

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

В.С. Солдаткин

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

Методические указания по выполнению практических и
самостоятельных работ для студентов технических направлений подготовки
и специальностей

Томск
2025

УДК 628.9
ББК 31.294
С 600

Солдаткин Василий Сергеевич

С 600 Светодиоды и светотехнические устройства: методические указания по выполнению практических и самостоятельных работ для студентов технических направлений подготовки и специальностей / В. С. Солдаткин. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2025 – 25 с.

Настоящие методические указания по выполнению практических и самостоятельных работ для студентов технических направлений подготовки и специальностей составлены с учётом требований федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО).

Методические указания предназначены для студентов, изучающих специальную дисциплину «Светодиоды и светотехнические устройства» и содержат необходимую информацию, используемую для выполнения практических и самостоятельных работ.

Одобрено на заседании каф. РЭТЭМ протокол № 94 от 17.04.2025.

УДК 628.9
ББК 31.294
© Солдаткин В.С., 2022
© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Практическое занятие № 1 РАСЧЁТ ОСВЕЩЁННОСТИ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ...	4
Краткая теория	4
Задание на практическую работу	4
Практическое занятие № 2 РАСЧЁТ ЗНАЧЕНИЯ СВЕТОВОЙ ОТДАЧИ СВЕТОДИОДА	6
Краткая теория	6
Задание на практическую работу	11
Практическое занятие № 3 АНАЛИЗ И ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДА БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ	12
Краткая теория	12
Задание на практическую работу	14
Практическое занятие № 4 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ СВЕТОДИОДОВ	15
Краткая теория	15
Задание на практическую работу	15
Практическое занятие № 5 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ И МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ СВЕТОДИОДОВ	17
Краткая теория	17
Задание на практическую работу	23
СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	24
Приложение А – Пример оформления титульного листа	25

Практическое занятие № 1 РАСЧЁТ ОСВЕЩЁННОСТИ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Целью работы освоить методику расчёта освещённости на рабочем месте.

Краткая теория

Как известно из СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» и СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение», освещение бывает: естественное, совмещенное, искусственное.

Искусственное освещение делится:

- освещение помещений производственных и складских зданий;
- освещение помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий;
- освещение площадок предприятий и мест производства работ вне зданий;
- освещение селитебных зон:
 - освещение улиц, дорог и площадей;
 - освещение пешеходных переходов;
 - освещение автотранспортных тоннелей;
 - освещение пешеходных пространств;
 - освещение территорий жилых районов;
- наружное архитектурное освещение зданий и сооружений:
 - витринное освещение;
 - рекламное освещение;
- аварийное освещение;
- аварийное освещение автотранспортных тоннелей;
- охранное и дежурное освещение.

Для каждого вида освещения существуют требования по освещённости.

Так в соответствии с СП 52.13330.2016 освещённость на рабочем месте, например, для работы за компьютером, должна составлять не менее 200 лк.

Освещённость при прямом освещении пересчитывается в силу света по формуле:

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (1)$$

где, E – освещённость, Вт/м²; I – сила света, Вт/ср; r – расстояние от источника света до поверхности, м.

Сила света пересчитывается в световой поток по формуле:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (2)$$

где, Φ – световой поток, Вт; I – сила света, Вт/ср; Ω – телесный (объёмный) угол, ср.

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos\left(\frac{\frac{\varphi \cdot \pi}{180}}{2}\right)\right) \quad (3)$$

При прямом нормальном освещении, если источник света имеет значение плоского угла $\varphi = 120$ градусов по уровню 0,5 от максимального значения силы света, то объёмный угол составляет $\Omega = 3,137$ ср.

Задание на практическую работу

Светильник имеет нормальное светораспределение и расположен на расстоянии r над поверхностью рабочего места. Значение освещённости на поверхности рабочего места

должно составлять 200 лк. Определите значение светового потока Φ .

Варианты задания

Вариант	Расстояние от светильника до поверхности рабочего места, м	Плоский угол излучения светильника по уровню 0,5 от максимального значения силы света, град.
1	1	60
2	1,5	60
3	2	60
4	2,5	60
5	3	60
6	1	80
7	1,5	80
8	2	80
9	2,5	80
10	3	80
11	1	120
12	1,5	120
13	2	120
14	2,5	120
15	3	120

Практическое занятие № 2 РАСЧЁТ ЗНАЧЕНИЯ СВЕТОВОЙ ОТДАЧИ СВЕТОДИОДА

Цель работы: освоить методику расчёта световой отдачи светодиода белого цвета свечения.

Краткая теория

Согласно ГОСТ Р МЭК 60050-845-2023 оптическое излучение – это электромагнитное излучение с длинами волн, лежащими в пределах между областью перехода к рентгеновским лучам (~ 1 нм) и областью перехода к радиоволнам (~ 1 мм).

К видимому излучению относится оптическое излучение, которое может непосредственно вызвать зрительное ощущение человека. Свет – излучение в видимом спектральном диапазоне, согласно ГОСТ Р 55704 – 2013, за нижний предел которого принимают значения от 360 до 400 нм, а за верхний предел – от 760 до 830 нм. Перевод фотометрических единиц в светотехнические осуществляется по формуле:

$$\Phi = K_{\text{Э.С.}} \times P_e, \quad (4)$$

где, Φ – световой поток, лм (сила света или освещённость); $K_{\text{Э.С.}}$ – коэффициент преобразования; P_e – поток излучения, Вт.

Коэффициент преобразования определяется по формуле:

$$K_{\text{Э.С.}} = \frac{K_m \int_{400}^{700} \varphi(\lambda) \times V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{400}^{700} \varphi(\lambda) \cdot d\lambda}, \quad (5)$$

где, K_m – множитель для дневного зрения равный 683 лм/Вт; $\varphi(\lambda)$ – спектральное распределение, Вт/нм; $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность излучения; λ – длина волны, нм.

Относительную спектральную световую эффективность излучения можно определить по рис. 1.

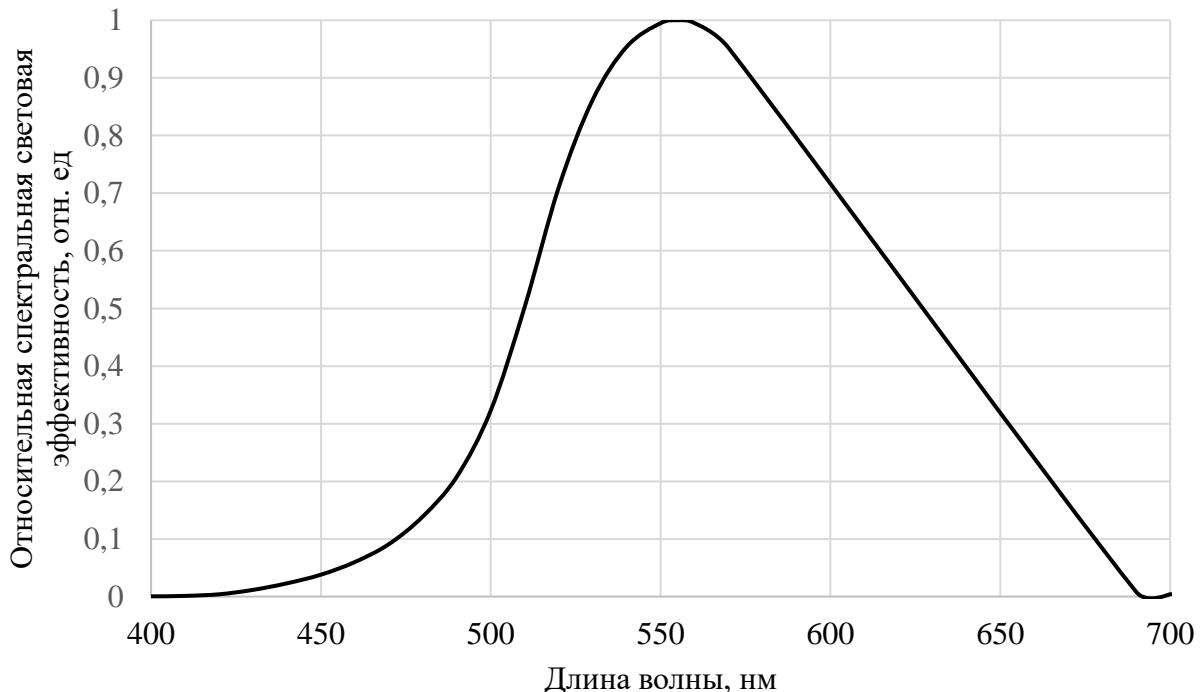


Рисунок 1 – Относительная спектральная световая эффективность излучения

Численные значения относительной спектральной световой эффективности излучения приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения относительной спектральной световой эффективности излучения

λ , нм	K_λ						
380	0,00004	480	0,139	570	0,952	670	0,032
390	0,00012	490	0,208	580	0,870	680	0,017
400	0,00040	500	0,323	590	0,757	690	0,0082
410	0,0012	510	0,503	600	0,631	700	0,0041
420	0,0040	520	0,710	610	0,503	710	0,0021
430	0,0116	530	0,862	620	0,381	720	0,00105
440	0,023	540	0,954	630	0,265	730	0,00052
450	0,038	550	0,995	640	0,175	740	0,00025
460	0,060	555	1,0000	650	0,107	750	0,00012
470	0,091	560	0,995	660	0,061	760	0,00006

Для монохроматического излучения формула (4) будет иметь вид:

$$\Phi = 683 \times K_\lambda \times P_e, \quad (6)$$

где, K_λ определяется для конкретной длины волны источника монохроматического излучения из табл. 1.

Наиболее эффективной технологией изготовления светодиодов белого цвета свечения является нанесение на кристалл синего цвета свечения люминофорной композиции из жёлто-зелёных и красных люминофоров. При нанесении на кристалл синего цвета свечения жёлтого люминофора соотношение световых потоков синего кристалла и белого светодиода составляет примерно 1 к 10 [3].

Теоретический предел световой отдачи светодиодов белого цвета свечения составляет 370 лм/Вт [4], в настоящее время доступны светодиоды со световой отдачей порядка 210 лм/Вт. Срок службы светодиодов составляет порядка 80 000 часов, а индекс цветопередачи может достигать 99 [5].

Световая отдача определяется по формуле:

$$n = \Phi/P, \quad (7)$$

где, n – световая отдача, лм/Вт;

Φ – световой поток, лм;

P – потребляемая мощность, Вт.

$$P = I_{\text{пр.}} \times U_{\text{пр.}}, \quad (8)$$

где, $I_{\text{пр.}}$ – прямой постоянный ток, А;

$U_{\text{пр.}}$ – прямое постоянное напряжение, В.

В табл. 2 приведены характеристики маломощных кристаллов вертикального типа, в табл. 3 приведены характеристики маломощных кристаллов планарного типа [3].

Таблица 2 – Характеристики маломощных кристаллов вертикального типа

Наименование параметра	Значение параметра	Внешний вид кристалла
Cree C460EZ290		
Габаритные размеры, мкм ³	280×280×100	
Прямой ток, мА	20	
Прямое напряжение, В	2,7 – 3,7	
Мощность излучения, мВт	24	
Длина волны, нм	455 – 465	
Предельная температура <i>p-n</i> -перехода, °С	125	
Максимальное значение прямого тока, мА	50	
Cree C460EZ400		
Габаритные размеры, мкм ³	380×380×100	
Прямой ток, мА	150	
Прямое напряжение, В	3,1 – 4,1	
Мощность излучения, мВт	105 – 120	
Длина волны, нм	445 – 465	
Предельная температура <i>p-n</i> -перехода, °С	145	
Максимальное значение прямого тока, мА	200	
SemiLeds SL-V-B15AA		
Габаритные размеры, мкм ³	400×400×80	
Прямой ток, мА	20	
Прямое напряжение, В	3,2 – 3,5	
Мощность излучения, мВт	24 – 35	
Длина волны, нм	450 – 475	
Предельная температура <i>p-n</i> -перехода, °С	125	
Максимальное значение прямого тока, мА	50	

Кристаллы производства фирмы «Cree» изготавливают на подложке из карбида кремния, *n* – слой полупроводниковой структуры контактирует с подложкой, карбид кремния проводит ток. Кристаллы производства фирмы SemiLeds изготавливаются на сапфировой подложке. После выращивания полупроводникового слоя, на *p* – слой наносится медь толщиной 100 мкм. Таким образом контакт к *n* – слою расположен на поверхности, через которую выводится свет, а контакт к *p* – слою контактирует с медной подложкой, через которую осуществляется монтаж в корпус светодиода.

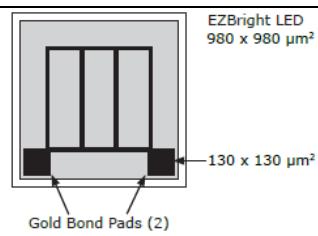
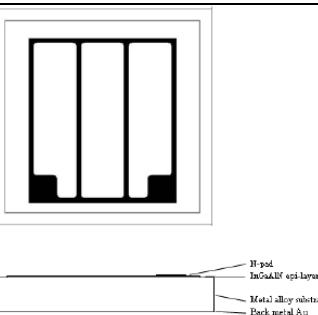
Таблица 3 – Характеристики маломощных кристаллов планарного типа

Наименование параметра	Значение параметра	Внешний вид кристалла
Epistar EDI-EE0926		
Габаритные размеры, мкм ³	650×225×110	
Прямой ток, мА	60	
Прямое напряжение, В	2,7 – 3,5	
Мощность излучения, мВт	47,5 – 57,5	
Длина волны, нм	445 – 465	
Предельная температура <i>p-n</i>	115	

перехода, °С		
КПД при прямом токе 10 мА, %	38,0	
Epistar EK-EEBLKE11		
Габаритные размеры, мкм ³	700×270×110	
Прямой ток, мА	20	
Прямое напряжение, В	2,8 – 3,0	
Мощность излучения, мВт	32 – 34	
Длина волны, нм	455 – 465	
Предельная температура <i>p-n</i> перехода, °С	115	
КПД при прямом токе 10 мА, %	61,0	
Epistar ES-EADBS09		
Габаритные размеры, мкм ³	1143×225×125	
Прямой ток, мА	20	
Прямое напряжение, В	3,2 – 3,5	
Мощность излучения, мВт	42 – 46	
Длина волны, нм	445 – 455	
Предельная температура <i>p-n</i> перехода, °С	115	
КПД при прямом токе 10 мА, %	78,0	

В табл. 4 приведены характеристики мощных кристаллов вертикального типа, в табл. 5 – мощных кристаллов планарного типа.

Таблица 4 – Характеристики мощных кристаллов вертикального типа

Наименование параметра	Значение параметра	Внешний вид кристалла
Cree C460EZ1000		
Габаритные размеры, мкм ³	980×980×130	
Прямой ток, мА	350	
Прямое напряжение, В	2,9 – 3,8	
Мощность излучения, мВт	300	
Длина волны, нм	445 – 475	
Предельная температура <i>p-n</i> перехода, °С	145	
Максимальное значение прямого тока, мА	1000	
SemiLeds SL-V-B40AC		
Габаритные размеры, мкм ³	1070×1070×145	
Прямой ток, мА	350	
Прямое напряжение, В	3,2 – 3,6	
Мощность излучения, мВт	450 – 550	
Длина волны, нм	450 – 475	
Предельная температура <i>p-n</i> перехода, °С	125	
Максимальное значение прямого тока, мА	500	
SemiLeds SL-V-B40AK		
Габаритные размеры, мкм ³	1070×1070×145	
Прямой ток, мА	350	
Прямое напряжение, В	3,2 – 3,6	
Мощность излучения, мВт	450 – 550	

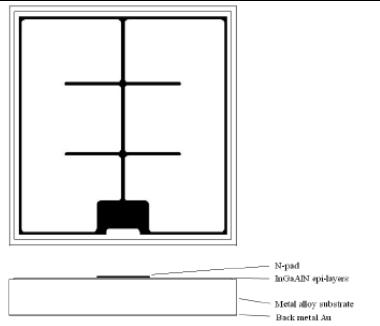
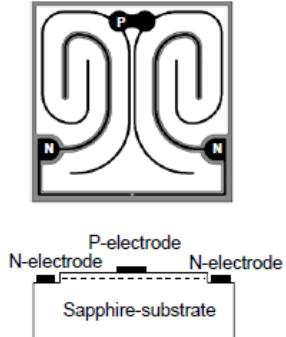
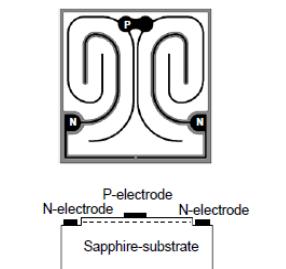
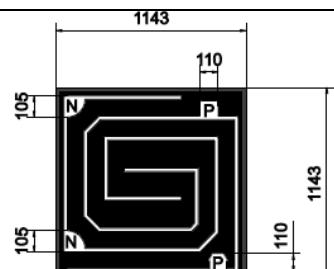
Длина волны, нм	450 – 475	
Предельная температура <i>p-n</i> перехода, °C	125	
Максимальное значение прямого тока, мА	500	

Таблица 5 – Характеристики мощных кристаллов планарного типа

Наименование параметра	Значение параметра	Внешний вид кристалла
Epistar ES-CABHV38		
Габаритные размеры, мкм ³	965×965×150	
Прямой ток, мА	350	
Прямое напряжение, В	3,5 – 3,8	
Мощность излучения, мВт	220 – 225	
Длина волны, нм	465 – 475	
Предельная температура <i>p-n</i> перехода, °C	115	
Максимальное значение прямого тока, мА	450	
Epistar ES-CABHV45C		
Габаритные размеры, мкм ³	1143×1143×150	
Прямой ток, мА	350	
Прямое напряжение, В	3,4 – 3,6	
Мощность излучения, мВт	295 – 340	
Длина волны, нм	465 – 475	
Предельная температура <i>p-n</i> перехода, °C	115	
Максимальное значение прямого тока, мА	700	
Epigap-berlin ELC-460-31-2_01		
Габаритные размеры, мкм ³	1143×1143×100	
Прямой ток, мА	350	
Прямое напряжение, В	2,7 – 3,1	
Мощность излучения, мВт	250	
Длина волны, нм	445 – 465	
Bridgelux NLX-5 BXCA 45*45		
Габаритные размеры, мкм ³	1143×1143×150	
Прямой ток, мА	350	
Прямое напряжение, В	3,0 – 3,6	
Мощность излучения, мВт	255 – 340	
Длина волны, нм	445 – 465	
Предельная температура <i>p-n</i> перехода, °C	150	

Максимальное значение прямого тока, мА	700	
Verticleinc 5CV1000		
Габаритные размеры, мкм ³	1240×1240×110	
Прямой ток, мА	350	
Прямое напряжение, В	3,3 – 3,5	
Мощность излучения, мВт	255 – 340	
Длина волны, нм	442,5 – 467,5	
Предельная температура <i>p-n</i> перехода, °С	145	
Максимальное значение прямого тока, мА	1000	

Задание на практическую работу

Рассчитайте значение световой отдачи светодиода белого свечения. Известны значения прямого постоянного тока $I_{\text{пр.}}$, прямого постоянного напряжения $U_{\text{пр.}}$, оптической мощности излучения кристалла синего цвета свечения P_e и значение его длины волны λ .

Варианты задания

Вариант	Значение прямого постоянного тока $I_{\text{пр.}}$, мА	Значение прямого постоянного напряжения $U_{\text{пр.}}$, В	Значение оптической мощности излучения кристалла синего цвета свечения P_e , мВт	Значение длины волны излучения λ , нм
1	20	2,7	29	445
2	20	2,7	30	450
3	20	2,7	31	455
4	20	2,7	32	460
5	20	2,7	33	465
6	60	2,9	58	445
7	60	2,9	60	450
8	60	2,9	62	455
9	60	2,9	64	460
10	60	2,9	66	465
11	350	3,0	445	445
12	350	3,0	450	450
13	350	3,0	455	455
14	350	3,0	460	460
15	350	3,0	465	465

Практическое занятие № 3 АНАЛИЗ И ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДА БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ

Цель работы: освоить методику анализа и выбора материалов и комплектующих для изготовления светодиода белого цвета свечения

Краткая теория

Технологический процесс изготовления светодиодов белого цвета свечения включает основные и вспомогательные технологические операции (ТО). Последовательность основных ТО представлена на рис. 27. Краткое описание основных и вспомогательных ТО приведено ниже.

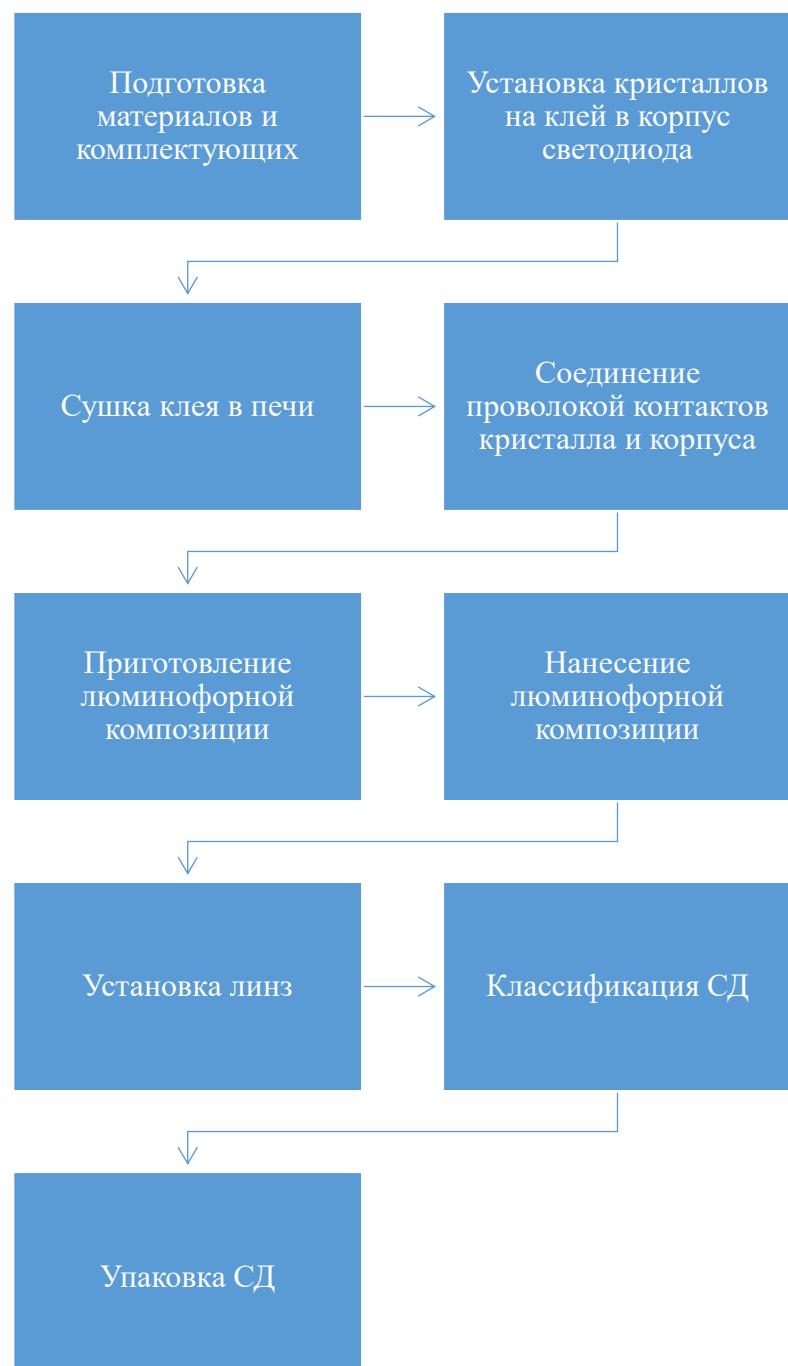


Рисунок 2 – Технологический процесс изготовления светодиодов белого цвета свечения

1. Подготовка материалов и комплектующих

При необходимости проводится очистка рамок с корпусами СД, которая заключается в плазменной очистке.

2. Растворка липкого носителя с кристаллами на пяльцах (вспомогательная технологическая операция (ТО)).

Кристаллы поступают на сборку светодиодов на липком носителе и липкий носитель необходимо растянуть, чтобы технологическое оборудование могло брать кристаллы по отдельности.

3. Подготовка клея (вспомогательная ТО)

Клей для монтажа кристаллов как правило двухкомпонентный, перед применением в технологическом оборудовании необходимо смешать его компоненты.

4. Установка кристаллов на клей в корпус светодиода (основная ТО)

Суть ТО заключается в нанесении клея в корпус светодиода и последующая установка кристалла на клей.

5. Сушка клея в печи (вспомогательная ТО)

Как правило используются конвейерные печи с разными зонами температур, клей сушится в соответствии с температурным профилем, который рекомендует производитель.

6. Соединение проволокой контактов кристалла и корпуса

Известны два метода соединения проволокой контактов кристалла: термокомпрессионный и ультразвуковой.

При изготовлении светодиодов обычно применяется ультразвуковой метод сварки, т.к. он меньше повреждает кристалл.

В системах ультразвуковой сварки высокочастотная электрическая энергия преобразуется в механические колебания в преобразователе. Частота генерируемого ультразвука составляет от 20 кГц до единиц мегагерц. Ультразвуковая металлическая сварка – это диффузионный процесс в твердом состоянии при одновременном воздействии на свариваемые поверхности ультразвуковых колебаний, прижимного давления и теплового воздействия. Колебания, приложенные под нагрузкой, разрушают поверхностные пленки и оксиды, образуя чистое, контролируемое, диффузионное сварное соединение. Происходит сухое и чистое трение, в результате которого образуются узлы схватывания. Атомы свариваемых деталей образуют между собой связи, что и создает такое соединение.

7. Контроль качества сварки проволокой (вспомогательная ТО)

Контроль качества сварки осуществляется визуально по диаметру точки сварного соединения. Диаметр точки сварного соединения должен составлять три толщины проволоки. В случае выявления некачественного сварного соединения ТО прекращается и качество сварки определяется механическим методом.

8. Приготовление люминофорной композиции (вспомогательная ТО)

Компаунд имеет два компонента, основу и отвердитель. В композиции используется три люминофора: зелёный, основной жёлтый и красный. Смешивание компонентов люминофорной композиции осуществляется методом центрифугирования с последующей дегазацией.

9. Нанесение люминофорной композиции (основная ТО)

Нанесение люминофорной композиции на светодиодный кристалл осуществляется экструзионным методом.

10. Установка линз (основная ТО).

11. Классификация СД (основная ТО)

СД классифицируются по основным электрическим, светотехническим и колориметрическим параметрам.

12. Упаковка СД.

Задание на практическую работу

Согласно варианту практического задание составьте чертёж общего вида светодиода белого цвета свечения в программе КОМПАС-3D и блок-схему технологического процесса. В спецификации к чертежу общего вида укажите выбранные материалы и комплектующие для изготовления светодиода. В описании к блок-схеме технологического процесса укажите режимы выполнения технологических операций изготовления светодиода.

Варианты задания

Вариант	Тип корпуса	Тип кристалла	Количество кристаллов	Наличие линзы
1	SMD 3528 (пластмассовый)	Планарный	Один	Нет
2	SMD 3528 (пластмассовый)	Вертикальный	Один	Нет
3	SMD 3528 (пластмассовый)	Планарный	Один	Да
4	SMD 3528 (пластмассовый)	Вертикальный	Один	Да
5	SMD 3528 (пластмассовый)	Вертикальный	Три	Нет
6	SMD 5050 (пластмассовый)	Планарный	Три	Нет
7	SMD 5050 (пластмассовый)	Вертикальный	Три	Нет
8	SMD 5050 (пластмассовый)	Планарный	Три	Да
9	SMD 5050 (пластмассовый)	Вертикальный	Три	Да
10	SMD 5050 (пластмассовый)	Вертикальный	Один	Нет
11	SMD 3535 (керамический)	Планарный	Один	Нет
12	SMD 3535 (керамический)	Вертикальный	Один	Нет
13	SMD 5050 (керамический)	Планарный	Один	Да
14	SMD 5050 (керамический)	Вертикальный	Один	Да
15	Светодиодный излучающий элемент (керамический)	Планарный	Двадцать восемь	нет

Практическое занятие № 4 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ СВЕТОДИОДОВ

Цель работы: освоить методику прогнозирования срока службы светодиодов белого цвета свечения

Краткая теория

Согласно РД 11 336.938-83, ускоренные испытания на безотказность и долговечность полупроводниковых приборов предусматривают повышение термоэлектрической нагрузки, что приводит к интенсификации физико-химических процессов деградации СД без изменения основных механических отказов. Коэффициент ускорения K_y определяется по формуле:

$$K_y = \exp \left[\left(\frac{E_a}{k} \right) \cdot \left(\frac{1}{T_{p-n} + 273} \right) - \left(\frac{1}{T_{p-n,y} + 273} \right) \right], \quad (9)$$

где, E_a – энергия активации отказов, эВ;

k – постоянная Больцмана ($8,617385 \cdot 10^{-5}$ эВ/К);

T_{p-n} – температура $p-n$ -перехода в нормальных условиях эксплуатации (в рабочем режиме), $^{\circ}\text{C}$;

$T_{p-n,y}$ – температура $p-n$ -перехода в ускоренном режиме испытаний, $^{\circ}\text{C}$.

Номинальное время наработки $t_{ном}$ (срок службы СД) определяют по уравнению (10), задав коэффициент форсирования K_y , исходя из режимов ускоренных испытаний:

$$t_{ном} = t_y \cdot K_y \quad (10)$$

где, t_y – время испытаний в ускоренном режиме.

Температура $p-n$ перехода светодиодного кристалла по формуле:

$$T_{p-n} = T_{окр.} + (R_t \times P), \quad (11)$$

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

P – электрическая мощность (Вт), определяют по формуле (8);

R_t – тепловое сопротивление, К/Вт.

Задание на практическую работу

Определить значение прогнозного срока службы светодиода белого цвета свечения, исходя из значений прямого постоянного тока $I_{пр.}$, прямого постоянного напряжения $U_{пр.}$, тепловое сопротивление $R_t = 150$ К/Вт при температуре эксплуатации $T_{окр.}$, энергия активации 0,75 эВ и срок службы 80 000 часов.

Вариант	Значение прямого постоянного тока $I_{пр.}$, мА	Значение прямого постоянного напряжения $U_{пр.}$, В	Значение температуры $T_{окр.}$, $^{\circ}\text{C}$
1	20	2,7	35
2	20	2,7	45
3	20	2,7	60
4	20	2,7	85
5	20	2,7	100

6	60	2,9	35
7	60	2,9	45
8	60	2,9	60
9	60	2,9	85
10	60	2,9	100
11	350	3,0	35
12	350	3,0	45
13	350	3,0	60
14	350	3,0	85
15	350	3,0	100

Практическое занятие № 5 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ И МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ СВЕТОДИОДОВ

Цель работы: освоить структуру составления программы и методик испытаний светодиодов и светотехнических устройств на их основе.

Краткая теория

Испытания светодиодов и светотехнических устройств на их основе проводятся в соответствии с Программой и методиками экспериментальных исследований.

Программа и методики испытаний должны содержать следующие разделы:

- Условные обозначения и сокращения, принятые в тексте.
- Общие положения.
- Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний.
- Требования безопасности.
- Программа испытаний.
- Режимы испытаний.
- Методы испытаний.
- Отчётность.
- Приложения.

В разделе «Условные обозначения и сокращения, принятые в тексте» указываются обозначения и сокращения, например, такие как ТЗ (техническое задание), ПМ (программа и методики испытаний), ПО (программное обеспечение) и т.д.

В разделе «Общие положения» указываются:

– Наименование и обозначение макета изделия (далее – объект испытаний), например, макеты светодиода, номер конструкторской документации, номера макетов №№ 1-10 в количестве 10 шт.

– Цель испытаний, например: исследование технических характеристик объекта испытаний и путей достижения значений, установленных требованиями технических требований.

– Условия предъявления объекта испытаний на испытания, например:

Испытания проводятся на десяти макетах объекта испытаний. Порядок отбора объектов испытаний: Макеты светодиодов допускается к испытаниям после проверки светимости при подаче рабочего напряжения. Объекты испытаний предъявляется на испытания в следующей комплектности: макеты светодиода номер конструкторской документации, номера макетов №№ 1-10 в количестве 10 шт. Объект испытаний предъявляется на испытания в сопровождении следующих документов: ТЗ, настоящая ПМ, КД номер, акт изготовления объекта испытаний. Перечень ссылочных документов приведён в Приложении А.

В разделе «Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний» указываются:

– Место проведения испытаний, например: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР).

– Требования к средствам проведения испытаний. Перечень средств испытаний приводится в Приложении Б ПМ. Средства измерений, указанные в ПМ должны обеспечивать 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. Требования к условиям проведения испытаний: Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях: температура окружающего

воздуха (20 ± 10) °C, относительная влажность воздуха (от 45 до 80) %, атмосферное давление (от 630 до 800) мм рт. ст. Требования к подготовке объекта испытаний, например: объект испытаний допускается к испытаниям после проверки светимости (проверка светимости при подаче рабочего напряжения). Требования к обслуживанию объекта испытаний в процессе испытаний: в процессе проведения испытаний проводятся работы по обслуживанию оборудования, предусмотренные эксплуатационной документацией. Требования к порядку работы по завершении испытаний, например: все результаты испытаний должны быть внесены в протоколы испытаний (или приложения к протоколам), каждый протокол должен быть подписан инженерно-техническим работником, проводившим испытания; после завершения испытаний объект испытаний утилизируют в установленном в нормативной документации ТУСУР порядке. Требования к персоналу, осуществляющему подготовку к испытаниям и испытания, например: 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-й группы. 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». Порядок обучения и аттестации персонала, участвующего в испытаниях, должен соответствовать установленной в ТУСУР нормативной документации.

– В разделе «Требования безопасности» приводятся требования безопасности при подготовке объекта испытаний к испытаниям, например, в ТУСУР: работы проводятся в соответствии с инструкцией по охране труда для работ с электрическими приборами и установками ИОТ НИИ СТ – 04/12; требования безопасности при проведении испытаний, например, в ТУСУР: работы проводятся в соответствии с инструкцией по охране труда для работ с электрическими приборами и установками ИОТ НИИ СТ – 04/12; требования безопасности при выполнении работ по завершению испытаний, например, в ТУСУР: работы проводятся в соответствии с инструкцией по охране труда для работ с электрическими приборами и установками ИОТ НИИ СТ – 04/12.

– В разделе «Программа испытаний» приводится таблица с программой испытаний, например, табл. 6, содержащая номер пункта испытаний, наименование вида испытаний и последовательность их проведения, единицы измерений, количество шт. с указанием номеров макетных образцов, номинальное значение, предельное отклонение, пункт ТЗ, пункт методики испытаний.

Таблица 6 – Программа испытаний

№ п.п.	Наименование вида испытаний и последовательность их проведения	Ед. изм.	Кол-во, шт. (№№)	Номинальное значение	Предельные отклонения	Пункт ТЗ	Пункт методики
4.1	Проверка прямого напряжения ($U_{np.}$)	В	10 (1-10)	не менее 3,5	–	4.1	6.1

– В разделе «Режимы испытаний» приводится порядок испытаний и ограничения и другие указания, которые необходимо выполнять на всех или на отдельных режимах

испытаний: испытания прекращаются в случаях. Например:

Порядок испытаний

Комиссия назначается в соответствии с распоряжением Ректора ТУСУР.

Испытания проводятся в соответствии программой и методиками, утвержденными проректором по научной работе и инновациям ТУСУР и согласованными с Индустриальным партнёром.

Последовательность проведения испытаний изменять запрещается.

Ограничения и другие указания, которые необходимо выполнять на всех или на отдельных режимах испытаний: испытания прекращаются в случаях, если:

- результаты контроля превышают предельные отклонения;
- возникновения аварийных ситуаций.

– В разделе «Методы испытаний» приводятся методы испытаний. Например:

6.1 Проверка по п. 4.1 ПМ «Проверка прямого напряжения» осуществляется с помощью источника-измерителя.

Для проведения испытаний необходимо убедиться, что на источнике-измерителе все регуляторы в нулевом положении. Подсоединить провода к выходным клеммам источника-измерителя. Другие концы проводов «+» и «-» соответственно подключить к контактам на макете светодиода. Установить режим стабилизации по току путём переключения кнопки на лицевой панели. Провести измерение значения прямого напряжения при токе 20 мА, с выдержкой во включенном режиме не менее пяти минут для термостабилизации кристалла светодиода. Напряжение измерять с точностью до третьего знака после запятой. Провести проверку прямого напряжения на всех макетах светодиодов с №№ 1-30.

Считают, что объект испытаний – макеты светодиода, выдержали испытания по п. 4.1 ПМ, если значение прямого напряжения каждого образца не менее 3,5 В.

– Раздел «Отчётность» содержит основные требования к отчётности, например:

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.

По результатам испытаний в течение 10 рабочих 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.

К акту прилагаются протоколы испытаний по пунктам программы.

Первичные материалы испытаний хранятся у Руководителя проекта, заведующего каф. РЭТЭМ в течение 10 лет со дня окончания испытаний.

– В разделе «Приложения» приведены приложения к ПМ:

Приложение ПМ. А

Перечень ссылочных документов

Приложение ПМ. Б

Перечень средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для проведения испытаний

Пример Приложения А к ПМ «Перечень ссылочных документов» приведён в табл. 7.

Таблица 7 – Пример оформления «Перечень ссылочных документов»

ПР 50.2.006-94	Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок проведения поверки средств измерений.
ПР 50.2.016-94	ГСИ. Российская система калибровки. Требования к выполнению калибровочных работ.
ГОСТ Р 8.568-97	Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения
ГОСТ Р 54815-2011	Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжение свыше 50 В. Эксплуатационные требования
ГОСТ Р 8.827-2013	Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Метод измерения и определения индекса цветопередачи источников излучения
ГОСТ 166-89	Штангенциркули. Технические условия
Приказ Минэнерго России «Об утверждении Правил технической эксплуатации от 13.01.2003 N 6	электроустановок потребителей»
Утв. Госэнергонадзором «Правила техники безопасности при эксплуатации СССР 12.04.1969	электроустановок потребителей (ПТБ)»

Пример Приложения Б к ПМ «Перечень средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для проведения испытаний» приведён в таблице 2

Таблица 2 – Пример оформления «Перечень средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для проведения испытаний»

Наименование, тип и марка	Кол-во	ГОСТ, ТУ или обозначение	Основные характеристики
Штангенциркуль	1	ГОСТ 166-89	Погрешность $\pm 0,05$, Дата следующей поверки - декабрь 2019.
Источник-измеритель	1	Keithley 2410	Минимальное выходное постоянное напряжение в режиме источника, не более 6 мВ. Минимальное измеряемое постоянное напряжение в режиме измерителя, не более 2 мВ. Максимальное выходное постоянное напряжение в режиме источника, не менее 1050 В. Максимальное измеряемое постоянное напряжение в режиме измерителя, не менее 1050 В. Минимальная выходная сила постоянного тока в режиме источника, не более 55 пА. Минимальная измеряемая сила

			<p>постоянного тока в режиме измерителя, не более 11 пА.</p> <p>Максимальная выходная сила постоянного тока в режиме источника, не менее 1 А.</p> <p>Максимальная измеряемая сила постоянного тока в режиме измерителя, не менее 1 А.</p> <p>Цифровой интерфейс ввода/вывода.</p> <p>Дата следующей поверки – декабрь 2019.</p>
Фотометрический шар	1	ФШ-1.0	<p>Световой поток лм 7 – 3000 лм,</p> <p>погрешность измерений 10 %,</p> <p>Дата следующей поверки – сентябрь 2019.</p>
Спектроколориметр		«ТКА – ВД»	<p>Диапазоны измерения:</p> <p>Цветовой температуры (1 600 - 16 000) К,</p> <p>погрешность измерений $\pm 0,05\%$</p> <p>Дата следующей поверки – сентябрь 2019.</p>
ПК с ПО «Спектроколориметр»	1	ПК	<p>Asus X75V [Intel Core I3-3110M 2.4 GHz, RAM 4Gb, HDD 500GB, Win7 Basic]</p>

Пример Приложения В к ПМ «Типовая форма протокола испытаний» на рис. 7.

Приложение Т3.В

Типовая форма

ПРОТОКОЛ
испытания по пункту №

- 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.№000000001, 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	Программный испытаний	Методик испытаний		
					Номинальное значение	Во время воздействия
					Предельное отклонение	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*.

Испытание проводили

Положность

И. О. Фамилия

Должность

И. О. Фамилия

Должность

И. О. Фамилия

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

Рисунок 7 – Типовая форма протокола испытаний

Задание на практическую работу

Выберете светодиод белого цвета свечения исходя из результатов выполнения Практического занятия № 3. Составьте Программу и методики испытаний согласно краткой теории Практического занятия № 5. В программу испытаний обязательно включить испытания: проверка габаритных размеров, контроль значения прямого постоянного тока и прямого постоянного напряжения, контроль значения светового потока, контроль значения световой отдачи, контроль значения коррелированной цветовой температуры.

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р МЭК 60050-845-2023 Освещение. Термины и определения / Официальное издание. М.: ФГБУ "РСТ", 2023 – 285 с.
2. ГОСТ Р 54814-2018 Светодиоды и светодиодные модули для общего освещения и связанное с ними оборудование. Термины и определения / М.: Стандартинформ, 2018 – 15 с.
3. Полупроводниковая светотехника: учеб. пособие / А.А. Вилисов, В.С. Солдаткин, В.И. Туев. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 124 с. ISBN 978-5-86889-981-2.
4. Thomas W., Murphy Jr. Maximum spectral luminous efficacy of white light // Journal of Applied Physics. 2012. Vol. 111. P. 104909.
5. Разработка методики оценки пространственного распределения цветовых параметров в шагах МакАдама / М. В. Андреева, В. С. Солдаткин, В. И. Туев, С. Н. Кичук // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. – 2024. – № 1(146). – С. 4-18.
6. Светодиоды и светотехнические устройства: учеб. пособие / А.А. Вилисов, В.С. Солдаткин, В.И. Туев. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2020. – 112 с. ISBN 978-5-86889-887-7
7. Полимерные материалы в светотехнике и электронике: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Солдаткин В. [и др.]. – Томск: ТУСУР, 2016. – 47 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6609> (дата обращения: 15.06.2025).

Приложение А – Пример оформления титульного листа

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга
(РЭТЭМ)

Наименование темы работы (прописными буквами)

Отчет по практическому заданию
по дисциплине «Светодиоды и светотехнические устройства»

Студенты гр.

_____ Ф.И.О.

_____ /Подпись/

Руководитель работы

_____ /Должность/

_____ Ф.И.О.

_____ /Подпись/

_____ /Дата/

Томск 2025