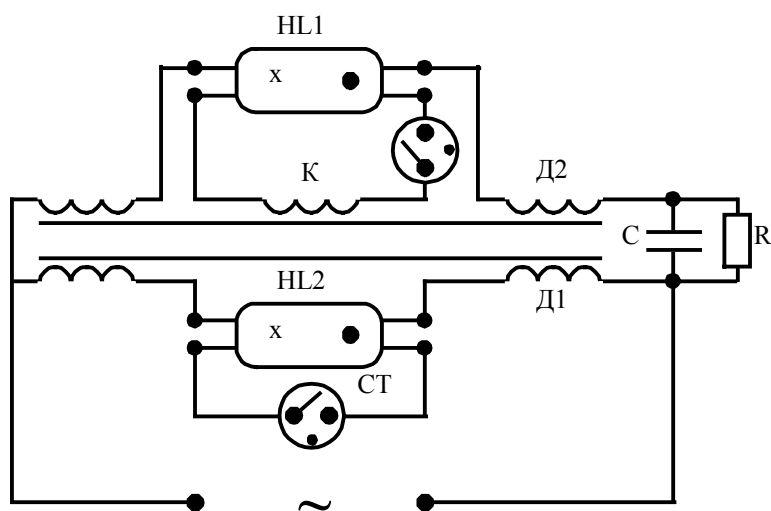


# ДЛЯ ЗАОЧНОГО ОБУЧЕНИЯ

Владимирский государственный университет

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Методические указания  
к расчетно-лабораторным работам



Владимир 2002

Министерство образования Российской Федерации  
Владимирский государственный университет  
Кафедра электротехники и электроэнергетики

# ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Методические указания к расчётно-  
лабораторным работам

Составители:

Г.П. КОЛЕСНИК  
О.Д. БУХАРОВА

Владимир 2002

УДК 504.75

Рецензент

Кандидат физико-математических наук доцент кафедры  
общей физики Владимирского государственного университета

*А.Б. Евлюхин*

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Владимирского государственного университета

**Электрическое** освещение: Метод. указания к расчётно-лабораторным работам / Сост.: Г.П. Колесник, О.Д. Бухарова; Владим. гос. ун-т. Владимир, 2002. 36 с.

Содержат три расчётно-лабораторных работы по изучению источников света, используемых для освещения внутренних помещений и территорий промышленных предприятий. Разработаны в соответствии с Государственным образовательным стандартом

Предназначены для студентов заочной формы обучения специальности 100400 «Электроснабжение» и могут быть полезны студентам других инженерных специальностей при изучении вопросов искусственного освещения.

Табл. 10: Ил. 11: Библиогр.: 8 назв.

УДК 504.75



## **ОРГАНИЗАЦИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Составной частью изучения курса «Электрическое освещение» являются расчетно-лабораторные занятия, которые помогут лучше усвоить теоретический курс и приобрести необходимые экспериментальные навыки и умения вести инженерные расчеты.

Настоящие методические указания построены в соответствии с Государственным образовательным стандартом направления «Электроэнергетика», утверждённым Министерством образования Российской Федерации в 2000 г.

Методика проведения расчётно-лабораторных работ связана с наличием оборудования, количеством студентов, одновременно проходящих лабораторный практикум, и организацией технического обслуживания рабочих мест в лаборатории. Оптимальный результат в обучении достигается при выполнении расчетно-лабораторных работ бригадами не более 2 – 3 человек.

Перед началом занятий студенты обязаны изучить правила для работающих в лаборатории, уделив особое внимание вопросам техники безопасности.

Студенты согласно имеющемуся у них плану проведения расчетно-лабораторных работ должны готовиться к предстоящему занятию в лаборатории. В подготовку входит изучение соответствующих разделов теоретического курса по учебной литературе и лекционным записям.

Студент должен до начала расчётно-лабораторной работы выполнить предварительное задание, пройти допуск путём собеседования для выяснения степени подготовленности к лабораторным работам. Студенты, явившиеся на занятия неподготовленными, к выполнению работ не допускаются, но обязаны присутствовать в лаборатории и продолжить подготовку под наблюдением преподавателя.

Выполнение расчётно-лабораторной работы начинается с ознакомления со стендом, приборами и оборудованием, записи в бланк отчета их технических характеристик. Приступая к сборке электрической цепи, пользуясь её электрической схемой, следует начинать соединять элементы

электрической цепи с источника энергии. В процессе выполнения сборки цепи должны принимать участие все члены бригады. Преподаватель следит за работой студентов, даёт им необходимые разъяснения и указания по выполнению данного этапа работы.

Экспериментальную часть расчетно-лабораторных работ студенты выполняют самостоятельно в соответствии с рабочим заданием под руководством и контролем преподавателя с соблюдением техники безопасности. Студентам необходимо знать важные правила: при работе со стендом в лаборатории должно быть не менее двух человек, нельзя касаться руками корпусов двух приборов одновременно. Последнее правило вызвано следующим обстоятельством: если в одном приборе произойдёт пробой сетевой обмотки силового трансформатора или нарушится изоляция сетевого шнура, то корпус этого прибора приобретает потенциал сети и человек, прикоснувшийся к корпусам двух приборов, оказывается под полным напряжением сети, что может вызвать поражение электрическим током. Студентам следует знать механизм попадания сетевого напряжения на корпус прибора и чрезвычайную опасность этого для здоровья.

Студенты должны знать, что в случае обнаружения возгорания, характерного запаха подгоревшей изоляции и других неисправностей следует немедленно сообщить об этом преподавателю или лаборанту и отключить питание сети. Несоблюдение правил эксплуатации аппаратуры иногда не вызывает травм, но ведет к порче приборов и оборудования. Например, не следует замыкать источники энергии накоротко, дергать за соединительные провода и т.д.

**ВНИМАНИЕ!** Включать установку, находящуюся под напряжением, имеет право только один студент, о чем он должен предупредить всех членов своей бригады.

В каждой работе исследуются наиболее важные принципиальные вопросы соответствующего раздела курса, и почти в каждой работе имеются пункты задания, направленные на повышение развития творческих возможностей студентов. Подготовка к выполнению расчётно-лабораторной работы должна начинаться заблаговременно, лучше за неделю до выполнения работы, с тем, чтобы имелась возможность производить подготовку не торопясь, а глубоко, основательно разбираясь в теоретической части материала. Изучив по учебнику раздел, указанный в работе, следует внимательно прочитать описание данной расчетно-лабораторной работы. При этом выясняются различные подробности, особенности конструкции при-

боров, уточняется задание и т.д. Затем необходимо заготовить таблицы и приступить к выполнению предварительного расчёта. Важной частью подготовки являются ответы на вопросы для самостоятельной проверки знаний. Только после того как получены уверенные ответы на все вопросы, предварительную подготовку к работе можно считать законченной. К выполнению работы студент может быть допущен либо непосредственно преподавателем, либо с помощью контролирующих устройств, применяемых в данной лаборатории.

Преподаватель может для студентов отдельных специальностей сократить объём расчётно-лабораторной работы.

В процессе проведения эксперимента перед записью результатов опытов рекомендуется вначале проделать все операции без записи в бланк, обращая внимание на пределы измерения соответствующих величин, а затем повторить опыт с записью этих величин. Результаты измерений, полученные при выполнении опытов, студенты заносят в бланк в заранее подготовленные таблицы и предъявляют преподавателю для просмотра до разборки электрической цепи. Если результаты опытов неудовлетворительны, их необходимо повторить.

Результаты опытов подписываются преподавателем, и этот бланк предъявляется вместе с отчетом при защите расчётно-лабораторной работы. В случае прекращения подачи электрической энергии и в других аварийных ситуациях студенты обязаны исследуемую цепь немедленно отключить от питающей сети и сообщить об этом преподавателю.

Отчет о расчётно-лабораторной работе выполняется каждым студентом в отдельности. Форма отчёта должна соответствовать стандарту предприятия СТП 71.4-84 «Общие положения, структура, требования и правила оформления отчётов о лабораторных работах».

Отчёт составляется чётко, чтобы каждый знакомящийся с ним мог представить себе цель работы, тип экспериментальной установки, методику измерения и расчёт величин, порядок выполнения работы и окончательные результаты экспериментов в виде обозначенных таблиц и графиков.

Отчёт должен содержать:

- титульный лист;
- название работы (номер расчётно-лабораторной работы);
- введение;

- предварительное задание;
- рабочее задание;
- схему опыта;
- спецификацию приборов, используемых при проведении опытов;

Прибор	Тип прибора	Заводской номер	Система прибора	Класс точности	Предел измерения	Цена деления

- основные теоретические зависимости, используемые при расчётах (расчетные формулы с числовыми примерами хотя бы для одной точки);
- таблицы результатов измерений;
- анализ полученных результатов и заключение о работе.

Особое внимание студенты обязаны уделить составлению заключения по результатам выполненной расчётно-лабораторной работы, где они должны сопоставить результаты экспериментальных исследований с известными им закономерностями из теоретического курса и указать причины наблюдаемых отклонений. При испытании электрических цепей необходимо сделать выводы о наиболее экономичных режимах их работы.

При составлении отчёта в электрических схемах следует применять условные обозначения, утверждённые государственными стандартами:

- ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам».
- ГОСТ 2.702-75 «Правила выполнения электрических схем».
- ГОСТ 2.747-68 «Условные графические изображения».
- СТ СЭВ 1052-78 «Единицы физических величин».
- ГОСТ 1494-77 «Буквенные обозначения электрических и магнитных величин».
- ГОСТ 19880-74 «Основные понятия, термины и определения».

Изучение и соблюдение ГОСТов обязательно как при выполнении курсовых и дипломных проектов, так и для всей будущей инженерной деятельности.



# Расчетно-лабораторная работа № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ (ДНАТ)

**Цель работы.** Исследование электрических и световых параметров натриевых ламп высокого давления (ДНАТ).

В результате проведения работы необходимо освоить основные схемы включения ламп (ДНАТ), её электрические и световые характеристики, а также методы их измерения и расчёта, научиться рассчитывать освещённость рабочего места и измерять ее специализированными приборами.

### 1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служит натриевая лампа высокого давления ДНАТ-400 по ТУ16-90 с пускорегулирующим аппаратом типа 1И400ДНАТ52-006.УХЛ1, расположенная в лабораторном стенде ЛСОЭ-5.

Типовые параметры источника света (лампы) типа ДНАТ-400 ОАО «ЛИСМА» и типа SON-T фирмы «PHILIPS» приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Производитель	Цоколь	Средний световой поток, лм	Средняя яркость, кд/см <sup>2</sup>	Средний ток лампы, А	Среднее напряжение на лампе, В	Максимальный пусковой ток, А	Световая отдача, лм/Вт	Средний срок службы, ч	Спектральное распределение энергии, нм	Мощность, Вт
Фирма «PHILIPS»	E40	48000	24,0	4,3	100	6,5	120	≤15000	530 – 700	400
ОАО «ЛИСМА»	E40	47500	24,0	4,3	100	6,5	118	≤12000	–	400

Лампы ДНАТ относятся к газоразрядным источникам излучения (ГИИ), в которых излучение оптического диапазона возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов, паров металла или их смесей. ГИИ характеризуется более высокой световой отдачей и средней продолжительностью горения по сравнению с обычными лампами накаливания (табл. 1.2).

Большинство газоразрядных ламп имеют падающую вольт-амперную характеристику (ВАХ) (рис. 1.1,а), и для стабилизации тока таких ламп не-

обходимо последовательно с ними включать балластное устройство (индуктивность, емкость, активное сопротивление) (рис. 1.1,б).

Таблица 1.2

Источник света	Световая отдача, лм/Вт	Средний срок службы $t_{ср}$ , ч
Лампы накаливания		
– общего применения	7 – 20	1000
– кварцевые, галогенные	26 – 28	220 – 450
Газоразрядные источники излучения		
– натриевые лампы высокого давления	117 – 120	$\leq 20000$
– люминесцентные лампы	33 – 78	12000
– металлогалогенные дуговые	76 – 96	1500 – 1600

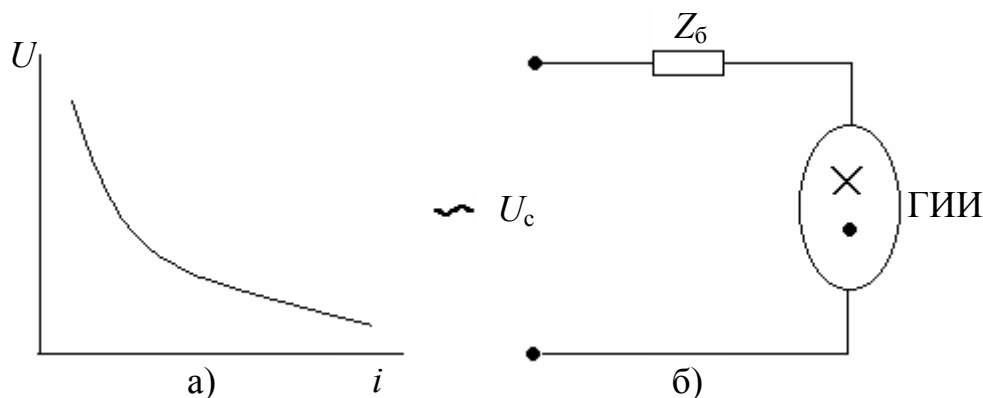


Рис. 1.1. Схема стабилизации тока ГИИ:  
 а – ВАХ лампы ГИИ; б – схема включения ГИИ в сеть;  
 $U_c$  – напряжение сети;  $Z_b$  – балластное устройство

Напряжение зажигания у ГИИ обычно значительно превышает рабочее напряжение лампы, а часто и напряжение сети, поэтому для их включения используют сложные и громоздкие пускорегулирующие аппараты (ПРА). Период разгорания ГИИ составляет 10 – 15 мин.

Натриевая лампа высокого давления (ДНаТ) состоит из разрядной трубки (горелки), внешней колбы и цоколя. Устройство горелки лампы ДНаТ показано на рис. 1.2.

Горелка ДНаТ выполняется из поликристаллической окиси алюминия, на которую пары натрия не оказывают вредного влияния. Амальгама натрия находится внутри горелки, а не во внешней колбе, поэтому её температура не зависит от окружающей, что позволяет включать лампу в любом положении с любым типом светильника. Типовая схема включения лампы

ДНаТ с симметричным дросселем и устройством для зажигания показана на рис. 1.3.

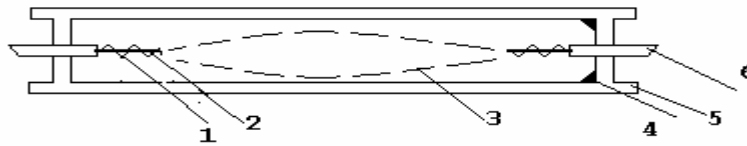


Рис. 1.2. Устройство горелки ДНаТ:

1 – вольфрамовая навивка; 2 – вольфрамовый стержень;  
3 – разряд; 4 – амальгама натрия; 5 – разрядная трубка из ПКА; 6 – ниобиевый токоввод

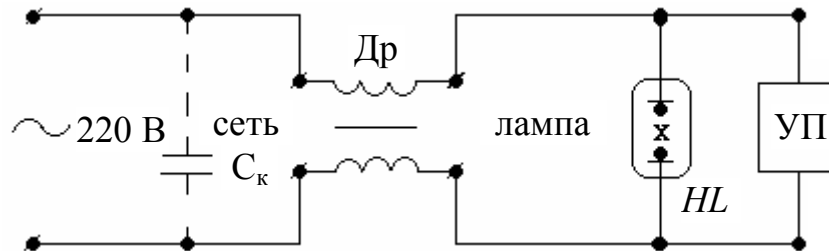


Рис. 1.3. Типовая схема включения лампы ДНаТ:

Др – дроссель;  $C_k$  – конденсатор; УП – устройство поджига;  
HL – лампа ДНаТ

Пускорегулирующие аппараты и устройства поджига расположены в лабораторном столе стенда ЛСОЭ-5, а их выводы присоединены к зажимам сменной панели № 4, на которой имеются их схематические изображения и краткие характеристики. На этой же панели расположены выводы ламп ДРИ, ДНаТ и ДРЛ, для которых студенты должны подобрать соответствующий ПРА. Полуобмотки дросселя включаются в нулевой и фазный провода сетевого электропитания. Параметры дросселя:

- рабочее напряжение 220 В;
- рабочий ток 4,6 А;
- максимальная активная мощность нагрузки 400 Вт;
- коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,55$ ;
- потери мощности  $\leq 35$  Вт.

Устройство для зажигания УП типа ПУСК-220-УХЛ1, рассчитанное на напряжение 220 В промышленной частоты, подключается параллельно

лампе и предназначено для формирования импульсов напряжения амплитудой  $\geq 2500$  В в момент включения напряжения питающей сети. Типовая электрическая схема устройства показана на рис. 1.4.

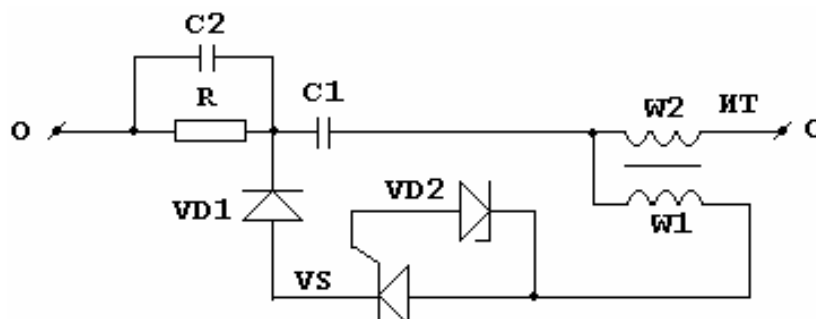


Рис. 1.4. Электрическая схема импульсного зажигающего устройства параллельного типа: C1, C2 – конденсаторы; W1, W2 – обмотки; VS – тиристор; VD1 – защитный диод; VD2 – стабилитрон; ИТ – импульсный трансформатор; R – разрядное сопротивление

Устройство импульсное зажигающее является генератором параллельного поджига с ёмкостным накопителем и полупроводниковым ключом. При включении напряжения питания заряжается конденсатор C1 через цепочку R – C2 и вторичную обмотку W2 импульсного трансформатора. Когда напряжение на C1 достигает уровня стабилизации стабилитрона VD2, тиристор открывается и конденсатор C1 разряжается на первичную обмотку через тиристор и защитный (обратный) диод VD1. Во вторичной обмотке появляются импульсы напряжения (амплитуда, длительность и число которых зависят от номинальных значений R, C2 и числа витков W2), обеспечивающие зажигание лампы. Напряжение отключения устройства поджига ПУСК-220-УХЛ1 равно  $180 \pm 10$  % В.

Измерение световых параметров источников света производится при помощи специализированных приборов-люксметров, в паспорте которых указаны области применения конкретного прибора.

При выполнении работы следует руководствоваться инструкциями по охране труда № 1 и № 42 и Правилами устройства электроустановок.

#### *Измеритель освещённости (люксметр) и методика измерений*

Освещённость, создаваемая лампой ДНаТ, измеряется люксметром типа Ю116. При этом светоприёмник люксметра располагается произвольно относительно источника света.

Светоприёмник люксметра – это селеновый фотоэлемент площадью около 30 см<sup>2</sup>, при освещении которого в цепи, состоящей из фотоэлемента и магнитоэлектрического измерителя, вследствие фотоэлектрического явления возникает ток, обуславливающий отклонение подвижной части измерителя и, следовательно, стрелки прибора.

Диапазон измерений и общий номинальный коэффициент ослабления двух применяемых насадок (коэффициент пересчёта шкалы) приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Диапазон измерений, лк	Условные обозначения одновременно применяемых двух насадок на фотоэлементе	Коэффициент пересчёта шкалы
5 – 30 17 – 100	Без насадок, с открытым фотоэлементом	1
50 – 300 170 – 1000	<i>K, M</i>	10
500 – 3000 1700 – 10000	<i>K, P</i>	100
5000 – 30000 17000 – 100000	<i>K, T</i>	1000

Шкалы прибора неравномерные, градуированы в люксах; одна шкала имеет 100 делений, вторая – 30 делений. Начальные значения диапазонов измерений на каждой шкале отмечены точкой (точки над цифрами 17 и 5 соответственно).

Пределы допускаемой основной погрешности люксметра Ю116 в диапазонах измерений без насадок соответствуют  $\pm 10\%$  от измеряемой величины.

Увеличение основной погрешности при переходе на диапазон с насадками не превышает 5 % от измеряемой величины.

Время успокоения подвижной части измерителя  $\leq 4$  с.

Изменения показаний люксметра, вызванные отклонением температуры от + 20°С до любой температуры в диапазоне от –10 °С до +35 °С, не превышает  $\pm 10\%$  от измеряемой величины на каждые 10 °С.

Пределы допускаемой косинусной погрешности люксметра соответствуют величинам, указанным в табл. 1.4.

Люксметр Ю116 состоит из измерителя и отдельного фотоэлемента с насадками. На передней панели измерителя имеются кнопки переключения диапазонов и табличка со схемой, связывающей действие кнопок и исполь-

зуемых насадок с диапазонами измерений. На боковой стенке корпуса измерителя расположен разъём для присоединения селенового фотоэлемента.

Таблица 1.4

Угол падения света, град.	Предел допускаемой косинусной погрешности, % от измеряемой величины	
	С насадками	Без насадок
60	$\pm 7$	10
80	$\pm 15$	не нормируется

Селеновый фотоэлемент находится в пластмассовом корпусе и присоединяется к измерителю шнуром с розеткой, обеспечивающей правильную полярность соединения.

Для уменьшения косинусной погрешности применяется насадка на фотоэлемент в виде полусферы из белой светорассеивающей пластмассы. Насадка обозначена буквой *K* на внутренней стороне и применяется совместно с одной из трёх других насадок, имеющих обозначение *M*, *P*, *T*, что позволяет получить три поглотителя с коэффициентом ослабления 10,100,1000 для расширения диапазона измерений.

Принцип отсчёта значения измеряемой освещённости состоит в выборе нужного диапазона измерений с учётом коэффициента пересчёта шкалы. При этом при нажатой правой кнопке следует пользоваться для отсчёта показаний шкалой 0 – 100, а при нажатой левой кнопке – шкалой 0 – 30. Показания прибора в делениях по соответствующей шкале умножают на коэффициент пересчёта шкалы, указанный в табл. 1.3, в зависимости от применяемых насадок. Например, на фотоэлементе установлены насадки *K*, *P* (коэффициент пересчёта шкалы равен 100), нажата левая кнопка, стрелка показывает 10 делений по шкале 0 – 30, измеряемая освещённость равна  $10 \cdot 100 = 1000$  лк.

С целью ускорения поиска диапазона измерений, который соответствует показаниям прибора в пределах 17 – 100 делений по шкале 0 – 100 и 5 – 30 делений по шкале 0 – 30, поступайте следующим образом: сначала установите насадки *K,T*, затем *K,P*; *K,M* и при каждой насадке сначала нажимайте правую кнопку, а затем левую.

Если при насадках *K,M* и нажатой левой кнопке стрелка не доходит до 5 делений по шкале 0 – 30, измерения проводите без насадок, т.е. открытым фотоэлементом.

Как правило, при определении освещённости фотоэлемент устанавливается горизонтально на рабочих местах, а отсчет по измерителю, также расположенному горизонтально, производится на некотором расстоянии от фотоэлемента, чтобы тень от проводящего измерения не попадала на фотоэлемент.

По окончании измерения фотоэлемент отсоединяется от измерителя люксметра, закрывается насадкой *T* и укладывается в крышку футляра.

## 2. Подготовка к работе

2.1. Составить принципиальную электрическую схему для исследования электрических и световых параметров натриевой лампы высокого давления ДНаТ-400, предусмотрев включение, кроме элементов схемы на рис. 1.3, измерительных приборов: вольтметра, амперметра, ваттметра и компенсирующего конденсатора. Тип измерительных приборов и основные характеристики указаны в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Прибор	Система	Пределы измерения	Класс точности	Примечания
Ваттметр		0 – 3000 Вт	0,5	
Вольтметр		0 – 250 В	1,5	
Амперметр		0 – 5 А (с шунтом умножается на 2)	1,5	С шунтом (провод МГШВ-0,75 длиной 0,5 м)
Люксметр Ю116		30 – 10 лк	10	
Осциллограф С1-93		0 – 100 МГц	–	
Вольтметр В3-57		1·10 – 20 В	0,5	

2.2. Обосновать необходимость компенсации реактивной мощности комплекта ГИИ + электромагнитный ПРА.

2.3. Обосновать необходимость стабилизации тока ГИИ.

2.4. Оформить бланк отчета по лабораторной работе с необходимыми электрическими схемами, таблицами и расчетными формулами.

### **3. Рабочее задание**

#### **3.1. Исследование параметров установки ДНаТ + ПРА без ёмкостной компенсации**

3.1.1. Собрать электрическую схему для исследования параметров лампы ДНаТ, разработанную в п. 2.1, и после её проверки преподавателем получить разрешение на проведение опыта.

3.1.2. Включить напряжение питания лампы автоматическим выключателем, который находится на левой боковой стенке стенда, и в течение 10 – 15 мин исследовать по приборам и визуально (через защитное стекло или тёмные очки) процесс зажигания лампы.

Снять зависимости пускового тока  $I_{\text{п}}(t)$ , пусковой мощности  $P_{\text{п}}(t)$ , освещённости  $E(t)$  от времени. Зарисовать осциллограммы напряжения на дросселе и лампе через каждые 2 мин. Оценить ориентировочно амплитуду и частоту колебаний пускового тока и пусковой мощности.

Данные опытов свести в таблицу.

3.1.3. В установившемся режиме работы лампы измерить электрические параметры (ток, напряжение, мощность) и определить характер изменения коэффициента мощности  $K_{\text{м}}$  лампы после 20, 40, 60 мин работы, при этом контролировать изменение освещённости в заданной точке.

Данные опытов представить в виде таблицы.

Не отключая питания лампы, перейти к опыту п. 3.2.

#### **3.2. Исследование параметров установки ДНаТ + ПРА с параллельной ёмкостной компенсацией**

3.2.1. Повторить опыт п. 3.1.3 после 60 мин работы лампы при подключении батареи компенсирующих конденсаторов в блоке № 3 стенда. Ёмкость батареи конденсаторов изменять дискретно от 6,5 до 76,2 мкФ. При этом значения ёмкости должны соответствовать ряду 6,5; 13,5; 21,5; 29,5; 45,5; 76,2 мкФ. После проведения опыта установку отключить при максимальной ёмкости конденсатора и охладить в течение 15 – 20 мин.

#### **3.3. Исследование пусковых характеристик установки ДНаТ + ПРА с параллельной ёмкостной компенсацией**

3.3.1. Через 15 – 20 мин после выполнения п. 3.2 включить установку ДНаТ + ПРА с компенсирующим конденсатором ёмкостью 76,2 мкФ и повторить опыты п. 3.1.2. Данные опытов представить в виде таблицы.

#### **3.4. Обработка результатов исследований**

3.4.1. По результатам опытов пп. 3.1, 3.2 и 3.3 рассчитать коэффициент использования напряжения питающей сети



$$K_m = \frac{U_{\text{л}}}{U},$$

где  $U_{\text{л}}$  и  $U$  – соответственно действующие значения напряжений на лампе и в сети.

3.4.2. По результатам опытов п. 3.1. определить коэффициенты неустойчивости тока, мощности и светового потока лампы ДНаТ по напряжению сети

$$\frac{I_{\text{л}}}{I_{\text{лн}}} = f_1\left(\frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{сн}}}\right); \quad \frac{P_{\text{л}}}{P_{\text{лн}}} = f_2\left(\frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{сн}}}\right); \quad \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi_{\text{лн}}} = f_3\left(\frac{U_{\text{с}}}{U_{\text{сн}}}\right),$$

где  $I_{\text{л}}$ ,  $P_{\text{л}}$ ,  $\Phi_{\text{л}}$ ,  $U_{\text{с}}$  – измеренные значения тока, мощности, потока лампы и напряжения сети соответственно;

$I_{\text{лн}}$ ,  $P_{\text{лн}}$ ,  $\Phi_{\text{лн}}$ ,  $U_{\text{сн}}$  – номинальные значения тока, мощности, потока лампы и напряжения сети соответственно.

3.4.3. По осциллограммам п. 3.1 определить гармонический состав напряжения и тока лампы, рассчитать активную мощность лампы и установки ДНаТ + ПРА и определить cosφ установки ДНаТ + ПРА.

3.4.4. В одних координатах (на одном рисунке) построить зависимости без ёмкостной компенсации (по результатам пп. 3.1.2 и 3.1.3):

$$I_{\text{п}} = f_1(t); \quad p_{\text{п}} = f_2(t); \quad E(t) = f_3(t); \quad K_m = f_4(t),$$

где  $I_{\text{п}}$  – действующее значение пускового тока;  $P_{\text{п}}$  – пусковая мощность;  $E$  – освещенность;  $K_m$  – коэффициент мощности лампы.

3.4.5. По результатам опытов п. 3.2.1 рассчитать и построить зависимость коэффициента мощности лампы  $K_m$  от значения компенсирующей ёмкости:

$$K_m = f_5(C_k).$$

3.4.6. На графике п. 3.4.4 нанести соответствующие графики по результатам опытов п. 3.3.1.

#### 4. Методические указания

4.1. Для расширения пределов измерения тока амперметром типа Э365-1 от 0 – 5 до 0 – 10 А рекомендуется шунт из провода МГШВ-0,75 длиной 0,5 метра, включённый непосредственно на зажимы амперметра на лабораторном стенде ЛСОЭ-5. При расширении предела до 0 – 15 А параллельно зажимам амперметра следует включать два провода МГШВ-0,75 длиной 0,5 метра. При этом показания прибора необходимо умножить соответственно на 2 и на 3.

4.2. При визуальном наблюдении формы кривых тока и напряжения в установке ДНаТ + ПРА использовать делитель напряжения 1:10. *Корпус осциллографа не соединять с корпусом стенда!*

4.3. При измерении освещённости фотоэлемент люксметра поместить в закрывающийся шкаф с лампами на расстоянии не менее 30 см от лампы.

## **5. Контрольные вопросы**

1. В чем эффективность и недостатки балластного устройства?
2. Почему нельзя быстро повторно зажечь лампу высокого давления?
3. Почему с увеличением давления расширяется спектр излучения натриевых ламп?
4. В чём отличие натриевых ламп низкого и высокого давления?
5. В чём отличие коэффициента мощности лампы от  $\cos\varphi$ ?
6. Почему процесс разгорания лампы ДНаТ длится несколько минут?
7. Как обеспечивается устойчивый режим работы лампы ДНаТ?
8. Как оценивается стабильность работы комплекта ПРА + ДНаТ и по каким параметрам?
9. В чём отличие статической и динамической вольт-амперных характеристик ДНаТ?
10. Почему в сетях переменного тока более целесообразно использовать реактивные пускорегулирующие аппараты (ПРА)?
11. В чём сущность электронного ПРА?
12. Каковы устройство и назначение электромагнитного ПРА?
13. Почему полуобмотки дросселя включаются в нулевой и фазный провода питающей сети?
14. Почему при наличии компенсирующей ёмкости ухудшается гармонический состав тока?
15. Как рассчитать компенсирующую ёмкость установки ПРА + ДНаТ?
16. Почему коэффициент мощности установки ПРА + ДНаТ с ёмкостной компенсацией всегда меньше единицы?
17. Можно ли к одному ПРА подключать несколько ламп ДНаТ (последовательно, параллельно)?

Расчетно-лабораторная работа № 2  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И  
СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РТУТНЫХ ЛАМП  
НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ (ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ)**

*Цель работы.* Исследование электроэнергетических и световых параметров люминесцентных ламп (ЛЛ), входящих в состав светильника (типа ЛБ-20).

В результате проведения работы необходимо освоить основные схемы включения ЛЛ, их электрические и световые параметры, определять освещённость рабочего места и уметь измерять освещённость специализированными приборами.

### 1. Объект и средства исследования

Объектом исследования служат люминесцентные газоразрядные ртутные лампы низкого давления типа ЛБ-20 с пускорегулирующим аппаратом 2УБЕ-20/220-ВП-060У4, расположенные в светильнике типа УСП11-4×20, смонтированного на стенде ЛСОЭ-5М. Типовые параметры ЛЛ типа ЛБ-20 ОАО «ЛИСМА» (г. Саранск) и лампы типа TLD18W/33 фирмы «PHILIPS» приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Тип	Напряжение на лампе, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Цветовая температура, К	Полезный срок службы, ч	Индекс цветопередачи, $R_a$	Длина, мм	Диаметр колбы, мм	Цоколь
ЛБ-20	60	20	1060	58,8	3450	10000	65 – 70	590	38,5	G13
TLD 18W/33	60	18	1150	64	4100	10000	63	590	26	G13

В люминесцентной лампе происходит преобразование излучения дугового или тлеющего разряда при помощи люминофора. При этом для возбуждения люминофора используется ультрафиолетовое излучение разряда, которое люминофор преобразует с определёнными потерями в более длинноволновое излучение, лежащее в УФ или видимой областях спектра. Фотолюминесценция люминофоров под воздействием УФ резонансного излучения разряда происходит в парах ртути при низком давлении 5 – 10 Па. Давление паров ртути является фактором, определяющим выход излучения резонансных линий ртути 253,7 и 184,9 нм. Добавка инертного газа к парам ртути (аргон, арго-неоновая смесь при давлении 200 – 400 Па) облег-

чает зажигание дугового разряда, уменьшает распыление катодов, увеличивает градиент электрического потенциала в столбе разряда и существенно повышает выход излучения резонансных линий ртути.

Баланс энергии 40-ваттной люминесцентной лампы белого света показан на рис. 2.1.

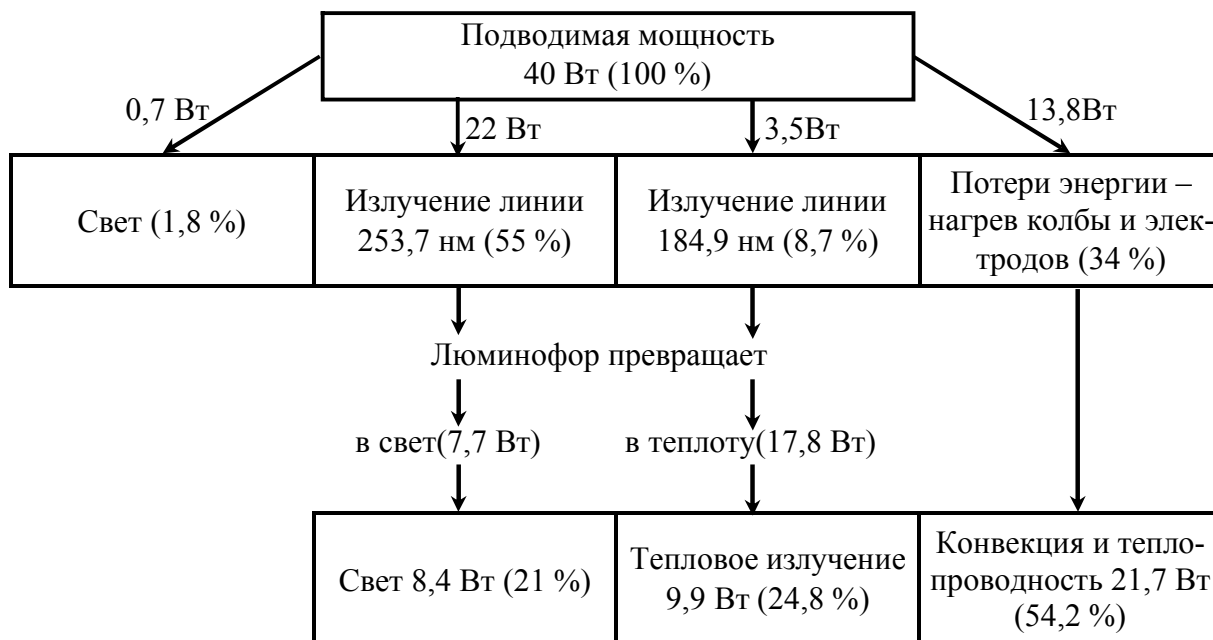


Рис. 2.1. Баланс энергии 40-ваттной ЛЛ

Стабильность светового потока ЛЛ нормируется минимальным значением этого потока каждой лампы после минимальной продолжительности горения, составляющей 40 % средней продолжительности горения. Спад среднего светового потока не должен превышать 30 % за время 0,7 тср.п.г и 40 % за время 1 тср.п.г (тср.п.г – время средней продолжительности горения).

Цветность излучения ламп определяется координатами цветности  $X$  и  $Y$ , которые для ламп типа ЛБ-20 составляют:

$$0,393 \leq X \leq 0,415; \quad 0,383 \leq Y \leq 0,409.$$

Цветопередача ЛЛ лучше, чем у других газоразрядных ламп из-за более равномерного распределения энергии излучения по всему диапазону видимого спектра. Недостаток излучения в красной области и наличие голубых линий ртутного разряда, а также избыточное излучение в желтой области приводят к тому, что обычные ЛЛ (ЛБ, ЛТБ, ЛХБ и ЛД) обеспечивают лишь удовлетворительную, но не высококачественную цветопереда-

чу ( $R_a = 62 - 70$ ). ЛЛ с улучшенной цветопередачей имеют  $R_a \approx 85$  (ЛЕЦ, ЛТБЦ, ЛХЕЦ, ЛДЦУФ).

Особенности эксплуатации ЛЛ:

- включение в сеть только с пускорегулирующим аппаратом (ПРА) и возможность работы только в ограниченном диапазоне температуры окружающей среды;

- в простейшем случае при включении ЛЛ со стартером и индуктивным или индуктивно-емкостным балластом напряжение на лампе при горении должно быть приблизительно вдвое ниже напряжения сети. Снижение напряжения сети более чем на 10 % приводит к отказу в зажигании;

- для большинства ЛЛ рабочий диапазон температуры определяется от +5 до +55 °С;

- пульсация светового потока при питании ЛЛ переменным током вызвана пульсацией УФ излучения столба разряда и несколько сглаживается за счет послесвечения люминофора. Коэффициент пульсации для ЛЛ типа ЛБ-20 – 22 – 23 %; ЛЕЦ – 73 – 75 %; ЛТБЦ – 68 – 70 %. Частота пульсаций равна 100 Гц при питании от сети промышленной частоты;

- с увеличением относительной влажности увеличивается напряжение зажигания ЛЛ и достигает максимума при влажности 80 – 100 % (при этом кратность напряжения зажигания достигает 5).

Схемы включения ЛЛ делятся на бесстартерные с пускорегулирующими аппаратами быстрого зажигания и схемы со стартером тлеющего разряда.

Простейшие схемы включения ЛЛ показаны на рис. 2.2.

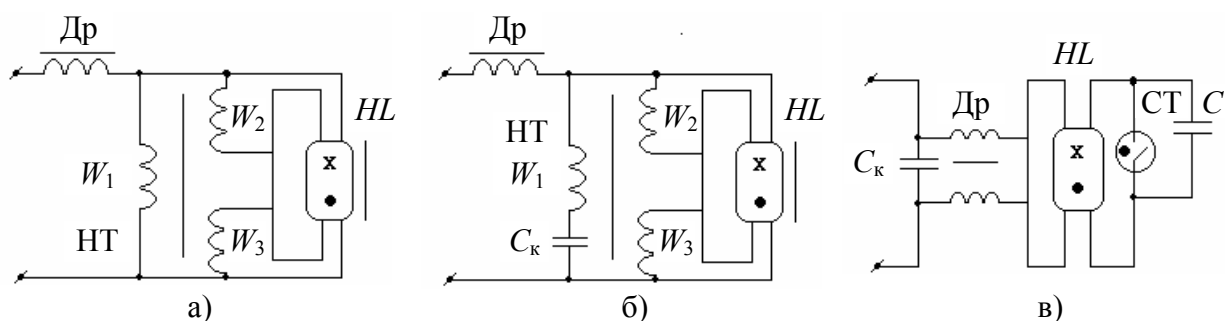


Рис. 2.2. Схемы включения ЛЛ:

*а – бесстартерная; б – резонансная бесстартерная; в – стартерная с симметричным дросселем; Др – балластный дроссель; НТ – накальный трансформатор с обмотками  $W_1, W_2, W_3$ ; HL – люминесцентная лампа; СТ – стартер; С – конденсатор защиты от радиопомех;  $C_k$  – компенсирующий конденсатор*

Для освещения производственных помещений и административных зданий используются двухламповые светильники с включением ламп по схемам рис. 2.3.

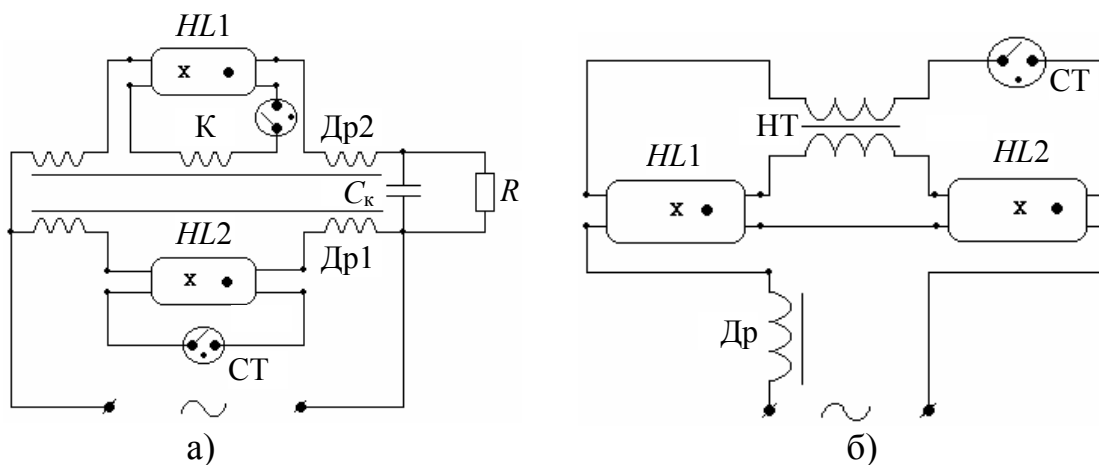


Рис. 2.3. Двухламповые схемы с ЛЛ: а – с расцепленной фазой; б – с последовательным включением; Др, Др1, Др2 – дроссели балластные; HL1, HL2 – люминесцентные лампы; СТ – стартер; НТ – накальный трансформатор;  $C_k$  – компенсирующий конденсатор;  $R$  – разрядное сопротивление;  $K$  – компенсирующая обмотка

В лабораторной работе исследуется схема включения ЛЛ по рис. 2.3,б. Осветительная установка монтируется в соответствии со схемой из элементов, выводы которых подключены к клеммной коробке, расположенной на стенде ЛСОЭ-5 слева. Нумерация выводов соответствует табл. 2.2. Питание схемы осуществляется от регулируемого источника 0 – 240 В и тумблера «220 на блок» через клеммы 220 В, расположенные на приборной панели стенда.

Таблица 2.2

Пускорегулирующий аппарат 2УБЕ-20/220-ВП-060У4	Лампа ЛБ-20	Компенсационная емкость (RC-цепь)	Стартер

Принципиальная электрическая схема ПРА типа 2УБЕ-20/220-ВП-060У4 показана на рис. 2.4.

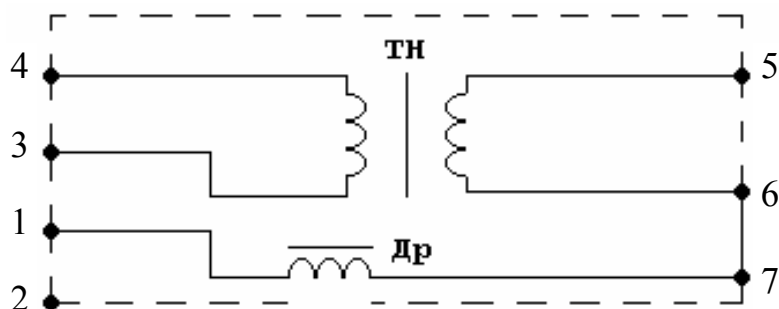


Рис. 2.4. Схема пускорегулирующего устройства типа 2УБЕ-20/220-ВП-060У4:  
1 – 7 – выводы; Др – дроссель; ТН – трансформатор накаливания

Электрическая схема соединения выводов элементов с клеммной коробкой показана на рис. 2.5.

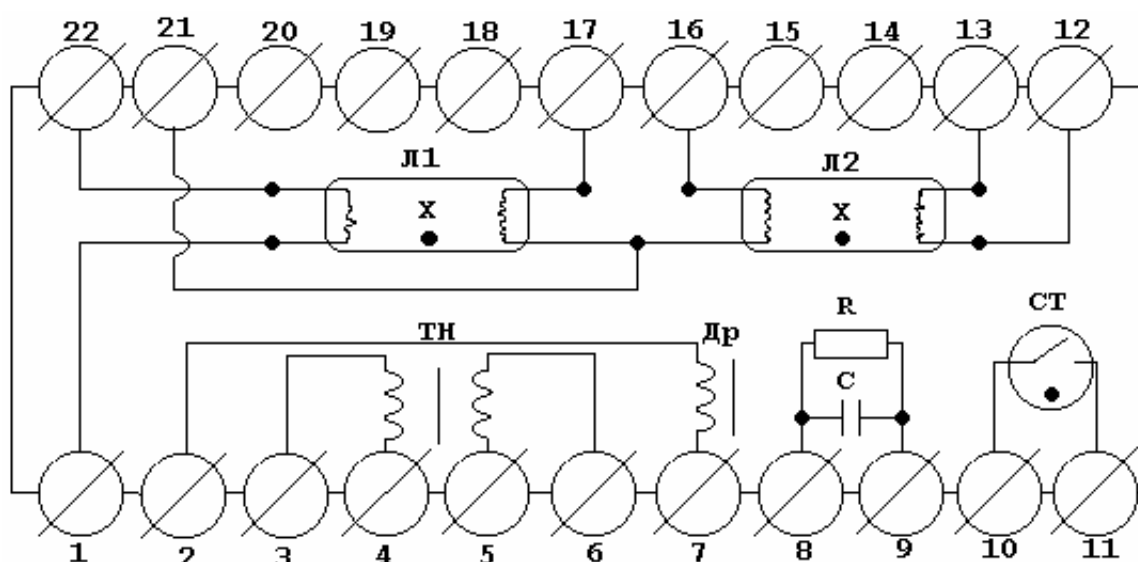






Рис. 2.5. Схема соединения выводов с клеммой коробки люминесцентных ламп типа ЛБ-20: 1 – 22 – выводы; Др – дроссель; ТН – трансформатор накаливания; СТ – стартер; R – С – компенсирующая емкость с разрядным сопротивлением; Л1, Л2 – лампы

Приборы, необходимые для выполнения исследований по тематике лабораторной работы, перечислены в табл. 2.3.

При выполнении работы следует руководствоваться инструкциями по охране труда № 1 и № 42, а также Правилами устройства электроустановок.

Таблица 2.3

Прибор	Система	Пределы измерения	Класс точности	Количество	Примечание
Вольтметр Э365-1		0 – 250 В	1,5	1	
Амперметр Э365-1		0 – 1 А	1,5	1	
Ваттметр Д5065		0 – 3000 Вт	0,5	1	
Люксметр Ю116		5 – 10 <sup>5</sup> лк	10,0	1	
Осциллограф С1-93	Электронно-лучевой	0 – 10 МГц	–	1	
Вольтметр В3-57		1·10 <sup>-6</sup> – 300 В	0,5	1	

## 2. Подготовка к работе

2.1. Составить принципиальную электрическую схему для исследования электроэнергетических и световых параметров люминесцентных ламп типа ЛБ-20, включенных по схеме рис. 2.3,б с последовательной ёмкостной компенсацией, предусмотрев включение, кроме элементов схемы, измерительных приборов: вольтметра, амперметра и ваттметра в соответствии с перечнем табл. 2.2 и 2.3, а также схемой рис. 2.5.

2.2. Обосновать выбор величины компенсирующего конденсатора для реализации схемы с опережающей фазой.

2.3. Оформить бланк отчета по лабораторной работе с необходимыми электрическими схемами, таблицами и расчетными формулами.

## 3. Рабочее задание

Исследование зависимости напряжения на ЛЛ светового потока ЛЛ, мощности и тока от напряжения сети.

### 3.1. Исследование пусковых параметров комплекта ПРА + ЛЛ

а) Собрать схему для исследования комплекта ПРА + ЛЛ, разработанную в п. 2.1 с учетом данных табл. 2.2 и 2.3.

Вольтметр Э365-1 с пределом измерения 250 В включить параллельно зажимам регулируемого источника переменного тока 0 – 240 В.

б) После проверки схемы преподавателем при включенном (положение вниз) тумблере "220 на блок" включить нажатием черной кнопки регу-



лируемый источник "0 – 240 В" и выставить значение выходного напряжения равным 220 В.

в) Выходной кабель осциллографа присоединить с соблюдением полярности к зажимам обмотки дросселя, включенной в нулевой провод (общий провод соединить с нулевым).

Установить ждущий режим работы осциллографа при длительности развертки 1мс/дел. и включить тумблер "220 на блок". Наблюдать и зарисовывать форму кривой напряжения на обмотке дросселя. Зафиксировать изменения показаний амперметра и ваттметра в период зажигания лампы (примерно 10 с).

г) Выключить тумблер "220 на блок", входной кабель осциллографа подключить к выводам 3 и 4 накального трансформатора и исследовать форму кривой накального тока, фиксируя при этом действующее значение тока по амперметру, включенному в эту же цепь.

д), е) Повторить опыты пп. "в" и "г" для напряжения на лампах и на стартере.

### **3.2. Исследование рабочих параметров комплекта ПРА + ЛЛ**

а) При включенном тумблере "220 на блок" и включенном в нулевой провод измерительном резисторе сопротивлением 1 Ом, контролируя форму тока в цепи при установившемся режиме, определить коэффициент амплитуды  $K_a$  кривой тока ЛЛ. Определить также потери мощности в ПРА, а также коэффициент мощности комплекта ПРА + ЛЛ. Результаты исследования и расчетов свести в таблицу.

б) Измерить напряжение предварительного подогрева электродов ЛЛ ( $U_{п.п}$ ) в переходном режиме (режим зажигания) и напряжение подогрева электродов в рабочем режиме  $U_{п.р}$  и определить отношение  $U_{п.р}/U_{п.п}$ .

### **3.3. Исследование эксплуатационных параметров комплекта ПРА + ЛЛ**

а) Исследовать тепловые и электрические параметры ПРА при отказе какого-либо элемента комплекта ПРА + ЛЛ, а также оценить уровень шумов, создаваемых ПРА (вариант указывает преподаватель).

б) Исследовать форму питающего напряжения комплекта ПРА + ЛЛ.

в) Оценить световой КПД светильника, используемого в лабораторной работе, при наличии рассеивателя и без него.

3.4. Повторить опыты пп. 3.1, 3.2 и 3.3 при напряжении сети  $220 В \pm 10 \%$ . Обратит внимание на зависимость световых и энергетических параметров лампы (светильника) от изменения напряжения сети.

#### 4. Обработка результатов исследований

4.1. Отобразить графические зависимости пускового тока и мощности от времени, а также график изменения светового потока.

4.2. По результатам опытов, используя разложение в ряд Фурье, определить потери мощности в ПРА и коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ ) комплекта ПРА + ЛЛ.

#### 5. Методические указания

5.1. Необходимо учитывать, что напряжение и ток люминесцентной лампы несинусоидальные, поэтому мощность ее определяется как

$$P_{\text{л}} = K_{\text{л}} U_{\text{л}} I_{\text{л}},$$

где  $K_{\text{л}}$  – коэффициент мощности ЛЛ, меньший единицы и зависящий от типа лампы, балласта и частоты питающей сети;  $U_{\text{л}}$  и  $I_{\text{л}}$  – действующие значения тока и напряжения ЛЛ.

5.2. Коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ ) в компенсированных ПРА из-за несинусоидальности формы тока ЛЛ всегда меньше единицы и для его определения необходимо провести разложение в ряд Фурье кривых тока и напряжения.

Ёмкость конденсатора  $C_{\text{к}}$  для повышения коэффициента мощности комплекта ПРА + ЛЛ можно оценить по эмпирической формуле, мкФ:

$$C_{\text{к}} = \frac{I_{\text{л}}}{2fU\pi} \cdot \frac{\sin(\varphi_0 \pm \varphi_{\text{к}})}{\cos\varphi_{\text{к}}} \cdot 10^{-6},$$

где  $I_{\text{л}}$  – действующее значение тока лампы;

$f$  и  $U$  – частота и действующее значение напряжения сети;

$\varphi_0$  – значение угла сдвига фаз до компенсации;

$\varphi_{\text{к}}$  – значение угла сдвига фаз после компенсации.

Знак угла  $\varphi_{\text{к}}$  выбирается положительным при индуктивном характере балласта и отрицательным – при емкостном.

#### 6. Контрольные вопросы

1. Газовый разряд – основа газоразрядных источников света. Почему?
2. Охарактеризуйте физические процессы, обуславливающие свечение газов или паров металла при газовом разряде.

3. Почему напряжение зажигания газового разряда отличается от напряжения горения?
4. Какова работа выхода электрона при термоэлектронной и автоэлектронной эмиссии и её роль в возбуждении атома?
5. Что такое резонансное излучение и ступенчатое возбуждение атома?
6. В чем особенности газового разряда на переменном токе?
7. В чем особенности вольт-амперной характеристики дугового разряда?
8. Почему газоразрядные источники света нельзя использовать без балласта?
9. В чем отличие конструкции ЛЛ от обычной лампы накаливания?
10. Каковы оптимальные значения давления инертных газов и паров ртути в ЛЛ?
11. Как температура стенок трубки ЛЛ влияет на интенсивность свечения разряда? Почему?
12. Каким образом ультрафиолетовое излучение разряда преобразуется в ЛЛ в видимый свет?
13. В чем особенности конструкции катодного узла ЛЛ?
14. Какими факторами определяется зажигание ЛЛ?
15. В чем отличие ламп стартерного или импульсного зажигания от ламп быстрого пуска?
16. В чем особенности ламп холодного пуска?
17. Назовите основные признаки промышленных ЛЛ.
18. Назовите ряд мощностей ЛЛ по ГОСТ 6825-61.
19. Назовите основные типы ЛЛ и дайте их сравнительные характеристики.
20. В чем отличие бактерицидных и эритемных ламп от ЛЛ видимого света?
21. В чем проявляется влияние температуры окружающего воздуха на световые параметры ЛЛ?
22. Как действует повышенная влажность окружающей среды на световые параметры ЛЛ?
23. Какими факторами определяется срок службы ЛЛ?
24. Охарактеризуйте влияние измерения напряжения сети на световые параметры.
25. Почему световой поток ЛЛ является пульсирующим, и как это влияет на точность зрительных работ?

26. Охарактеризуйте основные источники радиопомех при работе ЛЛ и методы их нейтрализации.

27. Каковы назначение и устройство стартера и его роль в процессе зажигания люминесцентной лампы?

28. Охарактеризуйте этапы зажигания ЛЛ.

29. Каковы назначение и роль шунтирующего стартер-конденсатора в процессе зажигания ЛЛ?

30. Каковы назначение и схема включения симметрированного дросселя?

31. Дайте сравнительную характеристику одноламповых и двухламповых схем включения ЛЛ.

32. Назовите преимущества и недостатки светильников с последовательным включением ЛЛ: а) с двумя стартерами; б) с одним стартером и накальным трансформатором.

33. В чем особенности бесстартерных схем зажигания ЛЛ?

34. Каково назначение схем холодного зажигания ЛЛ?

### Расчетно-лабораторная работа № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ДУГОВЫХ РТУТНЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ЛЮМИНОФОРМ

*Цель работы.* Исследование пусковых и рабочих режимов дуговой ртутной лампы высокого давления типа ДРЛ.

В результате проведения работы студент должен освоить принцип работы, светотехнические и энергетические характеристики, а также основные схемы включения ламп типа ДРЛ; научиться измерять основные параметры ламп и использовать их в проектировании систем электрического освещения.

#### **1. Объект и средства исследования**

Объектом исследования служит дуговая лампа типа ДРЛ-250 в комплекте с электромагнитным пускорегулирующим аппаратом (ПРА) типа 1И250 ДРЛ42-001.УХЛ1, расположенным в лабораторном стенде ЛСОЭ-5М. Выводы всех элементов, в том числе и устройства поджига, подключены к клеммам сменного блока № 4. Питание комплекта ПРА + ДРЛ осуществляется от фазного напряжения трехфазной сети напряжени-

ем 380 В (выводы *A, B, C, O* на блоке № 4 слева), которое включается на распределительном щите автоматическим трехфазным выключателем № 5 и автоматическим выключателем, расположенным на корпусе стенда слева.

При исследовании влияния пониженного или повышенного напряжения сети на электрические и световые параметры комплекта ПРА + ДРЛ напряжение питания подается от автотрансформатора через тумблер "220 на блок" при включенном источнике  $\sim 0 - 240$  В.

Типовые параметры лампы ДРЛ-250 акционерного общества "ЛИСМА", лампы HPL-N 250 W фирмы «PHILIPS» и лампы HQL 250 фирмы «OSRAM» приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Тип лампы	Напряжение на лампе, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Средний ток лампы, А	Световая отдача, лм/Вт	Максимальный пусковой ток, А	Средняя продолжительность горения, ч	Цоколь
ДРЛ-250 (ОАО «ЛИСМА»)	130	250	13500	2,1	54	3,1	12 000	E-40
HPL-N 250W (фирма «PHILIPS»)	135	250	13000	2,13	54	3,6	16 000	E-40
HQL 250 (фирма «OSRAM»)	130	250	13000	2,15	52	3	2 000 – 15 000	E-40

Лампа ДРЛ является четырехэлектродной ртутно-кварцевой лампой высокого давления (от  $(0,2-0,3) \cdot 10^5$  до  $(1-1,5) \cdot 10^6$  Па) с исправленной цветностью. Исправление цветности достигается нанесением на внутреннюю поверхность внешней колбы люминофора (арсенат или фторогерманит магния), который под влиянием ультрафиолетового излучения ртутного разряда излучает видимый красный свет, дополняющий спектр ртутного разряда (сине-зеленый свет).

Четырехэлектродная лампа ДРЛ характеризуется падающей вольт-амперной характеристикой и высоким уровнем напряжения зажигания. Для стабилизации тока лампы используется электромагнитный пускорегулирующий аппарат (ПРА).

Под действием сетевого напряжения сначала происходит электрический пробой между вспомогательным и рабочим электродами лампы в атмосфере аргона. Далее, при устойчивом разряде за счет повышения температуры начинается процесс испарения ртути. При этом интервал времени от момента зажигания до установления стационарного режима называют периодом зажигания лампы (от 3 до 10 мин). На длительность пе-

риода зажигания влияют, главным образом, мощность лампы и температура окружающей среды (чем выше  $P$  и ниже  $t$   $^{\circ}\text{C}$ , тем больше период зажигания).

Повторное зажигание лампы ДРЛ возможно только после остывания и конденсации паров ртути (5 – 8 мин). При изменении питающего напряжения (медленном) световой поток, мощность и ток изменяются пропорционально (линейно). При этом на каждый процент изменения напряжения световой поток и мощность изменяются на 2 %.

Напряжение погасания лампы при быстром изменении напряжения  $U_{\text{пог}}$  зависит от типа балласта и схемы его включения, а также от мощности и напряжения на ней и определяется по формуле

$$U_{\text{пог}} = U_{\text{л.пог}} \sqrt{1,18 (1 + \gamma_{\text{пог}})},$$

где  $U_{\text{пог}}$  – напряжение сети, при котором лампа гаснет;

$U_{\text{л.пог}}$  – напряжение на лампе в момент погасания;

$\gamma_{\text{пог}}$  – крутизна вольт-амперной характеристики (ВАХ) в точке погасания лампы.

Упомянутые величины можно определить по ВАХ лампы при быстрых изменениях напряжения и напряжения на лампе  $U_{\text{л}}$ . Для ДРЛ-250 такие характеристики приведены на рис. 3.1.

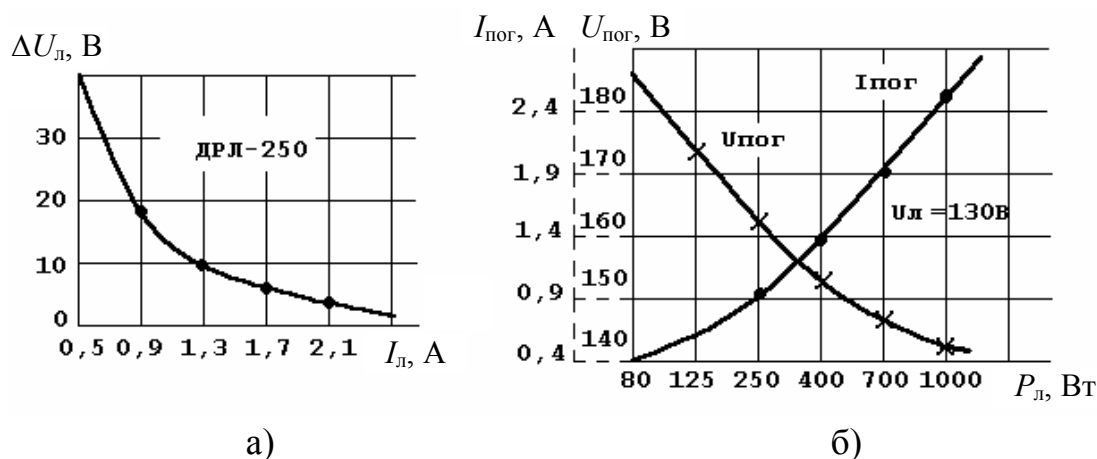


Рис. 3.1. Характеристики лампы ДРЛ-250 при быстром изменении напряжения: а – ВАХ; б – зависимость тока и напряжения погасания от мощности лампы при напряжении на лампе 130 В

По справочным данным баланс энергии лампы ДРЛ (на примере ДРЛ-400) составляет: потери на электродах – 30 Вт; мощность столба – 370 Вт (из них излучение разряда – 192 Вт; в том числе УФ – 73 Вт, ИК – 60 Вт, тепловые потери – 178 Вт). Баланс лампы в целом: видимое

излучение – 67 Вт, ИК-излучение разряда – 57 Вт, ИК тепловое излучение внешней колбы – 203 Вт, конвекция и теплопроводность – 73 Вт.

Схемы включения четырехэлектродных ламп ДРЛ приведены на рис. 3.2.

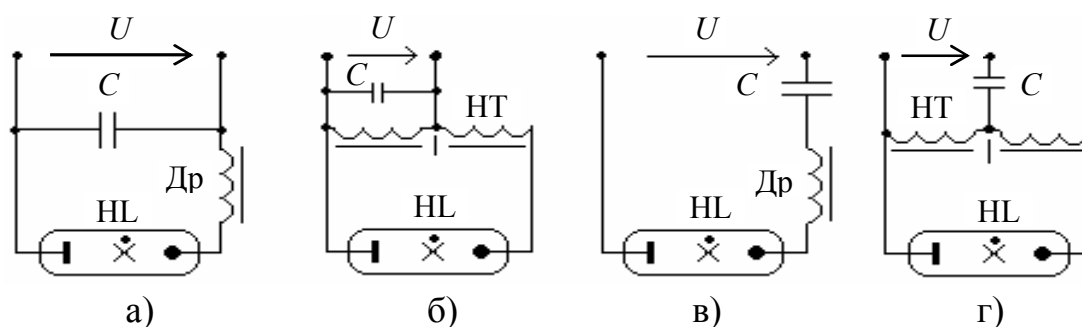


Рис. 3.2. Схемы включения ламп ДРЛ с емкостной компенсацией:  
 а – параллельная; б – последовательная с автотрансформатором;  
 в – последовательная; г – параллельная с автотрансформатором

Наилучшая стабилизация тока в лампе достигается в схемах с последовательно соединенными конденсатором и насыщенным дросселем (или автотрансформатор с рассеянием). При этом балласт должен иметь емкостной характер. Поэтому кривая тока не так сильно искажена за счет высших гармонических слагающих тока.

В лабораторной работе исследуются схемы включения лампы ДРЛ по рис. 3.2,а,в. Приборы, необходимые для проведения исследований по тематике лабораторной работы, перечислены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Прибор	Система	Пределы измерения	Класс точности	Количество	Примечание
Вольтметр Э365-1		0 – 250 В	1,5	1	
Амперметр Э365-1		0 – 1 А	1,5	1	
Ваттметр Д5065		0 – 3000 Вт	0,5	1	
Люксметр Ю116		5 – 10 <sup>5</sup> лк	10,0	1	
Осциллограф С1-93	Электронно-лучевой	0 – 10 МГц	–	1	
Вольтметр В3-57		1·10 <sup>-6</sup> – 300 В	0,5	1	

При выполнении работы следует руководствоваться инструкциями по охране труда № 1 и № 42 и Правилами устройства электроустановок.

## 2. Подготовка к работе

2.1. Получить выражение для мгновенного значения тока лампы  $I_{\text{л}}(t)$  в процессе пуска, считая лампу нелинейным коммутирующим элементом, а дроссель – а) линейным; б) нелинейным.

2.2. Составить электрическую принципиальную схему для исследования электроэнергетических и световых параметров ртутно-кварцевой лампы типа ДРЛ-250 (четырёхэлектродной), включенной по схеме рис. 3.2,а с параллельной и рис. 3.2,в с последовательной емкостной компенсацией, предусмотрев включение, кроме элементов схемы, измерительных приборов вольтметра, амперметра и ваттметра в соответствии с перечнем табл. 3.2. В схеме предусмотреть включение дросселя с симметричными обмотками.

2.3. Обосновать выбор величины компенсирующего конденсатора для двух схем включения.

2.4. Оформить бланк отчета по лабораторной работе с необходимыми электрическими схемами, таблицами и расчетными формулами.

## 3. Рабочее задание

3.1. *Исследование пусковых режимов лампы типа ДРЛ при номинальном напряжении*

3.1.1. Собрать схему для исследования электроэнергетических и светотехнических характеристик комплекта электромагнитный ПРА + ДРЛ, разработанную в п. 2.2 по схеме рис. 3.2 и с учетом данных табл. 3.2.

3.1.2. После проверки схемы преподавателем входной кабель осциллографа подключить (с соблюдением полярности) к зажимам обмотки, включенной в нулевой провод, и включить напряжение питания комплекта автоматическим выключателем (слева на стенде). Наблюдать и зарисовать наиболее характерные кривые тока на обмотке дросселя в пусковом режиме (примерно 10 мин). Снять временные зависимости мощности, потребляемой комплектом, а также действующего значения тока лампы в переходном режиме с интервалом 60 с. После выхода лампы на режим (через 10 – 15 мин) отключить питание комплекта и охладить лампу в течение 20 мин.

3.1.3. Входной кабель осциллографа с делителем 1:10 подключить к зажимам "лампа" сменного блока № 4 стенда для контроля формы кривой



напряжения на лампе типа ДРЛ. Включить напряжение питания и зарисовать наиболее характерные кривые напряжения на лампе. Снять временные зависимости напряжения на лампе в пусковом режиме. Во всех опытах контролировать освещенность, располагая датчик люксметра не ближе 30 см от лампы внутри шкафа осветительной установки.

Результаты измерений пп. 3.1.2 и 3.1.3 свести в таблицу.

### ***3.2. Исследование рабочих параметров комплекта ПРА + ДРЛ***

Перед началом опыта в нулевой провод включить измерительный резистор сопротивлением 1 Ом и, контролируя форму тока в цепи при установившемся режиме, определить коэффициент амплитуды  $K_a$  кривой тока ДРЛ. Определить также потери мощности в ПРА, а также коэффициент мощности комплекта ПРА + ДРЛ.

Результаты исследования и расчетов свести в таблицу.

### ***3.3. Исследование эксплуатационных параметров комплекта ПРА + ДРЛ***

Исследовать форму питающего напряжения комплекта ПРА + ДРЛ. Для этого вход осциллографа через кабель с делителем 1:10 подключить (соблюдая фазировку) к зажимам с питающим напряжением и зарисовать форму питающего напряжения с указанием параметров сигнала. По результатам опыта оценить гармонический состав питающего напряжения.

### ***3.4. Исследование пусковых и рабочих параметров комплекта ПРА + ДРЛ при пониженном и повышенном напряжении сети***

3.4.1. Перед началом опыта установить на выходе автотрансформатора напряжение 198 В. При отключенном напряжении сети подключить сетевые провода комплекта ПРА + ДРЛ к выходу автотрансформатора. После проверки схемы преподавателем включить питание автотрансформатора на блоке № 2 и повторить опыты пп. 3.1 и 3.2 при пониженном напряжении. Зарисовать необходимые осциллограммы, а данные опыта свести в таблицу.

3.4.2. Повторить опыт п. 3.4.1 при повышенном (242 В) напряжении сети. Данные опыта свести в таблицу.

## **4. Обработка результатов измерений**

4.1. По результатам опытов пп. 3.1, 3.2 и 3.3 рассчитать коэффициент использования напряжения питающей сети:

$$K_m = \frac{U_{л}}{U},$$

где  $U_{л}$  и  $U$  – действующие значения напряжений на лампе и в сети соответственно;

4.2. По результатам опытов п. 3.1 определить коэффициенты нестабильности тока, мощности и светового потока лампы ДРЛ по напряжению сети:

$$I_{л} / I_{лн} = f_1 \left( U_{с} / U_{сн} \right); P_{л} / P_{лн} = f_2 \left( U_{с} / U_{сн} \right); \Phi_{л} / \Phi_{лн} = f_3 \left( U_{с} / U_{сн} \right),$$

где  $I_{л}$ ,  $P_{л}$ ,  $\Phi_{л}$ ,  $U_{с}$  – измеренные параметры тока, мощности, светового потока и напряжение сети соответственно;

$I_{лн}$ ,  $P_{лн}$ ,  $\Phi_{лн}$ ,  $U_{сн}$  – номинальные параметры тока, мощности, светового потока и напряжения сети соответственно.

4.3. По осциллограммам п. 3.1 определить гармонический состав напряжения и тока лампы, рассчитать активную мощность лампы и установки ДРЛ + ПРА, а также результирующий  $\cos\varphi$ .

4.4. На одном рисунке и в одних координатах построить зависимости

$$I_{л} = f_1(t); P_{л} = f_2(t); E(t) = f_3(t); K_m = f_4(t),$$

где  $I_{л}$  – действующее значение тока лампы;  $P_{л}$  – мощность лампы;  $E$  – освещенность;  $K_m$  – коэффициент использования напряжения.

## 5. Методические указания

При индуктивном балансе действующее значение тока лампы может быть найдено по формуле

$$I_{л} = \sqrt{U^2 - (1,09U_{л})^2} / \omega L,$$

где  $U$  – действующее значение напряжения в сети;  $U_{л}$  – напряжение на лампе;  $L$  – индуктивность дросселя,  $\omega$  – циклическая частота сети.

Отношение тока короткого замыкания ( $I_{к}$ ) балласта (для дросселя с линейной вольт-амперной характеристикой) и рабочего тока  $I_{л,р}$  лампы равно:

$$I_{к} / I_{л,р} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(1,09 \frac{U_{л}}{U}\right)^2}} \cong 1,2 - 1,5 \text{ (так как } \frac{U_{л}}{U} \leq 0,76, \text{ а обычно } 0,5),$$

где  $I_{к} = U / \omega L$ .

При индуктивно-емкостном балласте используют формулу

$$I_{\text{л}} = \sqrt{\frac{U^2 - (0,9U_{\text{л}})^2 \left(1 - 2 \sum_{n=3}^{\infty} \frac{h^2}{n^2} - h^2\right)}{\omega L(h^2 - 1)}}$$

где  $h = \omega_0 / \omega$  – отношение частот собственных и вынужденных колебаний;

$n$  – порядковый номер гармоники тока.

Ток короткого замыкания линейного индуктивно-емкостного балласта определяется по формуле:

$$I_{\text{к}} = U / \omega L(h^2 - 1)$$

$$\text{Отношение токов } I_{\text{к}} / I_{\text{л.р}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(0,9U_{\text{л}} / U\right)^2 \left(1 - 2 \sum_{n=3}^{\infty} \frac{h^2}{n^2} - h^2\right)}}$$

Обычно на практике соотношение между индуктивным и емкостным сопротивлениями выбирается таким, что отношение токов близко к единице.

## 6. Контрольные вопросы

1. Почему горелка лампы ДРЛ изготовлена из кварцевого стекла?
2. Почему в смесь газов внутри горелки обязательно входит аргон?
3. Возможна ли работа лампы ДРЛ без дополнительных поджигающих электродов?
4. Возможна ли работа четырехэлектродной лампы ДРЛ без электромагнитного ПРА?
5. Каковы условия зажигания лампы ДРЛ при особо низких температурах?
6. Какие факторы влияют на длительность периода разжигания лампы типа ДРЛ?
7. Чем вызвана необходимость охлаждения погасшей лампы ДРЛ перед повторным включением?
8. Каким образом минимизировать время разгорания лампы?
9. Объясните влияние изменений сетевого напряжения на характеристики лампы ДРЛ.
10. С какой целью внутренняя поверхность внешней колбы лампы ДРЛ покрывается люминофором?

## Библиографический список

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
2. ГОСТ 23198-78. Лампы газоразрядные. Методы исследования спектральных и цветовых характеристик. – М.: Изд-во стандартов, 1978.
3. ГОСТ 24169-80. Лампы дуговые натриевые высокого давления. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
4. СТ СЭВ 1654-79. Аппараты пускорегулирующие для газоразрядных ламп. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
5. *Кнорринг Г.М.* Осветительные установки. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.
6. Освещение открытых пространств / Н.В. Велоцкий, М.С. Дадиомов, Л.Д. Николаева и др. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 232 с.
7. *Гуторов М.М.* Основы светотехники и источники света: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.
8. Правила устройства электроустановок. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 480 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО- ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	3
<b>Расчетно-лабораторная работа № 1.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ (ДНаТ).....	7
<b>Расчетно-лабораторная работа № 2.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РТУТНЫХ ЛАМП НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ (ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ).....	17
<b>Расчетно-лабораторная работа № 3.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ДУГОВЫХ РТУТНЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ЛЮМИНОФОРОМ .....	26
Библиографический список.....	34

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Методические указания к расчётно-лабораторным работам

Составители

КОЛЕСНИК Григорий Платонович

БУХАРОВА Ольга Дмитриевна

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор С.А. Сбитнев

Редактор И.А. Арефьева

Компьютерная верстка К.Г. Солнцев

ЛР № 020275. Подписано в печать 20.08.02.

Формат 60×84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л 2,09. Уч.-изд. л 2,26. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.