

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»
(ТУСУР)

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга
(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий каф. РЭТЭМ
_____ В.И. Туев
« ____ » _____ 2017 г.

НАДЕЖНОСТЬ СВЕТОДИОДОВ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ
Учебно-методическое пособие для проведения практических, лабораторных
и самостоятельных занятий для магистрантов, обучающихся по направлению
подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств»

Доцент каф. РЭТЭМ
_____ В.С. Солдаткин

Томск 2017

Солдаткин В.С. Надежность светодиодов и светотехнических устройств: учебно-методическое пособие для проведения практических, лабораторных и самостоятельных занятий для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2017. – 39с.

Настоящее учебно-методическое пособие для проведения практических, лабораторных и самостоятельных занятий составлено с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) для магистров, обучающихся по направлению подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» содержит описание трёх практических занятий, двух лабораторных работ и трёх тем, отводимых на самостоятельную проработку по основным разделам курса «Надежность светодиодов и светотехнических устройств» и направлено на формирования у студентов следующих компетенций:

ОПК-1 – способностью понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения;

ОПК-5 – готовностью оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы;

ПК-4 – способностью планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать основные механизмы деградации светодиодов и светотехнических устройств; методики исследования надёжности светодиодов и светотехнических устройств; основами разработки программы и методик испытаний, оформления анализа и защиты результатов испытаний.

Уметь проводить испытания, анализировать результаты испытаний светодиодов и светотехнических устройств; разрабатывать и оформлять программу и методик испытаний и результаты испытаний светодиодов и светотехнических устройств.

Владеть навыками проведения испытаний, анализа результатов испытаний светодиодов и светотехнических устройств; навыками разработки и оформления программы и методик испытаний и результатов испытаний светодиодов и светотехнических устройств.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Требования к технике безопасности при выполнении лабораторных работ	6
1. Рекомендации к составлению программ и методик испытаний светодиодных излучающих элементов и разработке технических условий	8
1.1 Основы составления программы и методик испытаний. Методики измерения светотехнических, колориметрических и электрических характеристик светодиодов и светотехнических устройств. Требования к испытательному и измерительному оборудованию. (Самостоятельная работа)	8
1.1.1 Основы составления программы и методик испытаний	8
1.1.2 Методики измерения светотехнических, колориметрических и электрических характеристик светодиодов и светотехнических устройств	8
1.1.3 Требования к испытательному и измерительному оборудованию	10
1.2 Разработка программы и методики испытания светодиодов и светотехнических устройств (Практические занятия)	11
1.3 Измерение основных параметров светодиодов до и после испытаний в соответствии программой и методиками (Лабораторная работа)	25
2. Прогнозирование срока службы светодиодов и светодиодных излучающих элементов расчётным методом	28
2.1 Отечественные и зарубежные стандарты по прогнозированию срока службы светодиодов и светотехнических устройств. Определение энергии активации отказов светодиодов. Надёжность устройств питания светодиодов. (Самостоятельная работа)	28
2.1.1 Отечественные и зарубежные стандарты по прогнозированию срока службы светодиодов и светотехнических устройств	28
2.1.2 Определение энергии активации отказов светодиодов	30
2.1.3 Надёжность устройств питания светодиодов	30
2.2 Прогнозирование срока службы светодиода в зависимости от тепловых и электрических режимов (Практические занятия)	32
2.3 Проведение испытаний светодиодов (Лабораторная работа)	33
3. Механизмы деградации светодиодов и светотехнических устройств	36
3.1 Физико-химические процесс деградации светодиодов. Деградация омических контактов. Деградация люминофорной композиции. (Самостоятельная работа)	36
3.2 Анализ дефектов светодиодов и светотехнических устройств(Практические занятия)	37
Список цитируемой литературы	39

ВВЕДЕНИЕ

Цель изучения дисциплины – приобретение студентами необходимых знаний умений и навыков в части исследования надёжности светодиодов и светотехнических устройств.

Задачи дисциплины:

- ✓ Ознакомить студентов с основными механизмами деградации светодиодов и светотехнических устройств.
- ✓ Ознакомить студентов с основными методами проведения испытаний светодиодов и светотехнических устройств.
- ✓ Ознакомить студентов с правилами разработки программы и методик испытаний.

Для успешного освоения компетенций (ОПК-1 – способностью понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; ОПК-5 – готовностью оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы; ПК-4 – способностью планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты.) обеспечиваемых изучением дисциплины «Надёжность светодиодов и светотехнических устройств» предусмотрена система связи между лекционными, практическими, лабораторными и самостоятельными занятиями, представленная на схеме Рис. 1.



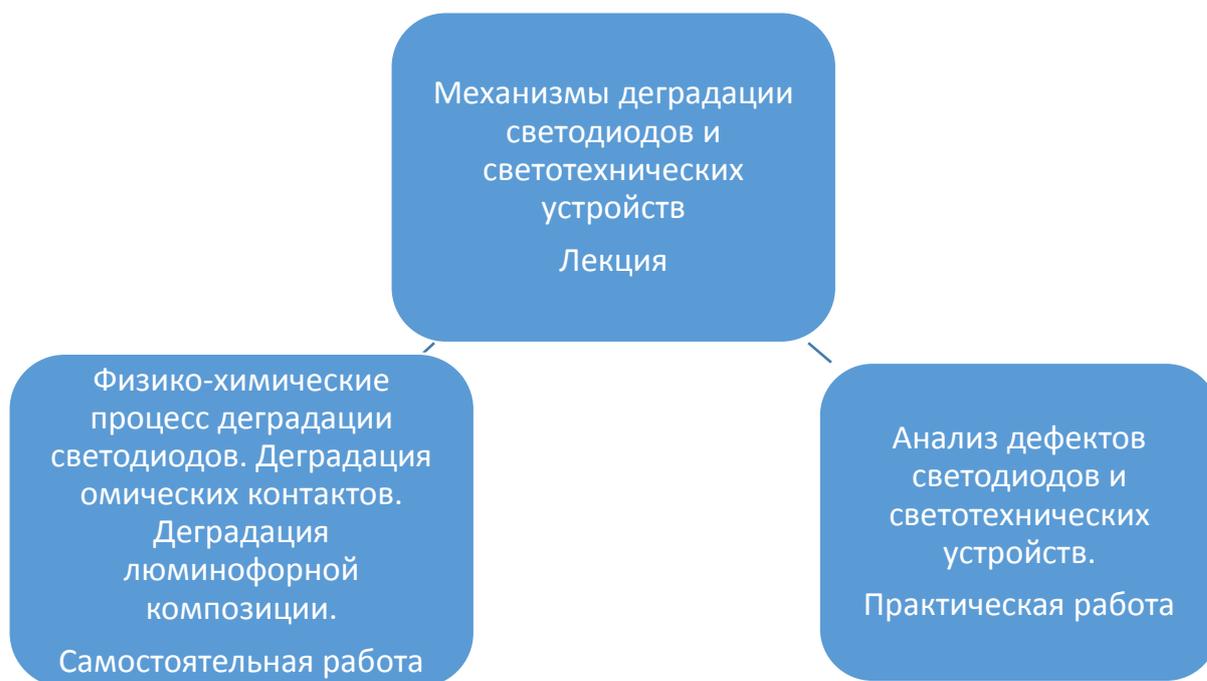


Рисунок 1. Система связи между лекционными, практическими, лабораторными и самостоятельными занятиями

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перед началом лабораторных работ студенты должны получить инструктаж по технике безопасности в лаборатории и ознакомиться с правилами эксплуатации приборов и другого оборудования, используемого при выполнении работ. Инструктаж проводит преподаватель, ведущий занятия. После проведения инструктажа студент расписывается в регистрационном журнале о том, что он ознакомлен с правилами безопасной работы в лаборатории и обязуется их выполнять. Студенты не прошедшие инструктаж к работе не допускаются. Студенты, замеченные в нарушении настоящих правил, отстраняются от выполнения лабораторных работ.

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕД НАЧАЛОМ И ОКОНЧАНИЕМ РАБОТЫ

Каждый студент должен:

1. Знать расположение общих рубильников силовой сети напряжением 220 вольт, частотой 50 Гц для того, чтобы в случае необходимости быстро отключить питание от лабораторных установок;
2. Изучить описание лабораторной работы и инструкции к используемым приборам;
3. Ознакомиться с макетом установки;
4. Проверить наличие заземления на каждом приборе, подлежащем заземлению. В случае отсутствия заземления сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией;

Запрещается:

- Включать в сеть приборы, вращать ручки настройки без разрешения преподавателя;
 - Переставлять приборы из установки;
 - Разбирать схемы, вскрывать приборы и т.д.;
 - Начинать проведение эксперимента без разрешения преподавателя;
 - Загромождать рабочее место и установку одеждой, сумками и др. посторонними предметами.
5. Перед началом эксперимента получить допуск у преподавателя.
 6. В присутствии преподавателя включить приборы, входящие в установку, в соответствии с инструкциями к приборам и описанием лабораторной работы. Если приборы не работают, сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией.
 7. При нарушении нормальной работы прибора (сильное зашкаливание,

характерный запах горелого и т.п.) немедленно отключить прибор и сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией;

Запрещается:

- Работать с незаземленными и неисправными приборами.
- Самим проводить устранение неисправностей.
- Оставлять без наблюдения включенные приборы.

8. Если работа выполнена полностью и правильно, то по указанию преподавателя выключить приборы в соответствии с инструкцией и привести в порядок рабочее место.

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

1. При появлении запаха гари, дыма или возгорания принять меры по обнаружению источника возгорания и его ликвидации;

2. В случае пожара обесточить помещение, вызвать по телефону 01 пожарную охрану, произвести эвакуацию людей, сообщить администрации о случившемся и приступить к тушению пожара с помощью имеющихся средств пожаротушения;

3. В случае поражения человека электрическим током, необходимо быстро освободить пострадавшего от действия тока. Вызвать врача. Если пострадавший находится без сознания, то нужно привести его в сознание, давая нюхать нашатырный спирт, если пострадавший плохо дышит, начать делать искусственное дыхание и массаж сердца и продолжать их делать до прибытия врача;

4. В случае затопления помещения водой необходимо обесточить помещение, вызвать сантехника, вынести ценное оборудование и при необходимости сообщить администрации о случившемся.

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТ

В процессе выполнения лабораторной работы студент должен наблюдать за ходом эксперимента, отмечая все его особенности: изменение цвета, тепловые эффекты, выделение газа и т.д. Результаты наблюдений записывают в лабораторный журнал, придерживаясь определенной последовательности:

- название лабораторной работы, дата выполнения;
- цель работы;
- краткая теория вопроса;
- результаты эксперимента;
- выводы по результатам работы.

Записи в лабораторном журнале производят чернилами.

Отчет оформляется в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 01 – 2013.

1. РЕКОМЕНДАЦИИ К СОСТАВЛЕНИЮ ПРОГРАММ И МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ СВЕТОДИОДНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАЗРАБОТКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

1.1 Основы составления программы и методик испытаний. Методики измерения светотехнических, колориметрических и электрических характеристик светодиодов и светотехнических устройств. Требования к испытательному и измерительному оборудованию. (Самостоятельная работа)

1.1.1 Основы составления программы и методик испытаний

Программа и методики испытаний содержат основные разделы:

Титульный лист.

Условные обозначения и сокращения, принятые в тексте.

1. Общие положения.
2. Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний.
3. Требования безопасности.
4. Программа испытаний.
5. Режимы испытаний.
6. Методы испытаний.
7. Отчётность.

Приложения:

Приложение ПМ. А – Перечень ссылочных документов.

Приложение ПМ. Б – Перечень средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для проведения испытаний.

Приложение ПМ. В – Типовая форма протокола испытаний.

Иногда добавляют типовые формы акта изготовления образцов и акта испытаний.

1.1.2 Методики измерения светотехнических, колориметрических и электрических характеристик светодиодов и светотехнических устройств

Для примера рассмотрим методику испытаний макетных образцов светодиодных ламп.

Проверка по пункту ПМ «Контроль значения потребляемой мощности (P)» осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 54815 и ГОСТ Р 55702 в типовой последовательности.

- Собрать измерительную установку в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2:

- К выходным клеммам ЛАТР подключить с помощью проводников входные клеммы ваттметра.

- К выходным клеммам ваттметра подключить клеммы макетного образца №1.

- Подключить ЛАТР к электрической сети.

- Вращая ручку ЛАТР установить на его выходе (220 ± 2) В, контролируя значение напряжения по показаниям ваттметра.

- Зафиксировать в протоколе испытаний значение потребляемой мощности по показаниям ваттметра.

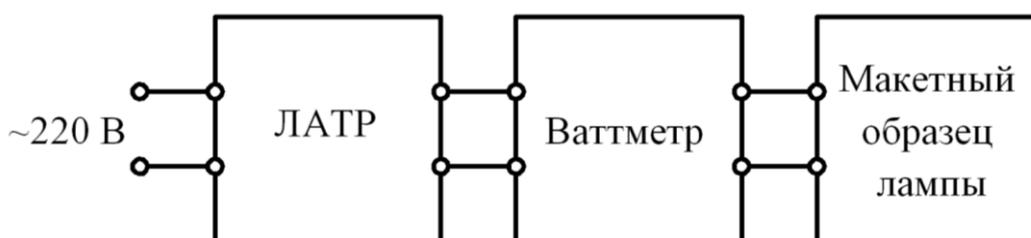


Рисунок 2. Схема подключения объекта испытаний:

ЛАТР – лабораторный автотрансформатор, Ваттметр – ваттметр универсальный

Повторить испытания для остальных макетных образцов лампы.

Считают, что объект испытаний – макетные образцы лампы выдержали испытания по пункту ПМ, если значение потребляемой мощности соответствует заданному в ТЗ значению.

Проверка по пункту ПМ «Контроль значения светового потока (Φ)» осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 54815 и ГОСТ Р 55702 фотометрическим шаром с использованием ЛАТР и ваттметра.

- Установить макетный образец лампы №1 в фотометрический шар.

- Подключить макетный образец лампы в соответствии со схемой, приведенной на рис.2.

- Включить питание фотометрического шара.

- Вращая ручку ЛАТР установить на его выходе (220 ± 2) В, контролируя значение напряжения по показаниям ваттметра.

- Выдержать макетный образец лампы во включенном состоянии не менее 5 минут для термостабилизации.

- Значения светового потока внести в протокол.

Повторить пункт ПМ для остальных макетных образцов лампы.

Считают, что объект испытаний – макетные образцы лампы, выдержали испытания по п. 4.2.2 ПМ, если значение светового соответствует заданному в ТЗ значению.

Проверка по пункту ПМ «Контроль значения коррелированной цветовой температуры (КЦТ)» проводится в соответствии с ГОСТ Р 54815 и ГОСТ Р 55702 в следующей последовательности.

- Установить экспериментальный образец лампы №1 в зажим цоколем вверх.

- Выставить оптическую ось в горизонтальной плоскости между экспериментальным образцом лампы – центром колбы фотоэлементом спектроколориметра.

- Включить ПК, запустить программу «Спектроколориметр».

- Подключить экспериментальный образец лампы в соответствии со схемой, представленной на рис.2.

- Вращая ручку ЛАТР установить на его выходе (220 ± 2) В, контролируя значение напряжения по показаниям ваттметра.

- Выдержать экспериментальный образец лампы во включенном состоянии не менее 5 минут для термостабилизации.

- Полученные данные занести в протокол.

- Повторить пункт ПМ для всех экспериментальных образцов лампы.

Считают, что объект испытаний – экспериментальные образцы лампы, выдержали испытания по пункту ПМ, если значение коррелированной цветовой температуры (КЦТ) значениям, установленным в ТЗ.

1.1.3 Требования к испытательному и измерительному оборудованию

Перечень средств испытаний приводится в Приложении Б ПМ.

Средства измерений, указанные в Приложении Б, могут быть заменены другими, обеспечивающими требуемую точность измерений.

Средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, должны быть поверены по ПР 50.2.006, а не подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору – калиброваны по ПР 50.2.016 или поверены.

Испытательное оборудование должно быть аттестовано по ГОСТ Р 8.568.

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях:

температура окружающего воздуха, °С 20 ± 10 ,

Условные обозначения и сокращения, принятые в тексте

...
...
...
...

1 Общие положения

1.1 Наименование и обозначение опытного образца продукции (далее – объект испытаний).

Наименование и обозначение в соответствии с основным конструкторским документом.

1.2. Цель испытаний

- исследование технических характеристик объекта испытаний и путей достижения значений, установленных требованиями технических требований⁴;
- предварительная оценка соответствия объекта испытаний требованиям ТЗ, а также для определения готовности объекта испытаний к приёмочным испытаниям⁵;
- подтверждение соответствия характеристик объекта всем требованиям, заданным ТЗ, в условиях, максимально приближенных к условиям реальной эксплуатации (применения, использования), а также для оценки возможности промышленного производства и реализации продукции⁶.

1.3 Условия предъявления объекта испытаний на испытания

1.3.1 Испытания проводятся на [*количество*] объектов испытаний⁷.

1.3.2 Порядок отбора объектов испытаний

...

1.3.3 Объект испытаний предъявляется на испытания в следующей комплектности:

объект испытаний;

упаковка;

комплект эксплуатационной документации.

1.3.4 *Объект испытаний предъявляется на испытания в сопровождении следующих документов:*

ТЗ;

комплект КД, ТД, (ПД), откорректированный по результатам ранее проведенных испытаний;

настоящая ПМ;

нормативная документация, указанная в ПМ;

*типовые стандартизированные методики испытаний (при необходимости);
проект ТУ;*

отчёт о патентных исследованиях;

акт изготовления объектов испытаний;

и т. п.

⁴ Для исследовательских испытаний по ГОСТ 16504.

⁵ Для ПМ предварительных испытаний.

⁶ Для ПМ приёмочных (опытно-промышленных) испытаний.

⁷ В соответствии с количеством, указанным в ТЗ.

2 Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний

2.1 Место проведения испытаний

Испытания проводятся на базе (*полное наименование Получателя субсидии*).

Испытания по (*номера пунктов настоящей программы*) проводятся в (*полное наименование полигона, специализированного института, испытательного центра, лаборатории и т.п.*)⁸.

...

2.2 Требования к средствам проведения испытаний

2.2.1 Перечень средств проведения испытаний приведён в приложении Б.

2.2.2 Средства измерений, указанные в приложении Б, могут быть заменены другими, обеспечивающими требуемую точность измерений.

2.2.3 Средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, должны быть проверены по ПР 50.2.006, а не подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору – калиброваны по ПР 50.2.016 или проверены.

2.2.4 Испытательное оборудование должно быть аттестовано по ГОСТ Р 8.568.

2.3 Требования к условиям проведения испытаний (состояние окружающей, искусственно создаваемой или моделируемой среды и т.п.)

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях⁹:

температура окружающего воздуха, °C 20 ± 10

относительная влажность воздуха, % от 45 до 80

атмосферное давление, мм рт. ст. от 630 до 800

2.4 Требования к подготовке объекта испытаний

2.4.1 Нарботка объекта испытаний перед началом испытаний должна составлять _____ часов и подтверждаться перечнем ранее проведенных испытаний с фиксацией наработки.

2.5 Требования к обслуживанию объекта испытаний в процессе испытаний

В процессе проведения испытаний проводятся работы в объеме контрольного осмотра объекта испытаний и, при необходимости, его текущего обслуживания.

2.6 Требования к порядку работы на объекте испытаний по завершении испытаний

...

2.7 Требования к персоналу, осуществляющему подготовку к испытаниям и испытания

К проведению испытаний допускается персонал, прошедший обучение и (при необходимости) аттестацию, изучивший эксплуатационную документацию объекта испытаний, подготовленный в соответствии с «*Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей*» и «*Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей*» и имеющий степень аттестации по электробезопасности не ниже III-ей группы

⁸ В случае проведения части испытаний не на базе *Получателя субсидии*, а на базе организаций, имеющих специально оборудованную испытательную базу или имеющих аккредитацию на проведение обязательных видов испытаний.

⁹ Если иное не оговорено в разделах 4 и 6 ПМ.

и т. п.

При проведении работ при проверке и испытаниях персонал обязан соблюдать правила техники безопасности согласно «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей»

и т. п.

Порядок обучения и аттестации персонала, участвующего в испытаниях, должен соответствовать _____.

3 Требования безопасности

3.1 Требования безопасности при подготовке объекта испытаний к испытаниям

...

3.2 Требования безопасности при проведении испытаний

...

3.3 Требования безопасности при выполнении работ по завершению испытаний

4 Программа испытаний

Определяемые показатели и точность их измерений¹⁰:

Пример

Пункт программы испытаний	Вид испытаний (проверок)	Пункт требований ТЗ	Ед. изм.	Номинальное значение	Предельные отклонения	Пункт методики
4.1	Проверка технической документации на соответствие установленной комплектности и оценка её качества.	<i>Указывается номер пункта ТЗ или документ «Комплектность разрабатываемой технической документации, согласованная с заказчиком»</i>				6.1
4.2	Проверка соответствия объекта испытаний его конструкторской документации					6.2

¹⁰ Состав граф 4, 5 и 6 может уточняться в зависимости от формы задания требований в ТЗ.

Пункт программы испытаний	Вид испытаний (проверок)	Пункт требований ТЗ	Ед. изм.	Номинальное значение	Пределные отклонения	Пункт методики
4.3	<i>Проверка показателей назначения</i>					
4.3.1						
4.3.2						
...						
4.3.N						
	<i>...Проверка выполнения требований эксплуатации, удобству технического обслуживания</i>					
	<i>...Проверка габаритов и массы</i>					
	<i>...Проверка потребляемой мощности</i>					
	<i>...Испытание на устойчивость при воздействии синусоидальной вибрации.</i>					
	<i>...Испытание на устойчивость при воздействии механических ударов</i>					
	<i>...Испытание на прочность и устойчивость при воздействии механических ударов одиночного действия</i>					
	<i>...Испытание на воздействие пониженной температуры</i>					
	<i>...Испытание на воздействие повышенной температуры</i>					
	<i>...Испытание на</i>					

Пункт программы испытаний	Вид испытаний (проверок)	Пункт требований ТЗ	Ед. изм.	Номинальное значение	Пределные отклонения	Пункт методики
	<i>прочность при транспортировании</i>					
	<i>...Испытание на прочность при воздействии синусоидальной вибрации</i>					
	<i>...Испытание на прочность и устойчивость при воздействии механических ударов многократного действия</i>					
	<i>...Испытание на прочность при падении</i>					
	<i>...Проверка на герметичность</i>					
	<i>...Испытание на воздействие атмосферных осадков</i>					
	<i>...Испытание на воздействие песка и пыли</i>					
	<i>...Проверка выполнения требований по надежности</i>					
	<i>...Проверка выполнения требований по консервации, упаковке и маркировке</i>					
	<i>...Проверка выполнения требований по эргономике и технической эстетике</i>					
	<i>...Проверка выполнения требований по безопасности</i>					

Пункт программы испытаний	Вид испытаний (проверок)	Пункт требований ТЗ	Ед. изм.	Номинальное значение	Пределные отклонения	Пункт методики
	<i>...Проверка выполнения требований по технологичности</i>					
	<i>...Проверка выполнения требований к сырью, материалам и комплектующим изделиям</i>					
	<i>...Проверка выполнения требований к патентной чистоте и патентной защите технических решений</i>					
...						
4.N	<i>Программа обязательного вида испытаний¹¹, подлежащего выполнению юридическими лицами, области аккредитации которых содержат испытания данного вида (приложение Г).</i>					6.N.
4.(N+1)	<i>... Проверка выполнения требований ТЗ общего характера¹²</i>					
	<i>... и т. п.</i>					

5 Режимы испытаний

5.1 Порядок испытаний

Для проведения испытаний приказом *руководителя Получателя* субсидии

¹¹ Программа и методики обязательных видов испытаний (например, испытания средств измерений в целях утверждения типа) разрабатываются в установленном порядке и после согласования и утверждения прилагаются к настоящей ПМ.

¹² При проведении приёмочных испытаний включаются те пункты требований ТЗ, которые должны быть отражены в «Ведомости соответствия результатов работы требованиям ТЗ» и окончательно не проверены (испытаны) на предыдущих стадиях разработки.

назначается комиссия¹³.

Испытания проводятся в соответствии с планом-графиком, утверждаемым руководителем Получателя субсидии¹⁴.

Последовательность проведения испытаний может быть изменена по решению комиссии.

5.2. Правила регулировки (настройки) в процессе подготовки объекта испытаний к испытаниям.

5.3. Ограничения и другие указания, которые необходимо выполнять на всех или на отдельных режимах испытаний

Испытания прекращаются в случаях:

несоответствия получаемых результатов требованиям ТЗ;

возникновения аварийных ситуаций;

5.4 Условия перерыва, аннулирования и возобновления испытаний на всех или на отдельных режимах

Необходимость, условия и порядок перерыва, аннулирования или прекращения испытаний определяется комиссией.

6 Методы испытаний¹⁵

6.1 Проверка по п. 4.1. Программы выполняется следующим образом.

Проверяется соответствие технической документации на объект испытаний комплектности, приведенной в п. 4.1. Программы, и её качества – требованиям [ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД, другой нормативно-технической документации – указывается в соответствии с требованиями ТЗ]

Комплект технической документации считается выдержавшим испытание, если его комплектность соответствует требованиям, приведенным в п. 4.1. Программы, а качество – требованиям [ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД, другой нормативно-технической документации – указывается в соответствии с выполненными требованиями ТЗ].

6.2 Проверка по п. 4.2. Программы выполняется следующим образом.

Проверяется соответствие объекта испытаний КД.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если он соответствует КД.

¹³ При проведении предварительных испытаний и испытаний более ранних стадий. Текст этого абзаца для приёмочных (опытно-промышленных) испытаний: «Контроль полноты, достоверности и объективности хода и результатов приёмочных [опытно-промышленных] испытаний, полноты информации, соблюдения сроков испытаний и документальное оформление их результатов осуществляет комиссия по приёмке работ, назначенная Получателем. В состав комиссии должны входить представители Индустриального партнёра и Монитора».

¹⁴ Текст для приёмочных [опытно-промышленных] испытаний: «комиссией».

¹⁵ Если методики испытаний не являются типовыми стандартизованными, они должны быть аттестованы по ГОСТ 8.563.

Для определения показателей (характеристик), которые не могут быть определены прямым или косвенным измерением методики должны содержать:

- формулы расчета в конечном виде (без выводов) с объяснением символов, обозначений и коэффициентов.
- номограммы, диаграммы, графики зависимости отдельных параметров изделия от состояния внешней среды, других параметров;
- способы оценки качественной характеристики.

6.N Испытание по п. 4.N. Программы выполняется в соответствии с методиками «Программы и методик проведения обязательного вида испытаний, подлежащего выполнению юридическими лицами, области аккредитации которых содержат испытания данного вида» (приложение Г). К протоколу (акту) испытаний должна быть приложена копия аттестата аккредитации организации, проводившей испытания.

Примечание

Испытания по пунктам Программы, которые соответствуют проекту ТУ, проводятся по соответствующим методикам проекта ТУ. При этом методике испытаний следует излагать следующим образом:

«Испытание по п. __ Программы выполняется в соответствии с п. __ раздела «Методы контроля» проекта ТУ на продукцию. Объект испытаний считается выдержавшим испытание, если, результаты испытания [соответствуют данным/меньше/равны/превышают] значения(м), приведенные в п. __ таблицы __ настоящей ПМ».

1) При отсутствии проекта ТУ методика испытаний приводится либо со ссылками на типовые стандартизированные методики либо в прямом изложении, НАПРИМЕР:

А) Испытание по п. __ Программы выполняется следующим образом. Проводится измерение величины сопротивления заземления по принципу метода амперметра и вольтметра в соответствии с пунктом 6.4. главы «Методы и средства измерения электрических величин» пособия «Измерения в электрических цепях» (УМИТЦ Мосгорэнергонадзора, М., 2001 г.) в следующих точках: ____, ____, ____.

Объект испытаний считается выдержавшим испытание, если величина сопротивления заземления равна или превышает значение, приведенное в п. __ таблицы __ настоящей ПМ.

Б) Испытание по п. __ Программы выполняется следующим образом. При помощи токоизмерительных клещей Ц45-01 производится измерение тока в каждой фазе при рабочей температуре на нагревателе 2500 °С. Номинальная мощность в каждой из трех фаз (S_1 , S_2 , S_3) рассчитывается по формуле:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_C \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi,$$

где S – номинальная мощность, Вт;

U_C – сетевое напряжение, 380 В;

I_ϕ – ток фазы, А;

φ - угол сдвига фаз между напряжением и током, измеряется трехфазным фазометром С302-М1-1 ГОСТ 8039.

Мощность, потребляемая от сети, определяется усреднением результатов измерений – $S = (S_1 + S_2 + S_3) / 3$.

Объект испытаний считается выдержавшим испытание, если величина мощности, потребляемой от сети, не превышает значения, приведенного в п. __ таблицы __ настоящей ПМ.

7 Отчётность

7.1 Заданные и фактические данные, полученные при испытаниях по каждому пункту программы, оформляются протоколами, представляемыми на

заседание комиссии. Типовая форма протокола испытаний приведена в приложении В.

В протоколы вносятся все первичные данные, получаемые в процессе испытаний, и затем – результаты расчетов или иной обработки, предусмотренных разделом 6 ПМ.

Большой объем первичных данных (в том числе, распечаток ЭВМ, содержащих однозначную привязку к месту, времени и объекту испытаний) допускается приводить в приложениях к протоколам, подписываемых лицами, проводящими испытания.

В согласованных случаях допускается оформлять одним протоколом данные, полученные при испытаниях по нескольким пунктам программы.

При проведении испытаний по отдельным пунктам настоящей Программы на базе организаций, имеющих специально оборудованную испытательную базу или имеющих аккредитацию на проведение обязательных видов испытаний, протоколы (акты) этих испытаний должны оформляться отдельно от протоколов по другим видам испытаний.

7.2 По результатам испытаний в течение 3 дней комиссией составляется акт испытаний.

Акт испытаний должен содержать:

подтверждение выполнения программы испытаний;

оценку результатов испытаний с конкретными точными формулировками, отражающими соответствие объекта испытаний требованиям ТЗ;

выводы по результатам испытаний;

заключение о возможности предъявления объекта испытаний на следующий этап испытаний (возможности промышленного производства и реализации продукции)¹⁶;

К акту прилагаются протоколы испытаний по пунктам программы.

7.3 Первичные материалы испытаний хранятся у [Получателя] в течение 10 лет со дня окончания испытаний.

7.4 Отчётная документация рассылается в следующие адреса:

Минобрнауки России;

Индустриальному партнёру

Приложения

Приложение ТЗ.А	Перечень ссылочных документов
Приложение ТЗ.Б	Перечень средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для проведения испытаний
Приложение ТЗ.В	Типовая форма протокола испытаний
Приложение ТЗ.Г	«Программа и методики обязательного вида испытаний»

¹⁶ По результатам приёмочных испытаний.

Приложение ТЗ.А
*К Программе и методикам испытаний
изделий машиностроения,
приборостроения
и программно-аппаратных
комплексов*

Пример

Перечень ссылочных документов

ГОСТ 12.2.007.9	ССБТ. Электропечи. Требования безопасности
ГОСТ 12.3.019	ССБТ. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности.
ГОСТ 2874	Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством.
ГОСТ 15150	Машины, приборы и другие технические средства. Исполнение для различных климатических районов. Категория, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
ГОСТ 21130	Изделия электрические. Зажимы заземляющие. Знаки защитного заземления. Конструкция и размеры.
ОСТ 88 211	Приборы и средства автоматизации для научных исследований. Приемка, маркировка, упаковка, транспортирование, хранение и гарантии изготовителя.
ГОСТ 21657	Электрическая изоляция изделий ГСП. Технические требования и методики испытаний.
ГОСТ 27209	Оборудование электротермическое. Методы испытаний «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей». М., Госэнергонадзор, 1994 «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей», М., Энергосервис, 2003 г. «Измерения в электрических цепях», УМИТЦ Мосгорэнергонадзора, М., 2001 г.

Приложение ТЗ.Б
к Программе и методикам испытаний
изделий машиностроения,
приборостроения
и программно-аппаратных
комплексов

Пример

**Перечень средств измерений и испытательного оборудования,
необходимых для проведения испытаний**

Наименование, тип и марка	Кол- во	ГОСТ, ТУ или обозначение	Основные характеристики
Ампервольтметр	1	ТУ 22-04-1364	Класс точности 0,15/0,005. Пределы измерений 10 и 100 мВ; 1, 10, 100 и 350 В.
Клещи электроизмерительные Ц4501	1	ГОСТ 9071	Класс точности 4
Штангенциркуль	1	ГОСТ 166	Класс точности 2
Угольник	1	ГОСТ 3719	Класс точности 2. Цена деления 1мм
Термопара ТХК	1	ГОСТ Р 8.585	Класс точности 2
Пирометр оптический ЭОП-66	1	ТУ 50-127-77	Цена деления 10°С. Диапазон 800-10 000°С
Потенциометр ПП-63	1	ТУ- I.OПП.533.420-60	Класс точности 0,05
Секундомер механический СДС _{пр} -1-2-000	1	ГОСТ 5072	Класс точности 2. Секундомерная шкала с оцифровкой от 1 до 30 с.
Фазометр трехфазный С302- М1-1	1	ГОСТ 8039	Класс точности 1,5. Диапазон измерений коэффициента мощности 0,5-1-0,5 или 0,9-1-0,2

Приложение ТЗ.В
к Программе и методикам испытаний
изделий машиностроения,
приборостроения
и программно-аппаратных
комплексов

Типовая форма

ПРОТОКОЛ
испытания по пункту № __
Программы и методики (вид испытаний) испытаний
Обозначение документа
№ __
число месяц в родительном падеже 20__ г.

1. Объект испытания: Наименование и обозначение в соответствии с основным конструкторским документом в количестве число шт., заводские №№ цифрами, акты заводского изготовления № число от дата, № число от дата,

2. Цель испытания: проверка соответствия объекта испытания требованиям пункта № число Технического задания.

3. Дата начала испытания: число месяц в родительном падеже 20__ г.

4. Дата окончания испытания: число месяц в родительном падеже 20__ г.

5. Место проведения испытания:

6. Средства проведения испытаний

[наименование + тип + заводской № + дата последней и срок последующей аттестации (для средств измерений – поверки/калибровки)], например:

А) мегаомметр М4100/3 зав.№0000000001, поверен 01.01.2013, следующая поверка 01.01.2014.

7. Результаты испытания¹⁷

Наименование параметра	Ед. изм.	Номера пунктов			Требования к параметру		Измеренное значение		
		Технического задания	Программы испытаний	Методик испытаний	Номинальное значение	Предельное отклонение	Нормальные условия	Во время воздействия	После воздействия

8 Замечания и рекомендации

9 Выводы

9.1 Объект испытания наименование объекта выдержал (не выдержал) испытание по пункту № число Программы и методики обозначение документа.

9.2 Объект испытания наименование соответствует (не соответствует) требованиям пункта № число Технических требований.

Испытание проводили

Должность

И.О.Фамилия

¹⁷ Состав граф «Требования к параметру» и «Измеренное значение» может уточняться в зависимости от формы задания требований в ТЗ.

Преподаватель выдаёт задание, выдаёт светодиоды и их технические характеристики.

Задача студента заключается в разработке программы и методик испытаний светодиодов.

Виды испытаний:

1. Определение области допустимого форсирования испытаний, при которой сохраняются те же физико-химические процессы деградации что и в условиях реальной эксплуатации.

2. Определение энергии активации отказов методом ступенчатых испытаний.

3. Проведение ускоренных испытаний для прогнозирования срока службы светодиодов.

Студент определяет параметры критерии годности светодиода, например, отказ в работе светодиода связанный с пробоем или обрывом, или снижение светового потока на 50% от первоначального значения, или изменение значения коррелированной цветовой температуры за пределы диапазона, указанного в ТЗ после ускоренных испытаний.

1.3 Измерение основных параметров светодиодов до испытаний в соответствии программой и методиками (Лабораторная работа)

Оборудование и оснастка

1. Измеритель светового потока "ТКА-КК1" ТУ 4486-016-16796024-2011

Прибор предназначен для измерения полного светового потока светодиодов в видимой области спектра (от 380 до 780 нм) по методу "интегрирующей сферы" ("сферы Ульбрихта"). Конструктивно прибор состоит из двух функциональных блоков. Диаметр сферы 140 мм, приёмник света – фотодиод, размещённый в нижней полусфере. Измерительный блок выполнен в виде шара на жёстком основании, шар является "интегрирующей сферой". В нём имеется входной тубус для установки светодиодов диаметром до 14 мм и сменных диафрагм, входящих в комплект, для позиционирования светодиодов диаметрами 3,5,9 мм.

Основные технические характеристики:

- диапазон измерения светового потока 1 - 200 000 мЛм;
- основная относительная погрешность измерения светового потока, не более 10,0%;
- время непрерывной работы прибора не мене 8,0 ч;

Рабочие условия эксплуатации прибора:

- температура окружающего воздуха от 0 до 40°C
- относительная влажность воздуха при температуре окружающего воздуха 25°C, 65±15%
- атмосферное давление 86-107 кПа.

2. Источники питания MPS 3003

Основные технические характеристики:

Многооборотный регулятор для точной установки напряжения, последовательное и параллельное соединение 2х каналов: автотрекинг, 2-х полярный выход, режимы работы: стабилизация тока, напряжения и динамическая нагрузка, индикация: 3-разрядные LED-дисплеи на ток и напряжение, защита от перегрузки и переплюсовки, электронное отключение нагрузки 2 вентилятора охлаждения, включен в Госреестр средств измерений, регистрационный номер 32050-06.

- выходное напряжение 30 В.
- ток 3 А.
- уровень пульсаций 1 мВ.
- количество каналов 2 + 1.

- дополнительный канал 5В/3А.
- точность установки 0.1В/0.01А.
- влияние нагрузки 0.01% ±3мВ.
- влияние сетевое напряжения 0.01% ±3мВ.
- размер 155x375x255 мм.

3. Цифровой миллиамперметр.

4. Светодиоды белого цвета свечения.

5. Соединительные провода.

6. Камера тепла Электродпечь «SNOL»

Основные характеристики: (30-350) 0С ±30С

7. Спектроколориметр "ТКА-ВД"

Предназначен для измерения спектральных характеристик источников оптического излучения координат цветности x , y , z , v , координат цвета X, Y, Z , коррелированной цветовой температуры T_c . В зависимости от конфигурации входного устройства прибор работает как в режиме яркомера (модель 01) или в режиме измерения освещенности (модель 02).

Основные технические характеристики:

- диапазоны измерения:

освещенности, лк (10 - 200 000);

яркости, кд/м² (10 - 20 000);

цветовой температуры, К (1600 - 16 000);

- предел допустимого значения основной относительной погрешности измерения:

освещенности, % ±10,0;

яркости, % ±10,0;

- пределы допустимого значения абсолютной погрешности измерения координат цветности x , y , не более:

тепловых источников ±0,005 ;

- для питания прибора используется аккумулятор 170 мАч 8,4 В (типоразмер батареи "Крона").

- габаритные размеры прибора, мм (не более):

измерительный блок 160x85x30, фотометрическая головка 150x98x50;

- масса прибора, кг (не более) 0,6.

- Средняя наработка на отказ, ч, не менее 2500.

Задание на лабораторную работу

Преподаватель выдаёт задание, выдаёт светодиоды и их технические характеристики.

Задача студента заключается в измерении основных характеристик по разработанной на практическом занятии программой и методиками испытаний светодиодов.

В целом ход лабораторной работы выглядит следующим образом:

1. Собрать схему включения светодиода с источником питания и миллиамперметром.
2. Поместить светодиод в измеритель светового потока, при этом обеспечить изоляцию соединительных проводов, подводимых к светодиоду.
3. На источнике питания установить стабилизацию по значению прямого тока.
4. Все данные результатов измерений записывать в протокол испытаний.
5. Включить спектроколориметр, расположить его на определённом расстоянии от светодиода.
6. На источнике питания установить стабилизацию по значению прямого тока.
7. Все данные результатов измерений записывать в протокол испытаний.
8. Ответить на контрольные вопросы.
9. Написать часть отчёт.

Контрольные вопросы

1. Принцип работы спектроколориметра.
2. Почему светодиод следует выдержать в рабочих электрических режимах в течение пяти минут перед проведением измерений.
3. Какие погрешности измерений бывают.

2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ СВЕТОДИОДОВ И СВЕТОДИОДНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСЧЁТНЫМ МЕТОДОМ

2.1 Отечественные и зарубежные стандарты по прогнозированию срока службы светодиодов и светотехнических устройств. Определение энергии активации отказов светодиодов. Надёжность устройств питания светодиодов. (Самостоятельная работа)

2.1.1 Отечественные и зарубежные стандарты по прогнозированию срока службы светодиодов и светотехнических устройств

Важной отличительной особенностью СД от других источников света является его срок службы, производители гарантируют 80 тыс. часов и более [64-70]. Зарубежные производители СД фирмы Cree [13], Philips Lumileds [53], Nichia [52], Osram [58] применяют для определения срока службы светодиодов стандарт LM-80. В процессе испытания партии СД строят зависимость светового потока от времени испытаний.

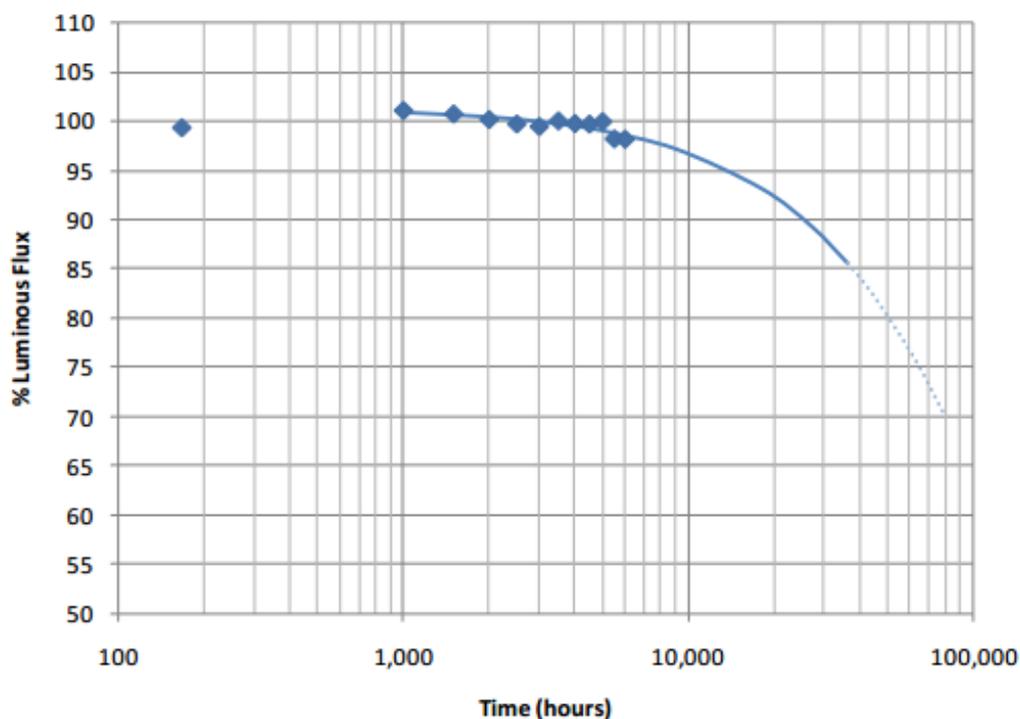


Рисунок 3. Прогнозируемый срок службы СД и результаты испытаний [13, 71]

На срок службы СД влияет ряд факторов, как эксплуатационных, так и технологических. К эксплуатационным факторам можно отнести режимы эксплуатации светодиода: электрические, климатические и воздействие на СД специальных факторов и

сред. К технологическим относятся: технология выращивания эпитаксиальной структуры, материал подложки, методы и материалы омических контактов, метод монтажа кристалла в корпус (посадки на клей или пайка), метод монтажа электрических соединений (воздействием давления и температурой или ультразвуком), метод герметизации СД. При этом наиболее уязвимым технологическим фактором является технология монтажа электрических соединений [71].

В отечественной промышленности для определения срока службы полупроводниковых приборов используют стандарт ОСТ11-336.938-83 [72, 73], данный стандарт описывает методику проведения ускоренных испытаний, методику выбора режимов и методику определения энергии активации отказов. Согласно методике, ускоренные испытания для определения срока службы светодиодов предусматривают форсирование, приводящее к интенсификации физико-химических процессов деградации СД без изменения основных механизмов отказов [72].

Коэффициент ускорения определяется энергией активации отказов (E_a).

$$K_y = \exp(E_a / k) \times (1 / (Q_{pn} + 273)) - (1 / (Q_{pny} + 273)), \quad (17)$$

где K_y – коэффициент форсирования ускоренных испытаний; E_a – энергия активации отказов, эВ; k – постоянная Больцмана; Q_{pn} – температура р-п перехода в нормальных условиях эксплуатации (в рабочем режиме), °С; Q_{pny} – температура р-п перехода в ускоренном режиме испытаний, °С.

Номинальное время наработки $t_{ном}$ (срок службы СД) определяют по уравнению, задав коэффициент форсирования K_y исходя из режимов ускоренных испытаний [72]:

$$t_{ном} = t_y \times K_y \quad (18)$$

где t_y – время испытаний в ускоренном режиме. Значение времени наработки в ускоренном режиме не должно быть меньше 1000 часов.

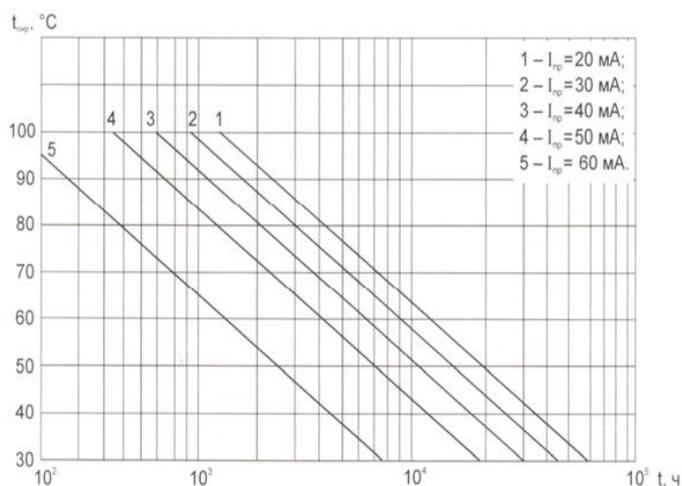


Рисунок 4. Расчётная зависимость срока службы светодиода от температуры активной области кристалла

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 20 июля 2011 г. N 602 г. Москва «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения» светодиодные источники света должны обеспечивать продолжительность горения не менее 25000 часов [74, 75].

2.1.2 Определение энергии активации отказов светодиодов

Энергия активации отказов E_a определяется методом ступенчатых испытаний в соответствии с ОСТ. Результаты обрабатываются по формуле графическим или аналитическим методом:

$$E_a = 8,62 \times 10^{-2} \times ((\ln t_a - \ln t_b) / ((10^3 / T_A) - (10^3 / T_b)), \quad (19)$$

где $\ln t_a$ и $\ln t_b$ логарифм времени наработки до отказа в точке (a) и в точке (b), T_a и T_b температура р-п перехода в момент отказа СД в точке (a) и в точке (b) на графике линейной регрессии.

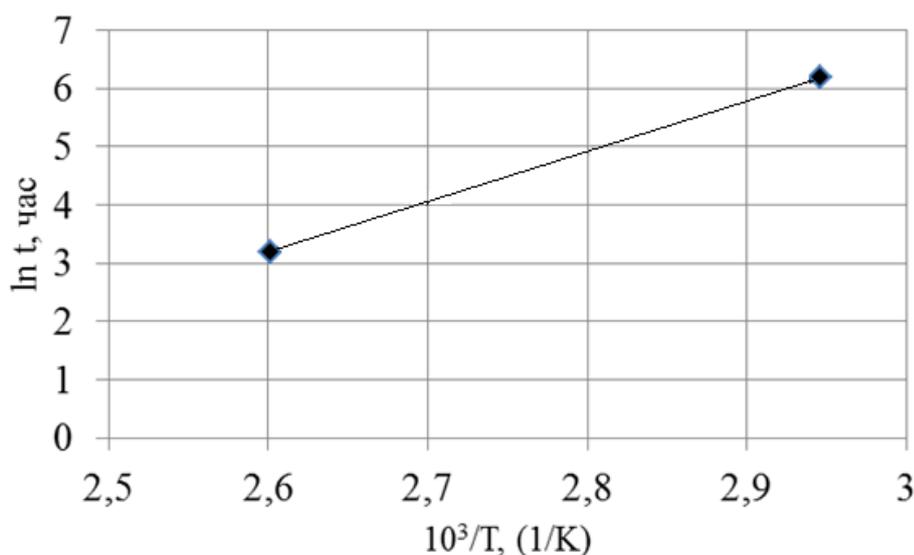


Рисунок 5. График зависимости времени наработки до отказа от температуры испытаний

Для прогнозирования срока службы СД необходимо провести целый комплекс испытаний. Определить его энергию активации отказов, область допустимого форсирования и провести ускоренные испытания на определение срока службы.

2.1.3 Надёжность устройств питания светодиодов

Светодиодная лампа со встроенным устройством управления (драйвером) для напряжения питания от сети 220 В должна быть испытана при циклическом изменении температуры и при переключении питающего напряжения:

Испытание при циклическом изменении температуры

выдерживать светодиодную лампу без подачи напряжения при температуре минус 10 °С в течение одного часа. Затем аналогично выдержать в камере тепла при температуре 40 °С в течение часа. Повторить пять раз.

Испытание и при переключении питающего напряжения.

Включить лампу при рабочем напряжении на 30 секунд, затем выключить на 30 секунд, затем опять включить. Число переключений соответствует половине номинального срока службы лампы в часах (пример: 10000 циклов при нормируемом сроке службы 20000 ч).

После проведения испытаний лампа должна работать и оставаться светящейся в течение 15 минут.

После этих испытаний лампа должна работать при рабочем напряжении и температуре окружающей среды 45 °С до 25% нормируемого срока службы лампы (с максимумом 6000 ч). После испытаний лампу выдержать при комнатной температуре и включить, она должна оставаться светящейся в течение 15 минут.

2.2 Прогнозирование срока службы светодиода в зависимости от тепловых и электрических режимов (Практическое занятие)

Задание. Определить значение прогнозного срока службы светодиода, если значение прямого тока, значение прямого напряжения, тепловое сопротивление известны из предыдущего практического занятия и лабораторной работы, при температуре эксплуатации $T_{окр} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, энергией активации $0,75 \text{ эВ}$ и срок службы $80\,000$ часов.

Пример решения задания:

Дано:

$$I_{пр} = 20 \text{ мА},$$

$$U_{пр} = 3.2 \text{ В},$$

$$R_t = 150 \text{ К/Вт},$$

$$T_{окр} = 25 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$E_a = 0,75 \text{ эВ},$$

$$t_{ном} = 80\,000 \text{ часов}.$$

Определить: t_y – срок службы светодиода при $T_{окр} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение:

Определим температуру р-п перехода светодиодного кристалла по формуле:

$$Q_{pn} = Q_{окр} + (R_t \times P)$$

где, $Q_{окр}$ – температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$;

P – электрическая мощность (Вт), определяют из уравнения:

$$P = I \times U,$$

$I_{пр}$ – прямой ток через светодиодный кристалл, А;

$U_{пр}$ – прямое напряжение светодиодного кристалла, В.

$$Q_{pn} = (25 \text{ }^\circ\text{C} + 150 \text{ К/Вт} \times 0,064 \text{ Вт}) = 34,6 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$Q_{pny} = (65 \text{ }^\circ\text{C} + 150 \text{ К/Вт} \times 0,064 \text{ Вт}) = 74,6 \text{ }^\circ\text{C},$$

Определим коэффициент ускорения по формуле:

$$K_y = \exp(E_a / k) \times (1 / (Q_{pn} + 273)) - (1 / (Q_{pny} + 273))$$

$$K_y = \exp(((0,75 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) / (1,38 \cdot 10^{-22}))) \times ((1 / (34,6 + 273)) - (1 / (74,6 + 273)))$$

$$K_y = 1,38$$

$$t_y = t_{ном} / K_y$$

$$t_y = 80\,000 / 1,38 = 57\,784 \text{ часов}.$$

Ответ: Срок службы светодиода при $T_{окр} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$ составил: $t_y = 57\,784$ часов.

2.3 Проведение испытаний светодиодов (Лабораторная работа)

Оборудование и оснастка

1. Измеритель светового потока "ТКА-КК1" ТУ 4486-016-16796024-2011

Прибор предназначен для измерения полного светового потока светодиодов в видимой области спектра (от 380 до 780 нм) по методу "интегрирующей сферы" ("сферы Ульбрихта"). Конструктивно прибор состоит из двух функциональных блоков. Диаметр сферы 140 мм, приёмник света – фотодиод, размещённый в нижней полусфере. Измерительный блок выполнен в виде шара на жёстком основании, шар является "интегрирующей сферой". В нём имеется входной тубус для установки светодиодов диаметром до 14 мм и сменных диафрагм, входящих в комплект, для позиционирования светодиодов диаметрами 3,5,9 мм.

Основные технические характеристики:

- диапазон измерения светового потока 1 - 200 000 мЛм;
- основная относительная погрешность измерения светового потока, не более 10,0%;

- время непрерывной работы прибора не мене 8,0 ч;

Рабочие условия эксплуатации прибора:

- температура окружающего воздуха от 0 до 40°C
- относительная влажность воздуха при температуре окружающего воздуха 25°C, 65±15%

- атмосферное давление 86-107 кПа.

2. Источники питания MPS 3003

Основные технические характеристики:

Многооборотный регулятор для точной установки напряжения, последовательное и параллельное соединение 2х каналов: автотрекинг, 2-х полярный выход, режимы работы: стабилизация тока, напряжения и динамическая нагрузка, индикация: 3-разрядные LED-дисплеи на ток и напряжение, защита от перегрузки и переполюсовки, электронное отключение нагрузки 2 вентилятора охлаждения, включен в Госреестр средств измерений, регистрационный номер 32050-06.

- выходное напряжение 30 В.

- ток 3 А.

- уровень пульсаций 1 мВ.

- количество каналов 2 + 1.

- дополнительный канал 5В/3А.

- точность установки 0.1В/0.01А.

- влияние нагрузки $0.01\% \pm 3\text{мВ}$.
- влияние сетевое напряжения $0.01\% \pm 3\text{мВ}$.
- размер 155x375x255 мм.

3. Цифровой миллиамперметр.

4. Светодиоды белого цвета свечения.

5. Соединительные провода.

6. Камера тепла Электропечь «SNOL»

Основные характеристики: $(30-350) \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 30\text{C}$

7. Спектроколориметр "ТКА-ВД"

Предназначен для измерения спектральных характеристик источников оптического излучения координат цветности x, y, z, v , координат цвета X, Y, Z , коррелированной цветовой температуры T_c . В зависимости от конфигурации входного устройства прибор работает как в режиме яркомера (модель 01) или в режиме измерения освещенности (модель 02).

Основные технические характеристики:

- диапазоны измерения:

освещенности, лк (10 - 200 000);

яркости, кд/м² (10 - 20 000);

цветовой температуры, К (1600 - 16 000);

- предел допустимого значения основной относительной погрешности измерения:

освещенности, $\% \pm 10,0$;

яркости, $\% \pm 10,0$;

- пределы допустимого значения абсолютной погрешности измерения координат цветности x, y , не более:

тепловых источников $\pm 0,005$;

- для питания прибора используется аккумулятор 170 мАч 8,4 В (типоразмер батареи "Крона").

- габаритные размеры прибора, мм (не более):

измерительный блок 160x85x30, фотометрическая головка 150x98x50;

- масса прибора, кг (не более) 0,6.

- Средняя наработка на отказ, ч, не менее 2500.

Задание на лабораторную работу

Установить светодиоды в испытательное оборудование (камера тепла, источник питания). Установить режимы испытаний предусмотренной программой и методиками испытаний. Провести испытания.

По разработанной на практическом занятии программе и методиками испытаний светодиодов после проведения испытаний провести необходимые измерения основных характеристик светодиода.

1. В целом ход лабораторной работы выглядит следующим образом:
2. Собрать испытательное оборудование.
3. Поместить в испытательное оборудование светодиоды.
4. Провести испытания.
5. Провести измерения основных характеристик светодиодов в соответствии с программой и методиками испытаний.
6. Все данные результатов измерений записывать в протокол испытаний.
7. Составить акт испытаний светодиодов.
8. Ответить на контрольные вопросы.
9. Подготовить отчёт.

Контрольные вопросы

1. Почему источник питания ламп испытывают на переключение напряжения, какие процессы происходят в источнике питания и какие элементы схемы при этом максимально подвержены деградации.
2. По каким критериям выбирают режимы испытаний светодиодов.
3. Какие основные требования к испытательному оборудованию для светодиодов.

3. МЕХАНИЗМЫ ДЕГРАДАЦИИ СВЕТОДИОДОВ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

3.1 Физико-химические процесс деградации светодиодов. Деградация омических контактов. Деградация люминофорной композиции. (Самостоятельная работа)

Известно, что в современных нитридных кристаллах плотность дислокаций достигает 10^8 см^{-2} , но влияние дислокаций в системе дефектов неоднозначно, дислокации и их скопления могут быть электрически заряженными и за счёт кулоновских сил притягивать и отталкивать свободные носители заряда [1].

Известны также основные механизмы деградации светодиодов:

1. Деградация светодиодов связана с изменением сопротивления *p*-контактной области структуры полупроводника в связи с процессами диффузии и межфазными химическими реакциями [2].

Диффузия металлов омических контактов в слои проводника связана с перегревом контакта. Перегрев омических контактов происходит из-за эффекта стягивания тока при больших электрических нагрузках на светодиод. При перегреве атомы металлов омических контактов по дислокациям в структуре полупроводника проникают в активную область и приводят к шунтированию, короткому замыканию светодиода.

2. Механические напряжения в структуре светодиода [3].

Механические напряжения в полупроводнике вызываются смещение положения атомов кристаллической решетки, и может привести к смещению длины волны излучения и снижению срока службы, аналогично механическое повреждение может привести к трещинам и скола и разрушению светодиодного кристалла. Механические напряжения и микротрещины могут возникнуть по ряду факторов: нарушение технологического процесса изготовления полупроводниковой структуры, повышенной температурой эксплуатации, механическим воздействием на кристалл при присоединении проволоки к омическому контакту.

3. Перераспределение профиля водорода в структуре полупроводника [4].

4. Образование вакансий азота вследствие разрыва связей Ga-N в активной области кристалла СД [5, 6].

5. Миграция индия и магния в активной области полупроводника СД [7, 8].

6. Эффект стягивания тока под омическими контактами «Current crowding» кристалла СД [9].

7. Распад активатора люминофора (Ce) при температурах выше 120° C в СД и СИЭ.

3.2 Анализ дефектов светодиодов и светотехнических устройств (Практические занятия)

Задание.

1. Проанализировать результаты испытаний, протоколы и акт по предыдущим лабораторным работам.
2. Определить изменение характеристик светодиодов в процессе проведения испытаний.
3. Провести измерение прямой и обратной ВАХ светодиодов.
4. Провести измерения люмен амперной зависимости.
5. Провести измерения спектра свечения светодиодов.
6. Проанализировать характеристики светодиодов путём сравнения с «идеальными» описанными в [Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496 с.], проанализировать причины их отклонения от «идеальных» и объяснить эти причины основываясь на анализе литературы, проведённого в рамках выполнения самостоятельной работы.
7. Написать общий отчёт по результатам испытаний светодиодов и его защитить.

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
2. Nakamura S., Fasol G. The Blue Laser Diod (Springer, Berlin). – 1997. – С. 335.
3. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках / пер с англ. Ж. Панков; под ред. Ж.И. Алфёрова и В.С. Вавилова – М.: Мир, 1973. – 456 с.
4. Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
5. Берг А., Дин П. Светодиоды // Пер с англ. А. Э. Юнович. – М.: Мир, 1979. – 687 с.
6. Социн Н.П. Новые люминофоры для эффективных приборов твердотельного освещения. Круглый стол производство светодиодов в россии – дорожная карта. Материалы доклада. Москва 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nprpss.ru/sobytiya/vystavki-i-konferencii/kruglyj-stol-proizvodstvo-svetodiodov-v-rossii-dorozhnaya-karta.html>, свободный (дата обращения: 08.04.2013).
7. Шмидт Н.М., Аверкиев Н.С., Бауман Д.А., Закгейм А.Л., Левинштейн М.Е., Петров П.В., Черняков А.Е., Шабунина Е.И. Причины неоднозначного развития деградиационного процесса в синих InGaN/GaN светодиодах // 8-я Всероссийская конференция «Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы» . – 2011. – С. 109-110.
8. ОСТ11-336.938-83 Приборы полупроводниковые. Методы ускоренных испытаний на безотказность и долговечность. – 1983.
9. РД II 0216-85. Приборы полупроводниковые. Методы испытаний по определению конструкторско-технологического запаса.
10. Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 20 июля 2011 г. N 602 г. Москва «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения».
11. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р.
12. ГОСТ 27299-87 Приборы полупроводниковые оптоэлектронные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
13. ГОСТ 7601-78 Физическая оптика. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин.

14. Крутик М.И., Майоров В.П. Люмены, канделы, ватты и фотоны. Различные единицы - различные результаты измерения чувствительности телевизионных камер на основе ЭОП и ПЗС // Специальная техника. – 2002. – №5.
15. ГОСТ 18986.3-73 Приборы полупроводниковые. Метод измерения постоянного прямого напряжения и постоянного прямого тока. – 1973. – 3 стр.
16. ПР 50.2.006 Правила по метрологии. Порядок проведения поверки СИ. – 1994. – 10 стр.
17. ГОСТ 20.57.406 – 81 Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – 1981. – 132 стр.
18. ГОСТ 25024.4-85 Индикаторы знаковосинтезирующие. Методы измерения яркости, силы света, неравномерности яркости и неравномерности силы света. – 1985. – 33 стр.
19. ГОСТ 8.332 - 78 Государственная система обеспечения единства измерений. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. – 1978. – 8 стр.
20. ГОСТ 20.57.406 – 81 Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – 1981. – 132 стр.
21. ГОСТ 19834.3-76. Излучатели полупроводниковые. Метод измерения распределения энергии излучения и ширины спектра излучения. – 1976. – 7 стр.
22. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова и др.; под. ред. Л.П. Варфоломеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 288 стр.
23. Мешков В.В. Основы светотехники, ч.1 – М.: Энергия, 1979.
24. Мешков В.В., Матвеев А.Б., Основы светотехники, Ч-2. – М.: Энергоатомиздат, 1989
25. В.Е. Бугров, К.А. Виноградова. Оптоэлектроника светодиодов. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 174 с.
26. Солдаткин В.С. Модернизация и исследование характеристик светодиода белого свечения для поверхностного монтажа. Автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.11.07 / гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники (ТУСУР) РАН. Томск, 2013
27. Полупроводниковая светотехника: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 211000.62 – Конструирование и технология электронных средств / Туев В.И., Солдаткин В.С., Вилисов А.А. – 2015. 46 с.