя, и линией, соединяющей расчетную точку с облучателем (рис. 6.8).

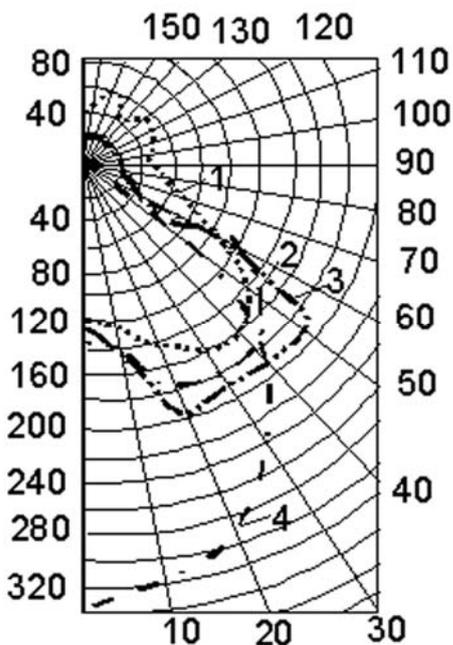


Рис. 6.7. Кривые силы излучения:  
 1 — ОТ-400 с лампой ДРЛФ 400-1;  
 2 — ОТ-400 с лампой ДРЛФ 400-2;  
 3 — ЖСП-18 с лампой ДНаТ 400;  
 4 — ГСП-26 с лампой ДРИ 400-5

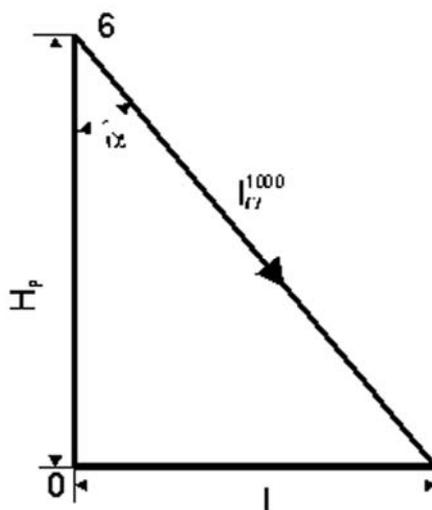


Рис. 6.8. К расчету облученности в контрольной точке

Данные расчетов внести в таблицу 6.8.

Таблица 6.8. Результаты расчета освещенности в контрольных точках

Контрольная точка	Номер облучателя	$I_{\alpha}^{1000}$	$\alpha$	$\text{Cos}^3 \alpha$	$e$	$\Sigma e$	Примечание
Точка А							
Точка В							

6. Расчет освещенности в контрольных точках производится до тех пор, пока освещенность от  $i$ -го источника не станет равной или меньше 10% от освещенности максимальной.

7. Рассчитывается фитооблученность  $E_{\phi}$  по формуле (6.1), в которой суммарная освещенность  $E$  рассчитывается по формуле

$$E = \frac{\Phi_c \sum e}{1000},$$

где  $\Phi_c$  — световой поток выбранного облучателя.

8. Сравнить облученность расчетную и табличную:

$$-10\% \leq \frac{E_{\phi} - E_{\phi.табл}}{E_{\phi.табл}} 100 \leq 20\%.$$

9. Если облученность меньше этих значений, то необходимо уменьшить высоту и повторить расчет. При большем значении облученности следует увеличить высоту.

Каждый студент выполняет свой вариант расчета. Вариант задается двумя цифрами. Первая цифра указывает на размер теплицы (табл. 6.6), вторая — вид растения и фитооблученность (табл. 6.7).

#### Содержание отчета

1. Цель работы
2. Таблицы 6.1-6.4, 6.8.
3. Эскиз лампы с указанием деталей.
4. Электрическая схема проведения экспериментов.
5. Графики результатов эксперимента.
6. Результаты расчета облучательной установки теплицы.
7. Выводы по работе.

#### Контрольные вопросы

1. С какой целью производится облучение рассады?
2. Назовите типы тепличных облучательных установок и поясните их устройство.
3. Поясните устройство лампы ДРЛ.
4. Поясните причины изменения параметров исследуемой лампы при ее разгорании.
5. Почему лампа не загорается сразу после ее погасания?
6. Почему при разгорании лампы ДРЛ или ДРЛФ активная мощность растет, а ток уменьшается?
7. Поясните схемы зажигания четырехэлектродной лампы и лампы с разрядником.

## **Лабораторная работа 7** **Исследование работы УФ-установок** **для облучения животных**

*Цель работы:* изучение устройства, принципа работы и освоение методики расчета подвижной облучательной установки.

### *Основные теоретические сведения*

Установки ультрафиолетового облучения — устройства, предназначенные для получения, распределения и управления ультрафиолетовым (УФ-) излучением.

Для облучения сельскохозяйственных животных и птицы используется УФ-излучение эритемной (витальной) области с длинами волн от 280 до 315 нм. Действие УФ-излучения проявляется через фотохимические реакции в кожных покровах, слизистых оболочках и органах зрения, а также через воздействие возникающих при облучении озона, окислов азота и аэроионов. Одной из основных реакций, происходящих в коже под действием излучения, является образование витамина Д<sub>3</sub>, что способствует улучшению усвоения кальция, калия и других микроэлементов из пищи и ускоряет биологические и обменные процессы в организме, улучшает состояние, устойчивость к заболеваниям и, в конечном итоге, лучшую сохранность и продуктивность.

Установлено, что УФ-облучение повышает удои молока на 5-13%, привесы телят на 7-13%, поросят на 20%, яйценоскость кур на 10-15%, прирост цыплят на 4-11%.

Источниками УФ-излучения являются газоразрядные лампы низкого (ЛЭ, ЛЭР) и высокого (ДРТ) давления.

Лампа в совокупности с пускорегулирующим аппаратом, устройством крепления, защиты от окружающей среды, подвода напряжения и т.д. представляет собой облучатель. Облучатель с оборудованием и аппаратурой управления образует облучательную установку.

По типу облучательные установки делятся на стационарные, подвижные (самоходные) и передвижные (переносные). Стационарные установки применяются при свободном содержании животных и птицы; подвижные — при содержании в стойлах, клетках; передвижные — для облучения ослабленных и больных животных и птицы.

Количество эритемной энергии обеспечивается дозой облучения. Доза облучения — количество эритемной энергии, вызывающее максимальный положительный эффект, который достигается за счет выбора облученности и продолжительности облучения. Длительность облучения в течение суток рекомендуется зоотехнической наукой. Облученность обеспечивается высотой подвеса облучателя, вида и возраста животных и птицы. Рекомендуемые дозы при УФ-облучении приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1. Рекомендуемые величины при УФ-облучении

Животные и птицы	Суточная доза облучения, эр·с/ м <sup>2</sup>	Допустимая облученность, эр/м <sup>2</sup>	Допустимая неравномерность
Телята до 6 мес.	432-504	0,43	1,31
старше 6 мес.	576-648	0,54	1,28
Коровы	972-1044	0,93	1,34
Поросята-отъемыши	216-288	0,23	1,76
Поросята подсосные	72-108	0,083	1,5
Цыплята и несушки в клетках	72-90	0,075	1,57

### Подвижная установка УО-4М

Установка УО-4М предназначена для УФ-облучения животных и птиц в осенне-зимний период.

Установка УО-4М состоит из приводной станции, несущей конструкции и облучателей с лампами ДРТ-400.

В приводную станцию входят: электродвигатель трехфазного тока типа АОЛ-21-4 мощностью 0,27 кВт, редуктор с передаточным числом 1:926; переключатель реверса и щиток с пускорегулирующей аппаратурой. Несущая конструкция состоит из натянутых вдоль животноводческого помещения стальных проводов диаметром 6 мм; замкнутого троса диаметром 3 мм, натяжных роликов и шпилек. Во время работы установки облучатели перемещаются возвратно-поступательно вдоль животноводческого помещения на высоте 1-1,2 м от спины коров, поросят или от пола птичника. Скорость перемещения 0,3 м/мин.

Применение установки при нормальном питании и содержании животных позволяет за счет УФ-облучения повысить в осенне-зимний период привесы свиней на 10-13%; удои коров на 7-10%; яйценоскость кур на 15-20%. Принципиальная электрическая схема включения установки УО-4М показана на рисунке 7.1.

Ее особенность заключается в последовательном включении двух ламп через общий дроссель и использовании одного пускового конденсатора. Корпус облучателя заземляется третьей жилой питающего кабеля типа ШРПС1 (3×1,5).

#### Техническая характеристика УО-4М

Мощность установки	2 кВт
Напряжение питания	80 В
Скорость перемещения облучателя	0,3 м/мин
Общая масса	100 кг
Источник УФ-излучения	лампа типа ДРТ-400
Площадь облучения	60×12 = 720 м <sup>2</sup>

УФ-облучение животных дает наибольший эффект при сочетании с инфракрасным нагревом. Отечественной промышленностью выпускается два типа таких установок «Луч» и ИКУФ-1. Облучатели этих установок со-

держат две инфракрасные ИКЗК-220-250 и одну ультрафиолетовую ЛЭ-15 лампы. Промышленность поставляет установки комплектно. В комплект входят 30-40 облучателей, кабель и пульт управления. Электрическая схема одного облучателя «Луч» приведена на рисунке 7.2.

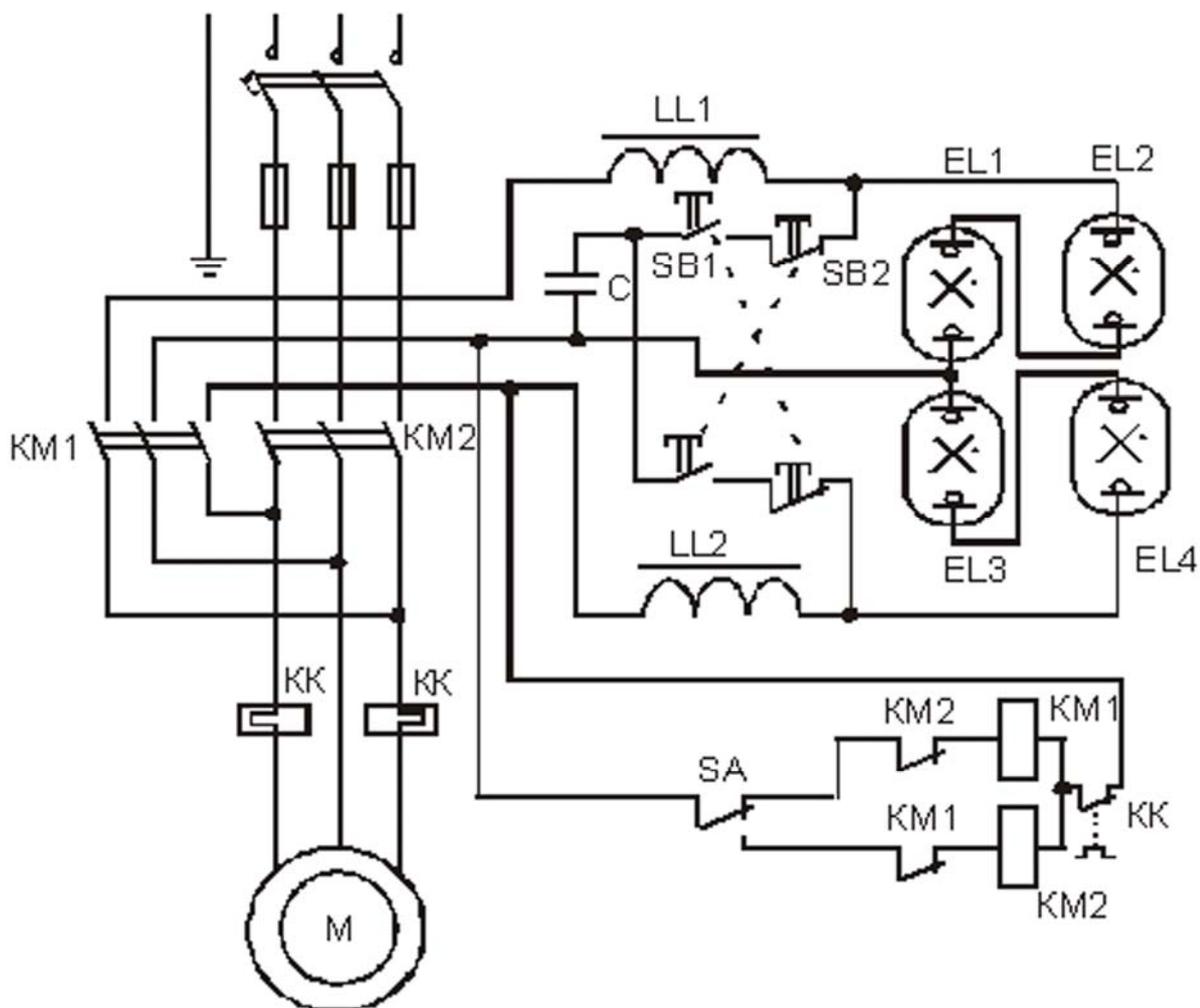


Рис. 7.1. Электрическая принципиальная схема установки УО-4М

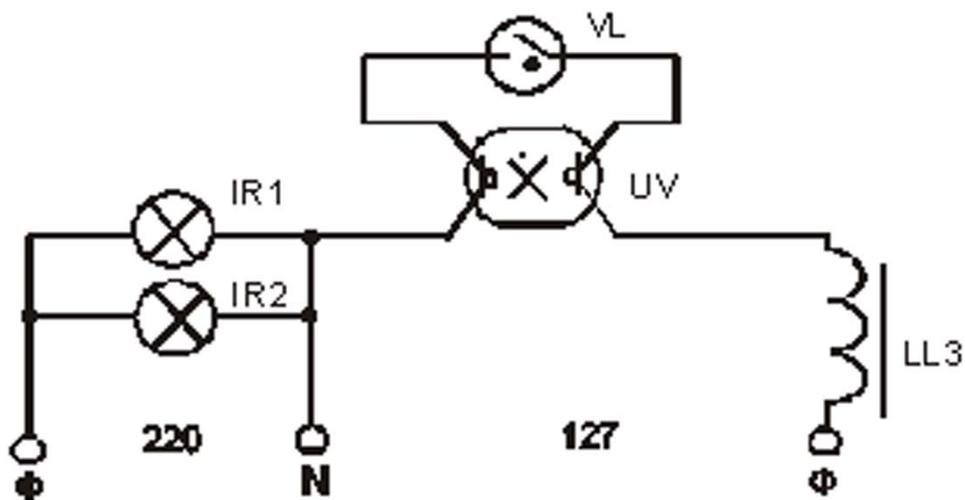


Рис 7.2. Электрическая принципиальная схема облучателя «Луч»

Интенсивность ИК-облучения регулируется величиной подводимого напряжения, а интенсивность УФ-облучения — периодическим включением и отключением лампы ЛЭ. При облучении поросят-сосунов один облучатель устанавливается на два станко-места на границе между двумя станками, для телят — на одно станко-место. Облучатели подвешиваются неподвижно на высоте 0,6-1,2 м. Пульт управления соединяется с облучателями кабелем, проложенным в трубах.

### Стационарный облучатель типа ЭО-1-30

Облучатель предназначен для облучения сельскохозяйственных животных и птиц УФ-лучами в осенне-зимний период. Он состоит из штампованного стального корпуса, внутри которого вмонтирована лампа ЛЭ-30, брызгозащищенных ламповых патронов, штампованного отражателя и балластного устройства. Промышленность выпускает два типа облучателей: со стартерной схемой (ЭО-1-30 С) и без стартерной схемы (ЭО-1-30 М).

### Технические данные облучателя ЭО-1-30 С

Напряжение питания облучателя 220 В, частота сети 50 Гц. Мощность, потребляемая облучателем из сети, не более 40 Вт. Сопротивление изоляции не менее 2 мОм. Тип лампы ЛЭ-15. Мощность, потребляемая эритемной лампой (без пусковых приборов), 30 Вт. Рабочее напряжение на лампе 108 В. Эритемный поток лампы 580 мэр. Площадь облучения при высоте 2 м равна 18-20 м<sup>2</sup>. Балластное сопротивление 1УБИ-30/220 ВП.

### *Программа работы*

1. Изучить конструкции, принцип действия и электрические схемы стационарных облучателей типа «Луч» и ЭО-1-30 С.
2. Изучить конструкцию, принцип действия и электрическую схему подвижной облучательной установки типа УО-4М.
3. Освоить методику измерений и выполнить экспериментальные исследования подвижной облучательной установки.
4. Освоить методику расчета подвижной облучательной установки.
5. Сравнить экспериментальные и расчетные данные.

### *Методика выполнения работы*

Пункты 1 и 2 программы работы необходимо выполнить по литературным источникам [2, 3], имеющимся в лаборатории облучателям и приложению.

Для проведения экспериментальных исследований в лаборатории имеется стенд, электрическая схема которого изображена на рисунке 7.3.

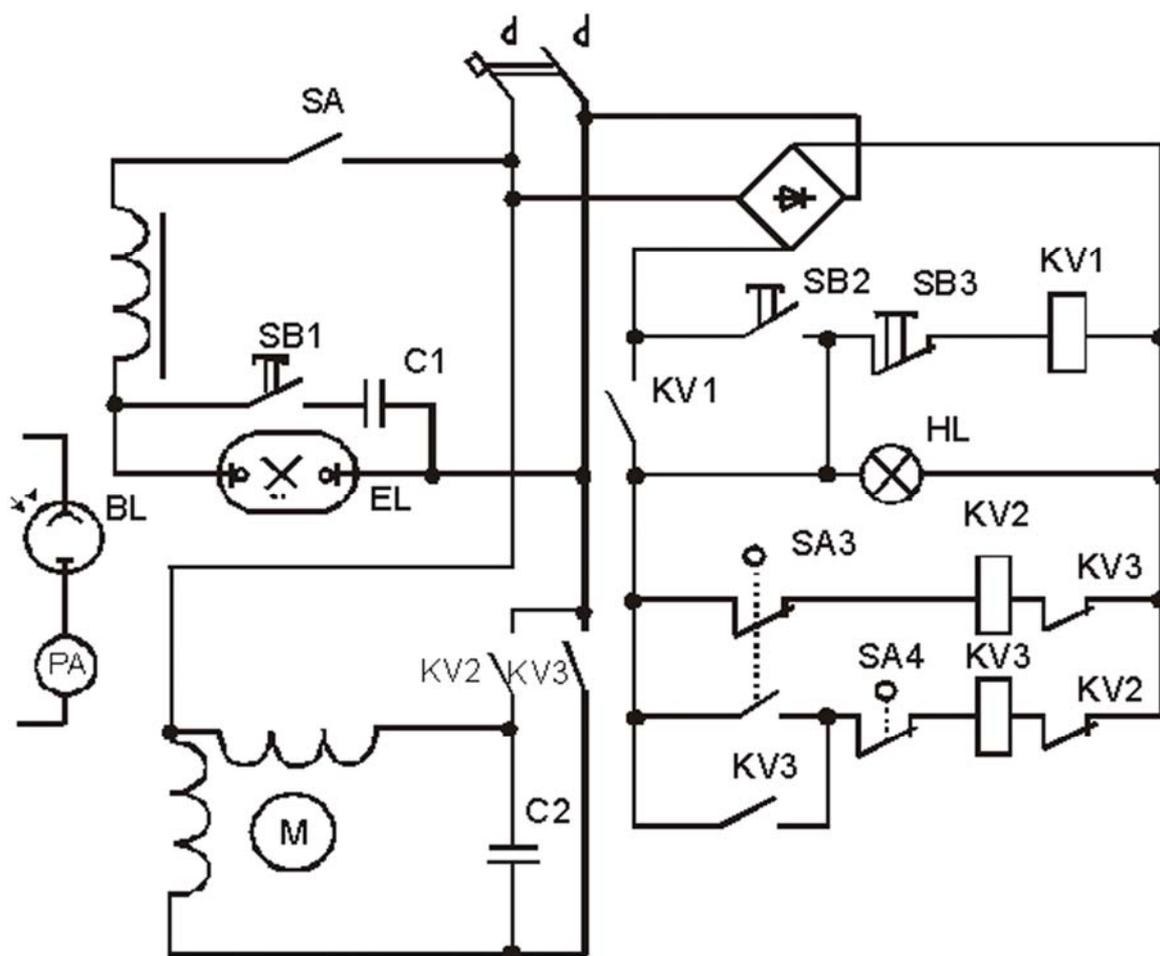


Рис. 7.3. Схема электрическая принципиальная лабораторной установки для исследования подвижного ультрафиолетового облучателя

Схема состоит из измерительного блока, содержащего фотоэлемент BL и микроамперметр PA; блока управления лампой EL, содержащего выключатель SA, дроссель LL, резонансный конденсатор C с кнопкой SB1, и блока передвижения облучателя, содержащего однофазный конденсаторный электродвигатель и схему управления им. Схема предусматривает реверс электродвигателя и световую сигнализацию о его работе. Запуск электродвигателя осуществляется нажатием кнопки SB2, а остановка — кнопкой SB3. При достижении облучателем крайнего правого положения размыкаются контакты SA3 в цепи катушки KV2. Силовые контакты KV2 также размыкаются, и электродвигатель останавливается. Замыкающие контакты SA3 замыкаются, и получает питание катушка KV3. Силовые контакты KV3 замыкаются в цепи электродвигателя, ротор которого начинает вращаться в другую сторону. При достижении облучателем левого положения размыкаются контакты конечного выключателя SA4, и катушка KV3 теряет питание, что ведет к реверсированию электродвигателя.

Лампа высокого давления ДРТ-400 включается и выключается выключателем SA. Лампа после зажигания входит в режим через 6-8 минут.

Погасшую лампу можно повторно включить лишь спустя 5-10 минут (лампа охладится, и давление внутри колбы снизится).

## Проведение эксперимента

1. Изучить схему управления лабораторной установкой (см. рис. 7.3).

2. Включить выключатель SA и подать напряжение на лампу. Если лампа не загорается, то нужно кратковременно нажать на кнопку SB1. Дать лампе разгореться, включить электродвигатель передвижения облучателя и определить его скорость движения, для чего необходимо измерить время прохождения облучателем расстояния, например, в один метр.

3. Установить облучатель над фотоэлементом.

4. Записать показания люксметра и соответствующие значения облученности (табл. 7.2) по формуле:

$$E = E \cdot K_9,$$

где  $K_9$  — коэффициент перехода,  $K_9 = 1,89 \cdot 10^{-3}$  эр/(м<sup>2</sup>·лк).

Таблица 7.2. Результаты экспериментальных исследований

Определяемая величина		Время отсчета, с					
		0	60	120	180	...	540
$E$	Освещенность, лк						
$E_9$	Облученность, эр/м <sup>2</sup>						
Положение горелки, м							

5. Аналогичные записи производить через каждую минуту вплоть до достижения горелкой самой удаленной точки.

6. Рассчитать путь, пройденный облучателем. Результаты записать в таблицу 7.2.

7. Построить график зависимости эритемной облученности от времени  $E_9 = f(t)$ .

8. По нижеприведенным формулам определить экспериментальное и теоретическое число проходов.

Количество облучения за один проход  $H_1$ , эр·с/м<sup>2</sup>, определяют так:

$$H_1 = 2 \int_0^t E dt = 2 A m_t m_E,$$

где  $A$  — площадь графика, заключенного между осями координат и кривой  $E = f(t)$ , см<sup>2</sup>;

$m_t$  — масштаб времени, с/см;

$m_E$  — масштаб облученности, эр/(м<sup>2</sup> см).

Общее число проходов  $n$ , эр/м<sup>2</sup>·лк, определяется по формуле:

$$n = \frac{H}{H_1},$$

где  $H$  — суточная доза, эр с/м<sup>2</sup> (см. табл. 7.1).

Теоретический расчет подвижных ультрафиолетовых облучательных установок, выпускаемых промышленностью серийно, сводится к определению числа проходов облучателя над животными. Для этого находят количество эритемного облучения за один проход.

$$H_1 = \frac{2\Phi_{\text{э}} \sin \alpha_k}{\pi^2 h \cdot v},$$

где  $\Phi_{\text{э}}$  — эритемный поток, эр (для ДРТ-400  $\Phi_{\text{э}} = 4,75$  эр);

$\alpha_k$  — угол между вертикалью из расчетной точки и линией, соединяющей расчетную точку с самым дальним положением облучателя (рис. 7.4);

$h$  — расчетная высота, м;

$v$  — скорость движения облучателя (определяется экспериментально), м/с.

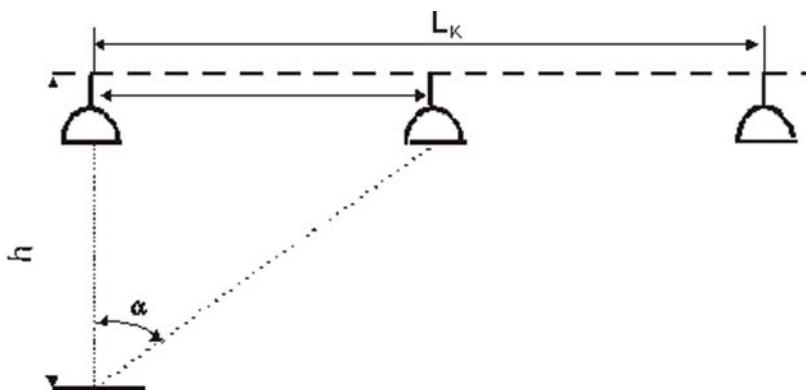


Рис. 7.4. К расчету облученности от подвижного облучателя

Зная дозу облучения и количество облучения за один проход, можно найти число проходов.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Паспортные данные используемого оборудования.
3. Схема экспериментального стенда.
4. Методика и пример расчета.
5. Таблица с экспериментальными и расчетными данными.
6. Выводы по работе.

#### Контрольные вопросы

1. Начертите электрическую схему облучателя ЭО-1-30 С.
2. Начертите электрическую схему облучателя «ИКУФ».
3. В каких единицах измеряется эритемная облученность?
4. Назовите источники эритемного потока.
5. Каково назначение облучателя УО-4М?
6. Почему погасшую лампу высокого давления можно зажечь только спустя некоторое время?
7. Чем отличается лампа ЛЭ от лампы ЛБ?

## Лабораторная работа 8

### Исследование установок автоматического управления освещением

*Цель работы:* изучить способы и принципы работы установок, схемные решения и устройства управления осветительными установками.

#### *Основные теоретические сведения*

Важнейшими параметрами, обеспечивающими нормальный рост, развитие и продуктивность животных и птиц, являются периодичность освещения, уровень освещенности и спектральный состав.

*Периодичность освещения* — изменение продолжительности дня и ночи в течение года. Периодичность освещения влияет на сроки размножения животных, линьку и рост волос, скорость обмена веществ и на продуктивность.

Увеличение освещенности увеличивает продуктивность коров на 9%, снижает расход кормов на единицу продукции от 8 до 24%, стимулирует обменные процессы, рост молодняка и плодовитость. Снижение освещенности снижает удои, но увеличивает накопление жира у свиней и массу птицы.

Существенным резервом экономии электроэнергии в птицеводстве является режим прерывистого освещения. Исследования показали, что многократное отключение света в птичниках позволяет сэкономить от 30 до 50% электроэнергии и повысить продуктивность птицы и прирост цыплят.

Для изменения продуктивности животных и птиц необходимы схемы управления освещением, которые бы позволили изменять уровень освещенности и продолжительность светового дня по заданной программе; имитировать «рассвет» и «закат».

Автоматическое плавное изменение продолжительности светового дня по заданной программе, а также имитацию «рассвета» и «заката» осуществляет программное реле управления светом ПРУС-1 и ПРУС-2.

Программное реле рассчитано на две программы — на полный цикл выращивания цыплят (150 суток) и кур-несушек (400 суток). Пределы регулирования продолжительности светового дня 6-24 часа. Установка приводится в действие анкерным часовым механизмом с автоматическим под заводом пружины и суточным резервом хода на случай перерывов в электроснабжении. В ней использован механический способ задания программы с помощью усеченного цилиндра с вырезом определенного профиля на боковой поверхности. Профиль выреза соответствует графику продолжительности светового дня. Считывание программы осуществляется через рычаги-копиры двух микропереключателей SA1 и SA2 (рис. 8.1), которые, в свою очередь, через магнитные пускатели KM1 и KM2 управляют включением и отключением осветительных приборов ОП. Чтобы избежать стресса птицы, микропереключатели срабатывают не одновременно, а с интервалом 2–5 минут, чем достигается имитация «рассвета» и «заката». Установка работает в ручном и автоматическом режимах.

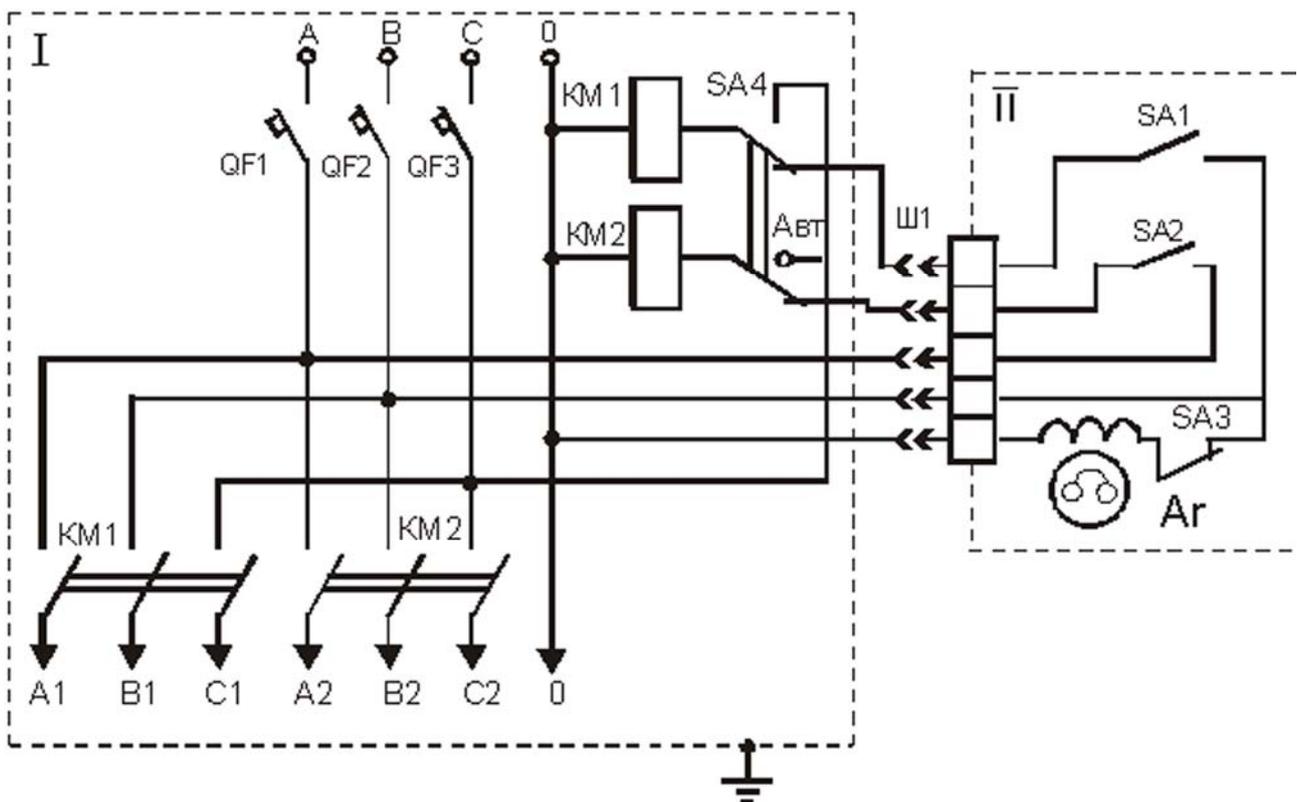


Рис. 8.1. Принципиальная электрическая схема установки ПРУС-2: I — силовой блок; II — блок управления; QF1-QF3 — выключатели автоматические серии АЕ2000; SA4 — тумблер типа ТП1-2; KM1, KM2 — пускатели магнитные типа ПМЕ-221; Ш1 — разъем типа ШР-20; Ar — устройство автоматического подзавода часового механизма реле типа 2РВМ; SA1-SA3 — микропереключатели

Для автоматизации управления освещением могут быть использованы программные реле 2РВМ, программные приборы К-8, МКП-12 и др. Эти устройства могут обеспечивать программирование светового режима только в пределах суток с изменением вручную продолжительности светового дня на 15-20 минут.

Для автоматического управления осветительными установками в функции естественной освещенности применяют фотореле. Примером централизованной автоматической системы управления уличным освещением может служить фотореле ФР-2 (рис. 8.2).

Фоторезистор R1 и резисторы R2 и R3 составляют делитель напряжения. В сумерках, когда сопротивление фоторезистора R1 велико, ток в этой цепи мал, и падение напряжения на резисторе R3 невелико, ток базы транзистора VT1 мал, оба транзистора закрыты. Реле KV питается от сети через однополупериодный выпрямитель на диоде VD с гасящим резистором R8 и сглаживающим пульсацию напряжения конденсатором C. Так как VT2 закрыт, то реле KV находится под напряжением и его контакты в цепи магнитного пускателя KM замкнуты; осветительная установка включена магнитным пускателем KM.

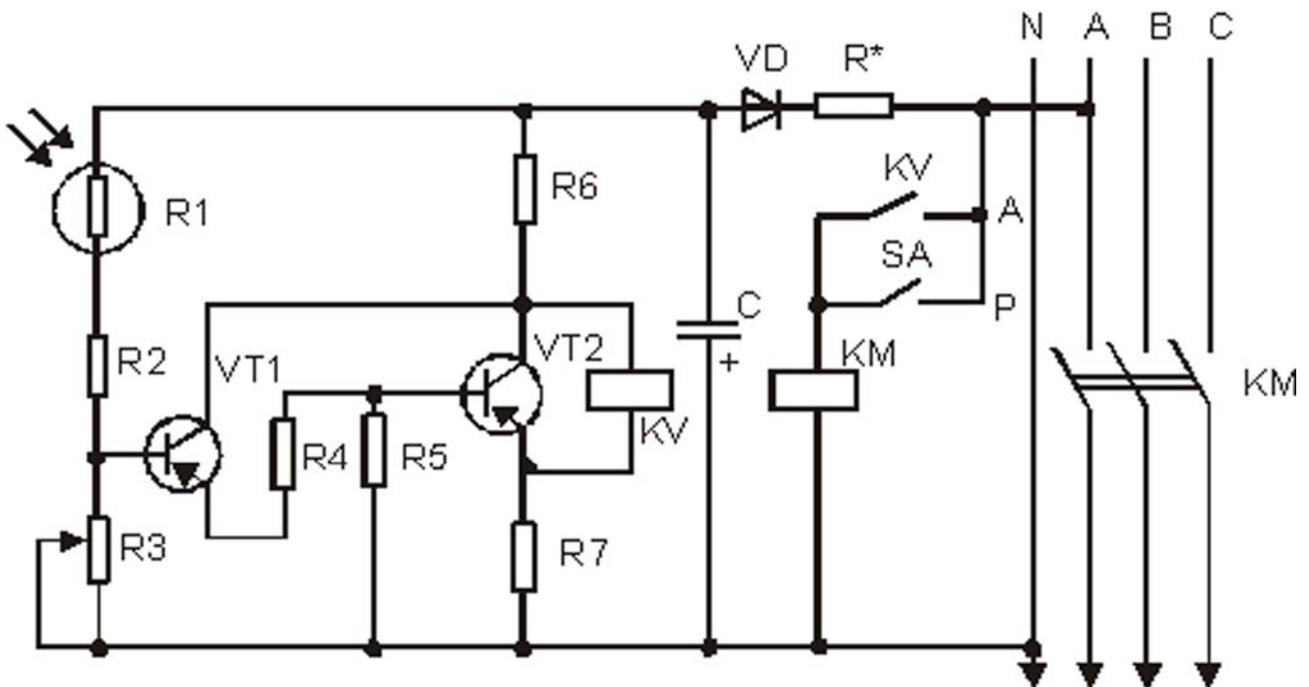


Рис. 8.2. Схема электрическая принципиальная фотореле ФР-2

При увеличении освещенности сопротивление фоторезистора  $R_1$  уменьшается, возрастает ток делителя напряжения, возрастают падение напряжения на резисторе  $R_3$  и ток базы транзистора  $VT_1$ , увеличивается ток эмиттера  $VT_1$ , возрастает потенциал на базе транзистора  $VT_2$  из-за увеличения падения напряжения на резисторе  $R_5$ , и он, открываясь, шунтирует катушку реле  $KV$ . Ток через катушку снижается, и он разрывает цепь катушки магнитного пускателя  $KM$ , который, в свою очередь, выключает освещение улицы.

Другой способ регулирования освещенности состоит в ступенчатом или плавном изменении светового потока светильников путем изменения напряжения питания источников света.

Регулирование напряжения можно осуществлять путем включения в цепь светильников постоянного резистора при помощи автотрансформаторов, магнитных усилителей или управляемых резисторов. Основными недостатками этих способов являются существенные потери энергии, тепловыделения у резисторов и реостатов, большие металлоемкости и массы.

Полупроводниковые приборы свободны от этих недостатков. Полупроводниковые тиристоры и симисторы позволяют регулировать действующие значения выходного напряжения длительностью включенного состояния тиристорного ключа  $VS$  в каждом полупериоде напряжения сети (рис. 8.3).

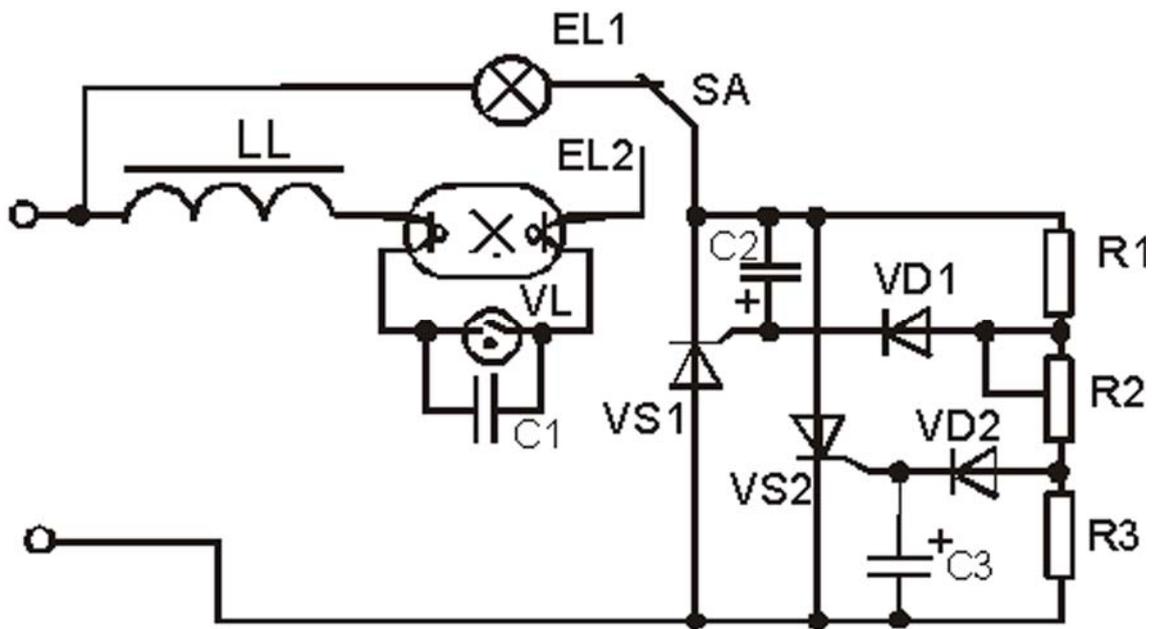


Рис. 8.3. Схема электрическая принципиальная фазоимпульсного регулирования

При фазоимпульсном управлении тиристорами на их управляющий электрод в определенный момент времени подается импульс напряжения, после чего он открывается и остается открытым до конца полупериода (рис. 8.4).

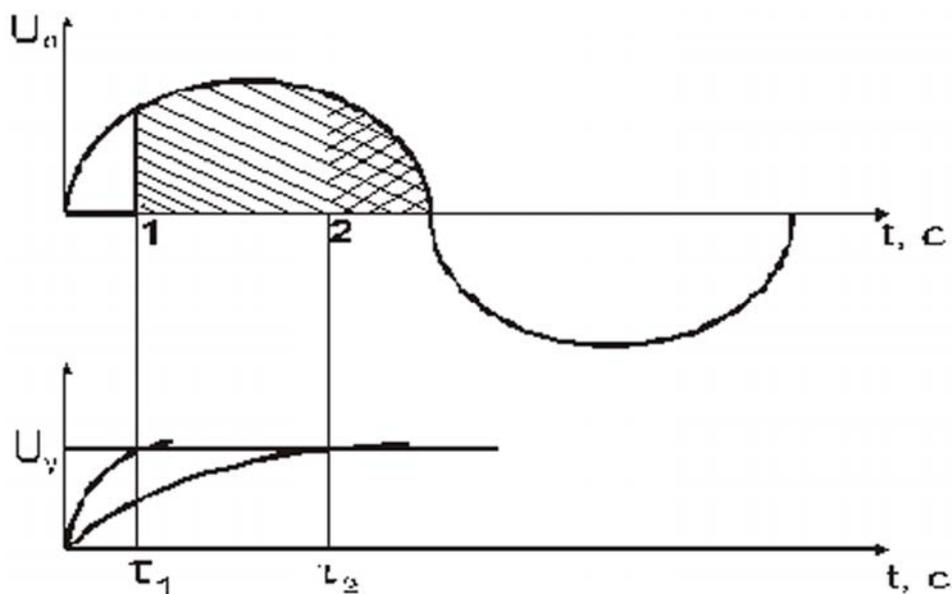


Рис. 8.4. Регулирование напряжения с фазоимпульсным методом управления

В схеме регулирования времени открывания тиристоров (см. рис. 8.3) осуществляется путем изменения постоянной времени  $\tau = RC$ . Например, в первый полупериод, когда положительный потенциал находится на лампе, электрический ток определяется делителем напряжения R1 – R2 – R3, и происходит зарядка конденсатора C3 по цепи лампа – R1 – R2 – VD2 – C3. Когда напряжение на конденсаторе (например, в момент времени  $t_1$ ) достигнет

$U_y$  — напряжения открывания тиристора VS2, он откроется, и по лампе пойдет ток с этого момента и до конца полупериода. При увеличении сопротивления R2 увеличивается время зарядки конденсатора C3 до напряжения открывания, и тиристор VS2 открывается позже, тем самым снижается среднее значение напряжения на лампе.

В следующем полупериоде он остается закрытым, а симистор может быть открыт очередным импульсом управления.

При тиристорном регулировании форма выходного напряжения искажается, в ней, наряду с основной гармоникой, появляются высшие гармонические составляющие, увеличиваются пульсации светового потока ламп и радиопомехи, для борьбы с которыми следует применять соответствующие фильтры.

Работа газоразрядных ламп при питании их током повышенной частоты существенно отличается от работы лампы при частоте 50 Гц.

С ростом частоты абсолютные значения тока и напряжения горения лампы при одинаковом напряжении питающей сети перестают зависеть от вида балластного сопротивления, постепенно приближаются к одинаковому значению и, начиная с частоты 0,8-1 кГц, имеют одинаковую форму напряжения — близкую к треугольной, а ток — синусоидальную как при активном, так и при индуктивном и емкостном балластах.

Светоотдача с ростом частоты до 20 кГц возрастает на 20-35% по сравнению с частотой 50 Гц, пульсации светового потока пренебрежимо малы из-за исчезновения деионизации; потери мощности в ПРА в 3-4 раза меньше; срок службы лампы возрастает до 30%; снижается масса ПРА.

Простейшая схема преобразователя частоты с использованием усилителя мощности представлена на рисунке 8.5.

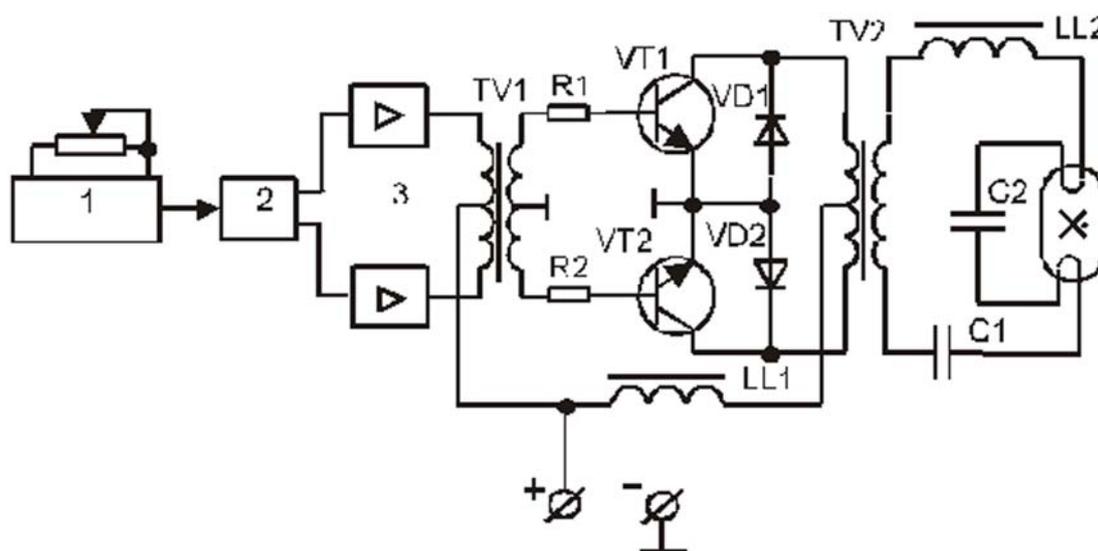


Рис. 8.5. Схема преобразователя частоты:  
1 — задающий генератор; 2 — триггер;  
3 — усилители

Усилитель управляется от задающего генератора. Сигналы с выхода генератора инвертируются с помощью триггера и подаются на усилители. Усиленный сигнал в противофазе поступает на согласующий трансформатор TV1.

Транзисторы усилителя мощности VT1 и VT2 работают поочередно. В течение первого полупериода под действием управляющего напряжения один из транзисторов, например VT1, открыт и находится в насыщении, а транзистор VT2 закрыт и находится в режиме отсечки. Во второй полупериод транзисторы переключаются. Таким образом, электрический ток транзисторов поочередно проходит по той или иной половине первичной обмотки трансформатора TV2. Во вторичной обмотке наводится ЭДС прямоугольной формы.

Применение таких преобразователей целесообразно, если требуется обеспечить постоянство частоты и напряжения на выходе, а также неизменной формы кривой переменного напряжения при изменении нагрузки преобразователя.

### *Методика выполнения работы*

1. Снять крышку блока управления ПРУС-1, по методическим указаниям изучить устройство и принцип действия прибора.

2. Проверить правильность регулировки рычагов микровыключателей. Для этого повернуть барабан по часовой стрелке, микровыключатели должны надежно включаться. Регулирующими гайками установить рычаги микровыключателей на различное время срабатывания.

3. Установить время суток по часовой и минутной шкалам и требуемую продолжительность светового дня.

4. Включить часовой механизм, освободив стопор анкерного механизма и закрыть крышку блока управления.

5. Включить питание ПРУС-1 кнопкой SB2 в трехфазной схеме включения, опробовать работу прибора в ручном и автоматическом режимах.

6. Определить интервал времени между срабатываниями микровыключателей. При срабатывании микровыключателей загораются группы ламп.

7. Изучить устройство и принципиальную схему фотореле ФР-2.

8. Установить переключатели SA1 и SA2 на стенде в положение 1 (рис. 8.6), включить однофазную схему включения с помощью SB1 и опробовать работу фотореле ФР-2.

9. Произвести имитацию сумерек путем закрытия фоторезистора.

10. Изучить схему фазоимпульсного регулирования напряжения с помощью тиристора (см. рис. 8.3.).

11. Установить переключатели SA1 и SA2 в положение 2 и опробовать с помощью резистора R2 схему фазоимпульсного регулирования напряжения.

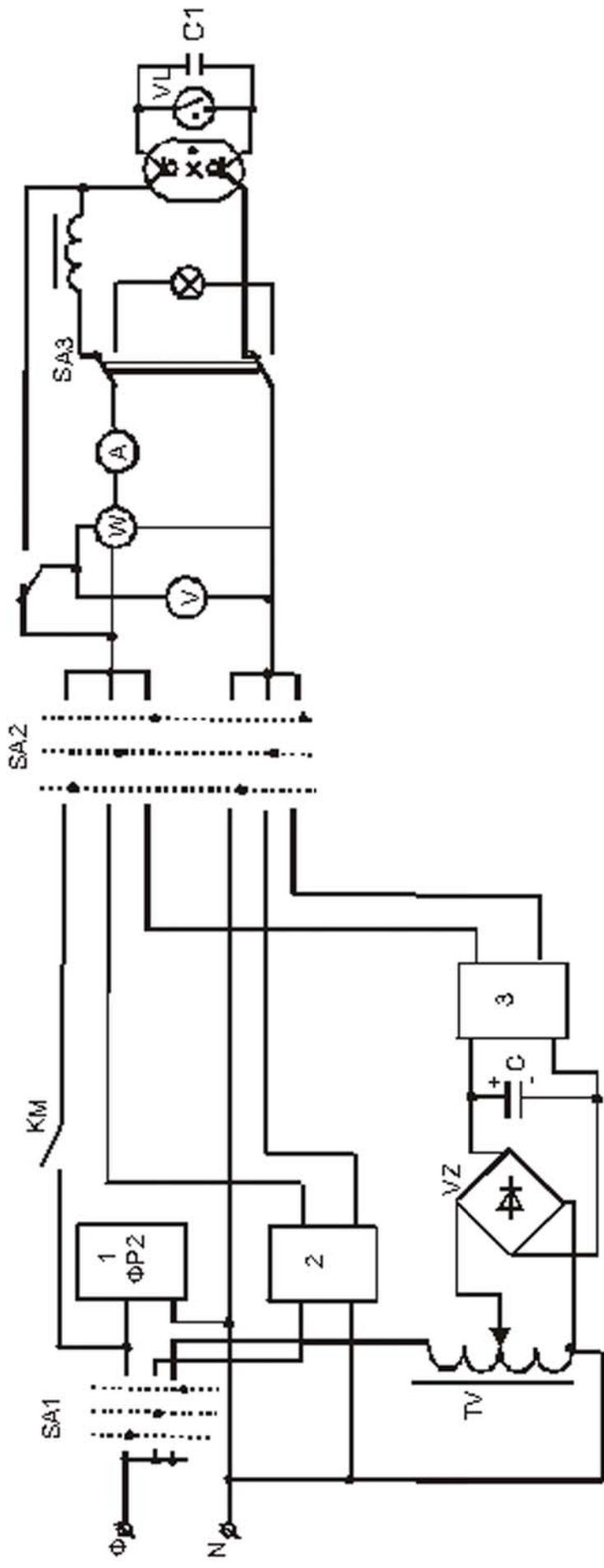


Рис. 8.6. Блок-схема стенда

12. Снять показания амперметра, вольтметра и люксметра при 3-4-х значениях напряжения и занести их в таблицу 8.1.

Таблица 8.1. Результаты измерений

Тип лампы	$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	$\Phi_C$ , лм	$K_{Л}$ , %	Примечание
Лампа накаливания	100					
	150					
	200					
	220					
Люминесцентная лампа	100					
	150					
	200					
	220					

13. Измерить коэффициент пульсации с помощью осциллографа для лампы накаливания и люминесцентной лампы при указанных напряжениях и сделать их сравнение.

14. Установить переключатели SA1 и SA2 в положение 3, а переключатель SA3 в положение люминесцентной лампы, вынуть стартер из схемы стенда и опробовать частотный преобразователь. Убедиться, что люминесцентная лампа зажигается без участия стартера.

Изменяя частоту генератора, необходимо следить за тем, чтобы напряжение на лампе не превышало номинальных значений

15. При изменении частоты убедитесь, что с увеличением частоты преобразователя растет и световой поток.

16. Измерить коэффициент пульсации с помощью осциллографа для люминесцентной лампы при различных частотах и сделать их сравнение.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Паспортные данные используемого оборудования и измерительных приборов (табл. 8.2, 8.3).

Таблица 8.2. Характеристика приборов, используемых в работе

Наименование прибора	Тип	Пределы измерения	Род тока	Класс точности	Примечание

Таблица 8.2. Характеристика электрооборудования

Наименование, тип	Номинальные величины			Примечание
	мощность $P_n$ , Вт	напряжение $U_n$ , В	ток $I_n$ , А	

3. Схема лабораторного стенда.
4. Принципиальная электрическая схема управления ПРУС-1, фотореле ФР-2 фазоимпульсного регулирования и преобразователя частоты.
5. Анализ преимуществ и недостатков приборов и схем управления осветительными установками.

*Контрольные вопросы*

1. Действие видимого излучения на животных и птиц.
2. Требования к приборам и схемам управления освещением в птицеводстве.
3. Устройство и принцип действия ПРУС-1.
4. Электрическая схема ПРУС-1.
5. Электрическая схема фотореле ФР-2.
6. Принцип фазоимпульсного регулирования. Преимущества и недостатки.
7. Почему с увеличением частоты сети возрастает напряжение на лампе?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жилинский Ю.М., Кумин В.Д. Электрическое освещение и облучение. — М. : Колос, 1982. — 272 с.
2. Козинский В.А. Электрическое освещение и облучение. — М. : Агропромиздат, 1991. — 239 с.
3. Лямцов А.К., Тищенко Г.А. Электроосветительные и облучательные установки. — М. : Колос, 1983. — 224 с.
4. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. — М. : Энергоатомиздат, 1995. — 528 с.
5. Гуторов М.М. Основы светотехники и источники света. — М. : Энергия, 1968. — 392 с.
6. Световые приборы с лампами накаливания : методические указания для студентов 3-4 курса факультета электрификации и автоматизации сельского хозяйства / В.Г. Быков, Н.И. Грибанова, В.А. Захаров. — Челябинск, 1982. — 47 с.
7. Левин В.Л. Экономные технологии и технические средства управления освещением птичников // Светотехника. — М., 1986. № 6. — С. 4-6.
8. Охонская Е.В. Эффективность люминесцентных ламп при высокочастотном питании // Светотехника. — М., 1987. — № 2. — С. 10-12.

Основные параметры ламп накаливания

Тип лампы	Расчетное напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Средняя температура нити, К	Условная площадь, см <sup>2</sup>
Б220-230-40 БК220-230-40	225	40	415 460	2630 2680	0,368 0,367
Б230-240-40 БК230-240-40	235	40	410 415	2620 2670	0,420 0,390
Б220-230-60 БК220-230-60	225	60	715 790	2630 2700	0,565 0,540
Б230-240-60 БК230-240-60	235	60	705 775	2610 2700	0,580 0,540
Б220-230-75	225	75	950	2630	0,720
Б230-240-75	235	75	935	2630	0,720
Б215-225-100 БК215-225-100	220	100	1350 1450	2680 2710	0,895 0,900
Б220-230-100 БК220-230-100	225	100	1350 1450	2650 2680	0,950 0,935
Б230-240-100 БК230-240-100	235	100	1335 1440	2630 2700	0,980 0,916
Б235-245-100	240	100	1330	2625	0,985
Г215-225-150	220	150	2090	2730	1,190
Г220-230-150	225	150	2090	2730	1,190
Г230-240-150	235	150	2065	2720	1,200
Г235-245-150	240	150	2060	2715	1,210
Б215-225-200 Г215-225-200	220	200	2920 2920	2730 2730	1,640 1,580
Г220-230-200	225	200	2920	2730	1,640
Г230-240-200	235	200	2890	2730	1,640
Г215-225-300	220	300	4610	2740	2,690
Г225-235-300	230	300	4600	2730	2,710

Для заметок

*Учебно-практическое издание*

**Светотехника и электротехнология** : сборник лабораторных работ для студентов направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнологии» очной и заочной форм обучения / сост. Н.А. Фалилеев, И.В. Бушуев. — 2-е изд., стереотип. — Караваево : Костромская ГСХА, 2015. — 78 с.

Гл. редактор Н.В. Киселева  
Редактор выпуска Т.В. Тарбеева

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Костромская государственная сельскохозяйственная академия" 156530, Костромская обл., Костромской район, пос. Караваево, уч. городок, д. 34, КГСХА

Компьютерный набор. Подписано в печать 15/05/2015.  
Заказ №260. Формат 84х60/16. Тираж 100 экз. Усл.  
печ. л. 4,8. Бумага офсетная. Отпечатано 07/07/2015.  
Цена 47,00 руб.

Отпечатано с готовых оригинал-макетов в академической типографии на цифровом дубликаторе.  
Качество соответствует предоставленным оригиналам.  
вид издания: стереотипное (редакция от 27.04.2015 № 219)

Цена 47,00 руб.



2015 \* 260