

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 12.04.02 «Оптотехника»  
Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка прожектора железнодорожного вокзала Томск-1</b>

УДК 628.946:629.052.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	Кудайбергенов Марс Аманбайулы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЛИСТ	Гриценко Борис Петрович	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Старикова Екатерина Васильевна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения контроля и диагностики	Назаренко Ольга Браниславовна	д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Томск – 2018 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код резул ьтата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Способность формулировать цели, задачи научного исследования или разработки в области светотехники и фотонных технологий и материалов, способность выделять и обосновывать критерии, на основании которых формируются модели принятия решений, составлять план работ, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи
P2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов
P3	Способность к профессиональной оценке проблем проектирования в области светотехники, оплотехники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы
P4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной, облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности
P5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля качества изготовления деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов
P6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные светотехнические и оптические приборы и устройства, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
P7	Способность проявлять творческий, нестандартный подход, требующий абстрактного мышления, при решении конкретных научных, технологических и проектно-конструкторских задач в области фотонных технологий и материалов и светотехники, нести ответственность за принятые решения
P8	Способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала

P9	Способность к инновационной инженерной деятельности, менеджменту в области организации освоения новых видов перспективной и конкурентоспособной оптической, оптико-электронной и световой, лазерной техники с учетом социально-экономических последствий технических решений
P10	Способностью к координации и организации работы научно-производственного коллектива, принятию исполнительских решений для комплексного решения исследовательских, проектных, производственно-технологических, инновационных задач в области светотехники и фотонных технологий и материалов
P11	Способность к оценке современного состояния развития науки и техники, владение иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P12	Способность к сбору сведений, анализу и систематизации знаний об исследуемом объекте

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки (специальность) 12.04.02 «Опtotехника» (Светотехника)  
Отделение школы (НОЦ) Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4ВМ6А	Кудайбергенов Марс Аманбайулы

Тема работы:

Разработка прожектора железнодорожного вокзала Томск-1

Утверждена приказом директора (дата, номер)

--	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

Требования СНиП на осветительные приборы для освещения ЖД путей, существующие конструкции осветительных приборов, технические документации комплектующих изделий осветительного прибора. Интернет ресурсы и литературы по расчету и конструированию осветительных приборов.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор литературы по существующим конструкциям, оптической части осветительных приборов и тепловым анализам светодиодных источников света; разработка оптической части осветительного прибора, расчет и анализ системы теплоотвода разрабатываемого осветительного прибора; выводы по разделу; разработка дополнительных разделов: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность», раздел ВКР на иностранном языке; заключение по работе.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Результаты проведенных расчетов и моделирования (фотографии 3D модели осветительного прибора, распределение теплового поля, КСС, чертежи осветительного прибора)</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b></p>	<p>Старикова Е.В., Доцент отделения социально-гуманитарных наук</p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p>Назаренко О.Б., Профессор отделения контроля и диагностики</p>
<p><b>Разделы, выполненные на иностранном языке</b></p>	<p>Ажель Ю. П., Старший преподаватель отделения иностранных языков</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p><b>Обзор ситуаций по разработке светового прибора для освещения больших площадок</b></p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЛИСТ	Гриценко Борис Петрович	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	Кудайбергенов Марс Аманбайулы		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ВМ6А	Кудайбергенов Марс Аманбайулы

<b>Институт</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Кафедра</b>	Отделение материаловедения
<b>Уровень образования</b>	Магистр техники и технологии	<b>Направление/специальность</b>	12.04.02 Оппотехника

**Исходные данные к разделу «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент»:**

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Потенциальные потребители результатов НИИ</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизации установки 10% Норма амортизации ПК 33,3</i>
<i>3. Использование систем налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные страховые фонды, которые составляют 30 %.</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	<i>SWOT-анализ НИИ, разработка иерархической структуры проекта</i>
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Проект выполняется в рамках магистерской диссертации, устав не требуется.</i>
<i>3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Разработка календарного плана и бюджета научного исследования.</i>
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение целесообразности и эффективности НИИ: оценка рисков и научно-технического уровня исследования, оценка ресурсоэффективности проекта</i>

**Перечень графического материала:**

<ol style="list-style-type: none"> <li><i>1. Карта сегментирования рынка</i></li> <li><i>2. Иерархическая структура работ</i></li> <li><i>3. SWOT -анализа проекта</i></li> <li><i>4. Диаграмма Ганта</i></li> <li><i>5. Смета затрат на научно-исследовательскую работу</i></li> </ol>
---

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Старикова Екатерина Васильевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	Кудайбергенов Марс Аманбайулы		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ВМ6А	Кудайбергенов Марс Аманбайулы

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Материаловедения</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	12.04.02«Оптотехника»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.</p>	<p>Объектом проектирования является система освещения на основе светодиодного светового прибора для освещения ЖД путей. Данный световой прибор устанавливается на отдельно стоящих опорах.</p>
--	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при эксплуатации светодиодного светового прибора для освещения ЖД вокзала</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при эксплуатации светодиодного светового прибора для освещения ЖД вокзала</p>	<p>При эксплуатации светодиодного светового прибора на пассажирах могут воздействовать следующие вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенный уровень шума</li> <li>2. Пульсация освещенности</li> <li>3. Показатель ослепленности</li> </ol> <p>К опасным факторам относится электрический ток.</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность</b></p>	<p>Источниками света разрабатываемого светового прибора служат светодиоды. Светодиодные источники света не содержат токсичных веществ и являются экологически безопасными. Непосредственная утилизация светодиодного светового прибора происходит по стандартной схеме утилизации твердых бытовых отходов.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b></p>	<p>Наиболее вероятной ЧС при эксплуатации светодиодного светового прибора является пожар. Причиной возникновения пожара при работе светового прибора может стать короткое замыкание, превышение допустимого напряжения, перегрузка блока питания.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b></p>	<p>Основная задача освещения на ЖД состоит в том, чтобы дать возможность персоналу и пассажиру определять:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-пространственное расположение и состояние движения подвижного состава;</li> <li>-препятствия, мешающие безопасному движению;</li> <li>- железнодорожные сигналы;</li> <li>-безопасность работы персонала и нахождения пассажиров в зоне железной дороги.</li> </ul> <p>Монтаж и обслуживание светодиодного светового прибора осуществляется при</p>

	выключенном питании сети. При установке светового прибора между корпусом светильника и окружающими предметами должно остаться необходимое пространство, которое не препятствует естественной конвекции.
--	---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения контроля и диагностики	Назаренко Ольга Брониславовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	Кудайбергенов Марс Аманбайулы		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа: 130 с., 56 рисунков, 33 таблиц, 48 источника, 2 приложения.

*Ключевые слова:* световой прибор, светодиоды, железнодорожные пути, КСС, освещенность, КПД, зеркальный отражатель, теплоотвод, анализ, радиатор, охлаждение, винтовое соединение.

*Объектом разработки* является световой прибор для освещения железнодорожных путей.

*Целью работы* является разработка энергоэффективного и надежного прожектора со светодиодными источниками света для равномерного освещения.

*Методология проведения работы.* Расчет оптической части светового прибора был сделан в программе LightTools. Для моделирования системы охлаждения светового прибора использовался модуль Flow Simulation, интегрируемый в систему SolidWorks.

*Полученные результаты и их научная новизна* – оптическая часть из 15 светодиодов XHP-35 с плоскими зеркальными отражателями, позволяющая создавать равномерное освещение на площадке с требуемыми светотехническими характеристиками.

*Основные характеристики* разработанного светового прибора: потребляемая мощность 195 Вт, 22000 лм.

*Область применения* – железнодорожные пути и посадочные платформы.

## Определения, обозначения, сокращения

В работе использованы следующие обозначения и сокращения:

ТРПК – теплорассеивающие полимерные композиты;

КПД – коэффициент полезного действия;

СИД – светоизлучающий диод;

ПП – печатная плата;

КСС – кривая сила света;

ВАХ – вольт-амперная характеристика;

LED – light-emitting diode;

ДРЛ – дуговая ртутная лампа;

ЖД – железная дорога.

## Оглавление

Введение.....	13
Глава 1. Состояние вопроса по разработке светодиодных прожекторов.....	15
1.1 Анализ конструкции светодиодных прожекторов .....	15
1.2 Тепловой анализ светодиодов.....	28
1.3. Оптическая система светодиодного светильника.....	39
Глава 2. Объект и способы проектирование .....	44
2.1 Объект разработки .....	44
2.1.1 Анализ существующего освещения на ЖД вокзале Томск-1.....	44
2.2 Методика проектирования и обоснование используемых компьютерных программ .....	47
2.3 Выводы.....	51
Глава 3. Проектирование светодиодного прожектора для ЖД вокзала Томск-1	52
3.1 Расчет оптической системы прожектора .....	52
3.2 Расчет системы охлаждения .....	63
3.3 Электрическая часть светового прибора .....	66
3.4 Компоновка прожектора .....	71
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	72
Введение.....	72
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	72
4.2 Иерархическая структура работ .....	74
4.3 SWOT анализ НТИ.....	75
4.4 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования.....	76
4.5 Расчет бюджета для научно-технического исследования .....	79
4.6 Оценка рисков НТИ .....	84

4.7 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования .....	86
4.8 Оценка ресурсоэффективности проекта .....	88
Глава 5. Социальная ответственность.....	90
Введение.....	90
5.1 Производственная безопасность .....	90
5.2 Экологическая безопасность.....	95
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	96
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	98
Заключение .....	99
Список литературы .....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	109
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	130

## **Введение**

**Актуальность работы.** Появление на рынке новых сверхмощных светодиодов сформировало новую тенденцию в разработке и проектировании световых приборов. Использование таких источников значительно влияет на технические, эксплуатационные и экономические характеристики систем освещения. Они находят применение не только в приборах, предназначенных для освещения жилых и производственных помещений, улиц, фасадов и спортивных сооружений, но и в специализированных системах освещения, где их эксплуатационные характеристики, большой срок службы и эффективность имеют крайне важное значение. Используемые сегодня прожектора оборудованы малоэффективными источниками света, что приводит к большим электрозатратам, и требуют частого и дорогостоящего технического обслуживания. На смену таким системам приходят прожектора, оборудованные светодиодными источниками света.

Основная задача наружного освещения на железных дорогах состоит в том, чтобы дать возможность персоналу и пассажиру определять:

- пространственное расположение и состояние движения подвижного состава;
- обеспечение беспрепятственного выполнения работы;
- препятствия, мешающие безопасному движению;
- железнодорожные сигналы;
- безопасность работы персонала и нахождения пассажиров в зоне железной дороги.

Железная дорога является зоной повышенной опасности, поэтому нет ничего удивительного, что железнодорожное освещение строго нормируется стандартами. Железнодорожные пути, станции и другие объекты нужно освещать на протяжении всей ночи, поэтому оборудование должно быть надежным и экономным.

**Целью работы** является разработка энергоэффективного и надежного прожектора со светодиодными источниками света для равномерного освещения.

**Объектом исследования** является прожектор для освещения железнодорожных путей на вокзале Томск-1. В наши дни существует два принципиальных решения светотехнической арматуры для прожекторов со светодиодным источником света. Для данной работы в прожекторе целесообразно использовать отражатели. Это связано с тем, что такое решение отличается надежностью, легкостью обслуживания и дешевизной. А именно эти качества являются наиболее важными для железнодорожных прожекторов.

**Постановка задачи:**

- Разработать оптимальную оптическую систему прожектора с точки зрения энергоэффективности и равномерности самого освещения, соответствующему требованиям ГОСТ Р 54984-2012.
- Разработать оптимальную систему теплоотвода прожектора.
- Разработать конструкцию прожектора.

**Научная или практическая новизна** работы заключается в разработке оптической системы со светодиодами на основе зеркальных плоских отражателей, которая позволяет формировать световой пучок с требуемыми светотехническими характеристиками.

**Практическая значимость результатов ВКР.** Разработанный светодиодный прожектор может использоваться для освещения железнодорожных путей.

# **Глава 1. Состояние вопроса по разработке светодиодных прожекторов**

## **1.1 Анализ конструкции светодиодных прожекторов**

Известно большое количество прожекторов, которые могут быть использованы на железнодорожных объектах.

Известен патент [1] уличного светильника, содержащий светоизлучающий модуль, закрепленный на основании, жестко соединенным с концевым участком кронштейна, установленного в стержневой опоре. Однако, конструкция заявляемого светильника не приспособлена для обеспечения изменения углового положения основания, соответственно, светоизлучающего модуля, к горизонту. Между тем возможность изменения углового положения светоизлучающего модуля относительно горизонта расширяет функциональные возможности светильника, в том числе, расширяет возможности варьирования характеристик освещенности.

Еще известен патент [2] который выбран в качестве ближайшего аналога предыдущего патента. Рассматриваемый светильник содержит, по меньшей мере, один светодиодный коробчатый светоизлучающий модуль, вертикально расположенный на основании, выполненном в виде дугообразного рамного элемента. Основание связано со средством его крепления к кронштейну, в частности, к трубчатому кронштейну. Указанное средство включает опорный элемент для концевого участка трубчатого кронштейна, обеспечивающий заданный угол наклона основания к горизонту. Опорный элемент выполнен в виде двух параллельных секторных пластин со сквозным отверстием при вершине и со сквозным отверстием при вершине и со сквозными отверстиями на периферии, закрепленных одной из своих боковых кромок на прямоугольной пластине.

Рассматриваемый светильник обеспечивает изменение углового положения основания и, соответственно, светоизлучающего модуля к

горизонту, что позволяет достигнуть требуемых характеристик освещенности. Однако и этот светильник не обеспечивает удобство установки светильника под требуемым углом к горизонту.

Существует патент [3] задачей который является данного изобретения, обеспечение удобной установки светильника под требуемым углом к горизонту. Сущность заявляемого изобретения заключается в том, что в светильнике, содержащем светоизлучающий модуль, расположенный на основании, связанном со средством крепления основания к кронштейну, включающим опорный элемент для концевой участка кронштейна. Согласно изобретению основание имеет пластинчатую форму, средство крепления основания к кронштейну выполнено в виде сформированного на основании вблизи его заднего концевой участка заглубленного отсека, на задней стороне которого выполнена выемка, образующая посадочное место под концевой участок кронштейна. Опорный элемент для концевой участка кронштейна выполнен в виде расположенного в отсеке, по меньшей мере, одного уступа, имеющего наклонную ступенчатую верхнюю поверхность, высота которой убывает в направлении сверху вниз, предназначенную для установки на ней концевой участка кронштейна.

В частном случае выполнения изобретения опорный элемент выполнен в виде трех ориентированных параллельно друг другу уступов, имеющих наклонную ступенчатую верхнюю поверхность, при этом два крайних уступа имеют одинаковую высоту ступенек, превышающую высоту ступенек среднего уступа.

В качестве кронштейна, может быть использован стержневой или трубчатый кронштейн круглого или прямоугольного сечения. А в качестве светоизлучающего модуля преимущественно может быть использован светодиодный светоизлучающий модуль.

Следственно, техническим результатом, достигаемым при реализации изобретения, является повышение эксплуатационных возможностей.



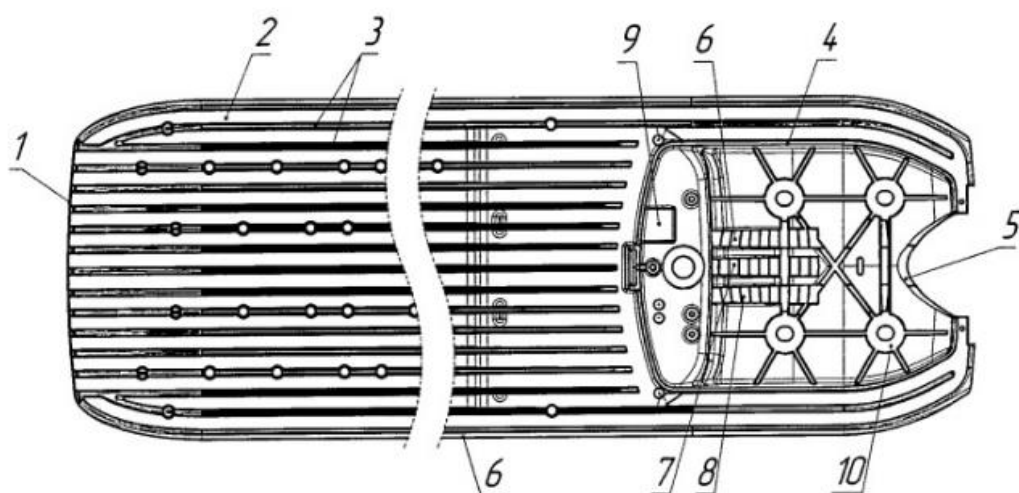


Рисунок 1.1 – Чертеж общего вида светильника (вид сверху) [3]

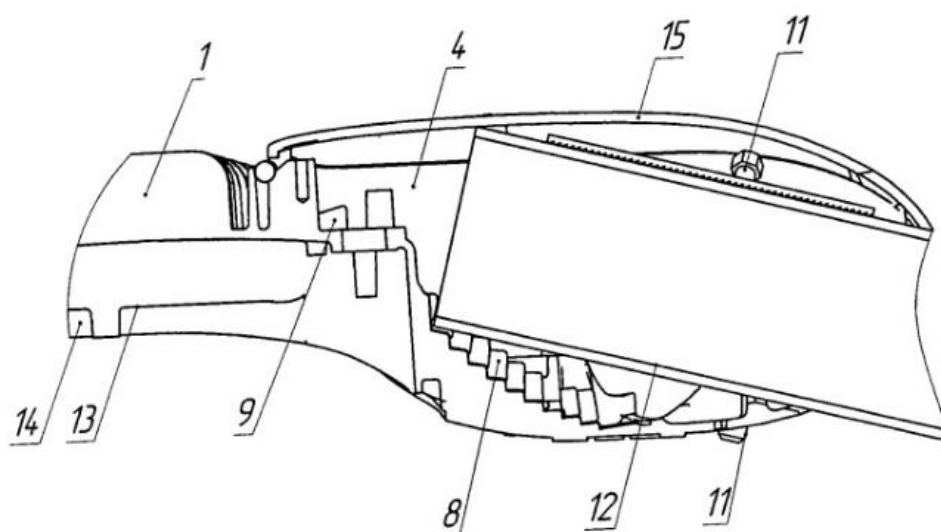


Рисунок 1.2 – Общий вид светильника в разрезе [3]

Светильник имеет пластинчатое основание (1). Основание (1) выполнено, в частности, из теплопроводного материала и дополнительно выполняет функцию радиатора, отводящего тепло. На верхней поверхности (2) основания (1) выполнены ребра (3) охлаждения (на чертеже позицией обозначены два ребра).

В задней части основания (1) сформирован заглубленный отсек (4), на задней стороне которого выполнена выемка (5).

В донной части отсека (4) расположены три ориентированные параллельно друг другу уступа (6), (7), (8), который имеет наклонную ступенчатую верхнюю поверхность, высота которой убывает в направлении

сверху вниз. При этом два крайних уступа (6) и (8) имеют одинаковую высоту ступенек, превышающую высоту ступенек среднего уступа (7).

В отсеке (4) сформирован опорный выступ (9), верхняя поверхность которого предназначена для установки на ней уровня (на чертеже не показан). Опорный выступ (9) имеет угол наклона к горизонту, соответствующий по величине и противоположный по знаку требуемому углу наклона основания (1) к горизонту.

В отсеке (4) в свою очередь имеются отверстия (10) (на чертеже позицией обозначено одно отверстие) под крепежные элементы.

Обозначенные крепежные элементы (11) (рис. 1.2) рассчитаны для фиксации положения концевого участка кронштейна (12) (рис. 1.2) в отсеке (4). К нижней части (13) (рис. 1.2) основания (1) присоединен светоизлучающий модуль (14), в роли которого, использован светодиодный источник света. Отсек (4) сверху закрыт крышкой (15).

Данный светильник по предыдущим патентам отличается тем, что опорный элемент выполнен в виде трех ориентированных параллельно друг другу уступов. И имеет наклонную ступенчатую верхнюю поверхность, при этом два крайних уступа имеют одинаковую высоту ступенек, который превышает высоту ступенек среднего уступа.

Модульный светодиодный светильник, приведенный в патенте [4] используется в приборах прожекторного типа, в основном, для освещения железнодорожных путей и междупутий.

Модульный светодиодный прибор имеет защитный корпус, в котором установлены светодиодные модули, блок питания, каждый светодиодный модуль содержит оптическую систему со светодиодными секторами, включающими светодиоды, линзы и теплопроводящие печатные платы на основе алюминия. Светодиоды установлены в фокусе линз. В светильнике введены дополнительно светодиодный модуль холодного резервирования и вертикальные и горизонтальные регуляторы положения оптической системы. А светодиодные модули размещены на несущем основании,

который выполненный в виде единой ровной детали или в виде сварной рамы на металлической основе с алюминиевыми теплоотводами. А преобразователь напряжения расположен в корпусе радиатора модуля, каждый сектор дополнительно содержит съемные разборные фокусирующие сборки, индивидуальные для каждого светодиода, закрывающие пластины, причем фокусирующие сборки состоят из асферической линзы и держателя на основе из поликарбоната.

Модульный светодиодный прожектор отличается тем, что асферические линзы выполнены на основе прозрачного УФ-стабилизированного поликарбоната. Преобразователь напряжения выполнен с возможностью ступенчатой регулировки уровня света и содержит гальваническую развязку светодиодов от питающей сети. Закрывающие пластины выполнены на основе текстолита.

На рисунке 1.3 представлен фронтальный вид модульного светодиодного прожектора с основанием в виде единой ровной детали.

1 – светодиоды; 2 – фокусирующие сборки, состоящие из асферической линзы и держателя и представляющие собой оптическую систему прожектора; 3 – сферические линзы; 4 – плата на алюминиевой основе; 5 – конструктив источника питания в отдельном корпусе.

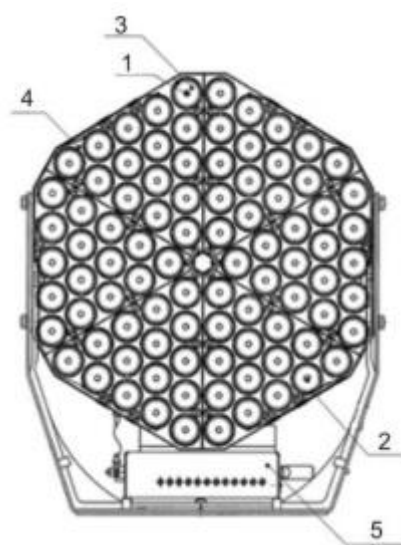


Рисунок 1.3 – Модульный светодиодный прожектор [4]

Известно светодиодное модульное устройство [5], выполненное в виде протяженного тела коробчатой формы, которое включает смонтированную на монтажной плате группу светодиодов, помещенных в единый корпус, закрытый крышкой с отверстиями-рефлекторами для светодиодов.

Данное устройство может быть использовано в составе многомодульного устройства наружного освещения, в том числе, и в железнодорожных объектах.

Однако рассматриваемое устройство предусматривает создание практически параллельного пучка света, что ограничивает площадь освещаемой поверхности и не всегда позволяет достигнуть требуемых характеристик освещенности в разных зонах освещаемой поверхности.

Более универсальным является световой прибор, предложенный в патенте [6], где задачей данного изобретения является создание светодиодного устройства, обеспечивающего возможность увеличения площади освещаемой поверхности и достижения требуемых характеристик освещенности в разных ее зонах.

Сущность заявляемого изобретения заключается в том, что в светодиодном устройстве, образованном совокупностью светодиодных секций, каждая из которых содержит смонтированную на монтажной плате группу светодиодов. В то же время секции расположены таким образом, что их светоизлучающие поверхности размещены с одной и той же стороны устройства. Согласно изобретению секции установлены последовательно под углом друг к другу так, что их светоизлучающие поверхности образуют наружную светоизлучающую поверхность устройства, соответствующую части боковой поверхности выпуклого многогранника.

В частном случае выполнения изобретения секции имеют разную длину и светодиоды расположенные на разных секциях, имеют различные диаграммы направленности светового излучения.

За счет того, что в заявляемом устройстве светодиодные секции расположены под углом друг к другу так, что их светоизлучающие поверхности образуют суммарную светоизлучающую поверхность устройства, форма которой соответствует форме части боковой поверхности выпуклого многогранника, в устройстве обеспечивается формирование суммарного расходящегося светового пучка. Это приводит к увеличению площади освещаемой поверхности, в которой каждая из секций освещает определенную зону. Выбирая количество секций, величину угла между ними, количество светодиодов в секциях и вид диаграмм направленности излучения светодиодов в секциях, можно достигнуть требуемых характеристик освещенности всей освещаемой поверхности и ее отдельных зон.

Таким образом, техническим результатом, достигаемым при реализации заявляемого изобретения, является возможность увеличения площади освещаемой поверхности и достижения требуемых характеристик освещенности в разных ее зонах.

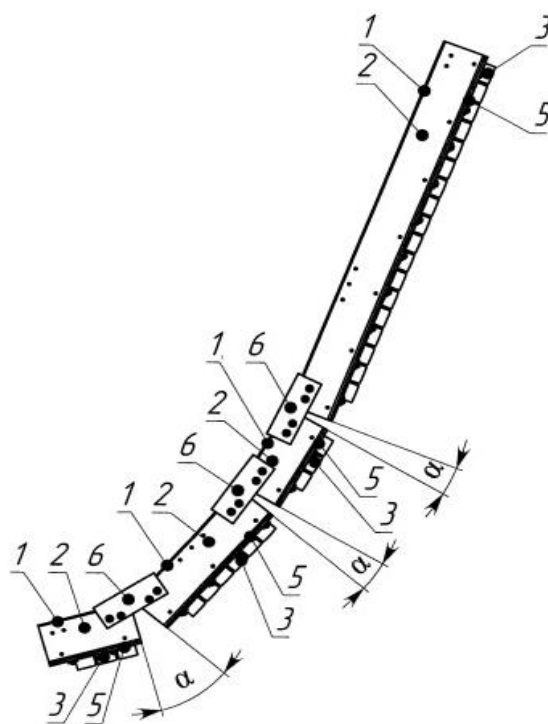


Рисунок 1.4 - Общий вид модульного светильника (вид сбоку) [6]

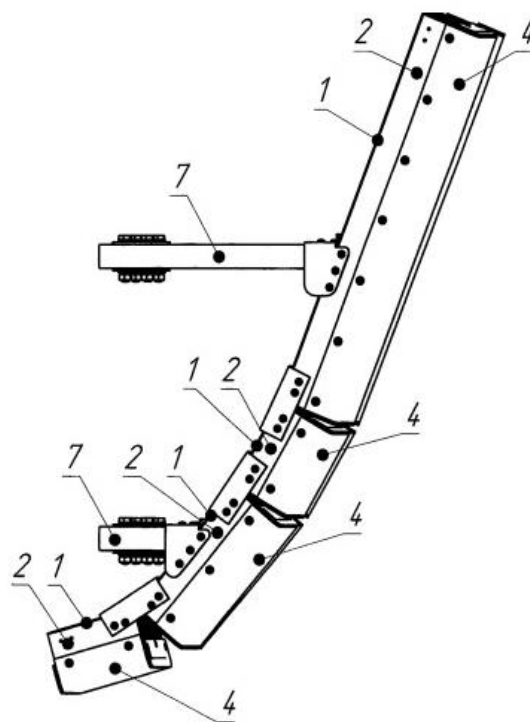


Рисунок 1.5 – Общий вид модульного светильника в аксонометрии [6]

Устройство образовано установленными последовательно один за другим имеющими коробчатую форму секциями (1), расположенными под углами  $\alpha$  друг к другу.

Устройство содержит четыре секции (1), величина угла  $\alpha$  между соседними секциями (1) устройства, в частности, возрастает по высоте устройства в направлении сверху вниз. Длина секций (1) выбран таким, что верхняя секция (1) имеет наибольшую длину, а средняя из трех нижних секций (1) имеет длину, превышающую длину прочих двух нижних секций (1), имеющих одинаковую длину.

Каждая секция (1) содержит корпус (2), внутри которого помещена смонтированная на монтажной плате (на чертежах не показана) группа светодиодов (3) (на чертеже позицией 3 обозначен один светодиод). При этом в каждой секции (1) светодиоды (3) могут располагаться на одной и той же монтажной плате с обеспечением формирования практически параллельного пучка света. В то же время они могут располагаться на двух расположенных с малым наклоном (порядка 5 градусов) друг относительно друга монтажных

платах с обеспечением формирования чуть расходящегося пучка света с целью увеличения ширины площади освещаемой поверхности.

Корпус (2) каждой секции (1) закрыт крышкой (4) (см. рис. 1.5, на 1.4 показано вид устройства со снятыми крышками у секций (1)), сделанный из прозрачного оргстекла, что обеспечивает прохождение излучаемого светодиодами (3) света через крышку (4) почти без потерь.

Каждые две соседние секции (1) соединены между собой с помощью крепежных П-образных планок (6). Они охватывает задние и боковые поверхности торцевых участков соответствующих секций (1). Устройство, в свое время, содержит кронштейны (7) (рис.1.5), предназначенные для закрепления устройства на опоре.

В настоящее время для наружного освещения все более широкое применение находят светодиодные многомодульные устройства.

Так, например известен патент [7], светодиодное многомодульное устройство для освещения дорог, которое включает совокупность закрепленных на общей раме светодиодных модулей, каждый из которых содержит расположенные на монтажной плате светодиоды.

Данное устройство за счет наличия нескольких светодиодных модулей обеспечивает значительную величину светового потока.

Однако конструкция рассматриваемого устройства не является компактной и при увеличении количества светодиодных модулей значительно увеличиваются габариты устройства.

В сфере наружного многомодульного освещения интересным выглядит патент [8], сущность изобретения заключается в том, что в осветительном многомодульном устройстве, содержащем опорный рамный элемент, а также скрепленные с ним светодиодные модули. Каждый модуль содержит смонтированную на монтажной плате группу светодиодов, при этом светодиодные модули расположены в ряд с зазорами между их боковыми поверхностями. Согласно изобретению модули установлены наклонно относительно плоскости горизонта таким образом, что их

светоизлучающие поверхности образуют наружную светоизлучающую поверхность устройства и обращены вниз. В то же время, ширина каждого из зазоров между боковыми поверхностями модулей увеличивается по высоте модулей снизу вверх.

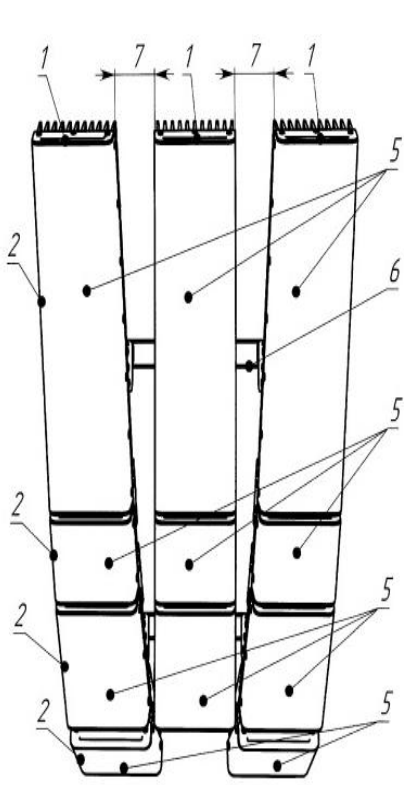
В частном случае выполнения изобретения модули расположены в ряд таким образом, что их светоизлучающие поверхности образуют выпуклую наружную светоизлучающую поверхность.

Наличие в заявляемом осветительном устройстве нескольких расположенных в ряд светодиодных модулей, скрепленных с общим опорным рамным элементом, позволяет достигнуть значительных величин светового потока при обеспечении компактности конструкции.

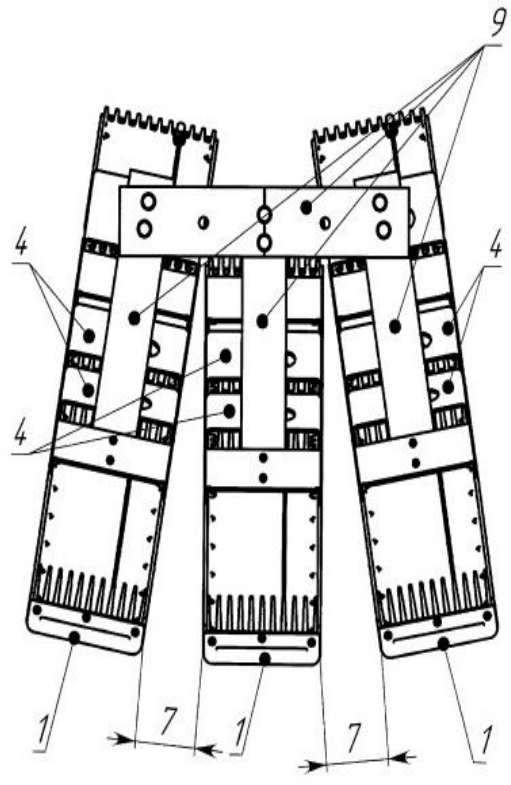
За счет описанного выше наклонного положения модулей относительно плоскости горизонта заявляемое устройство обеспечивает освещенность поверхности как в ближней зоне освещения, расположенной вблизи места установки устройства, так и в дальней зоне освещения, удаленной от места установки устройства.

Таким образом, техническим результатом, достигаемым при использовании заявляемого изобретения, является обеспечение освещенности в дальней и ближней зонах освещения при обеспечении значительной ширины диаграммы направленности излучения в горизонтальной плоскости.





a)



б)

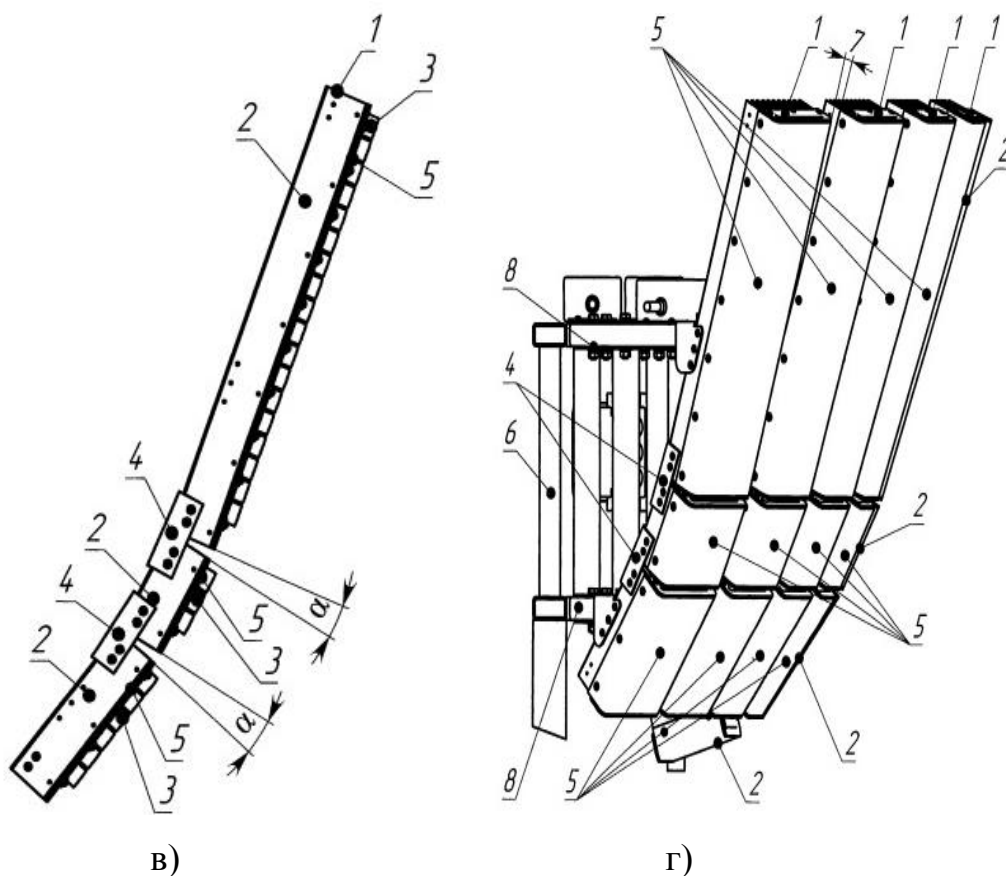


Рисунок 1.6 – Чертеж общего вида многомодульного устройства  
 а) – вид спереди; б) – вид сверху; в) – вид сбоку; г) общий вид данного  
 устройства в аксонометрии [8]

Светодиодное модульное устройство содержит светоизлучающие модули (1). Каждый модуль образован совокупностью светодиодных секций (2). Секции (2) выполнены в виде коробчатых тел, содержащих смонтированные на монтажной плате светодиоды (3) (на рис. 1,6 в позиции обозначен один светодиод). Секции (2) расположены по высоте модулей (1) последовательно одна за другой и установлены под углами  $\alpha$  (см. рис 1.6 в) друг к другу, величина которых может быть различной, в частности может увеличиваться по длине модуля (1) в направлении сверху вниз. При этом секции (2) скреплены друг с другом, в частности, с помощью крепежных П-образных планок (4) таким образом, что светоизлучающие поверхности (5) секций (2) каждого модуля (1) образуют его наружную светоизлучающую

поверхность, форма которой соответствует форме части боковой поверхности выпуклого многогранника.

Скрепление модулей (1) с опорным рамным элементом (6) осуществлено с помощью соединительных элементов, выполненных, в частности, в виде кронштейнов (8).

Опорный рамный элемент (6) выполнен, в частности, в виде прямоугольного рамного каркаса. Модули (1), в частности, объединены в группы по три модуля с помощью стяжек (9) и расположены вокруг рамного каркаса (6) тремя группами с каждой из его четырех сторон с образованием светоизлучающей наружной поверхности устройства, имеющей чашеобразную форму. При этом с каждой из четырех сторон рамного каркаса (6) в центральной группе из трех групп модулей (1) два крайних модуля (1) содержат четыре секции (2), а все прочие модули (1) во всех группах содержат три секции (2). Количество светодиодов (3), а также диаграммы направленности излучения светодиодов (3) в секциях (2) модулей (1) могут быть различны. При этом светодиоды (3) могут располагаться в секциях (2) на одной монтажной плате или на двух расположенных с небольшим наклоном друг относительно друга монтажных платах с обеспечением формирования несколько расходящегося пучка света с целью увеличения ширины площади освещаемой поверхности.

Так, в частности, модули (1), включающие три секции (2), содержат в первой верхней секции (2) две платы по 36 светодиодов с узкой диаграммой направленности. Угол наклона между платами в указанной секции составляет около 5 градусов, угол наклона указанной секции к горизонту составляет около 68,5 градусов. В свое время, во второй средней секции (2) - две платы по 6 светодиодов с узкой диаграммой направленности, угол наклона между платами в указанной секции составляет около 5 градусов, угол наклона указанной секции к горизонту составляет около 60 градусов. В третьей нижней секции (2) - две платы по 12 светодиодов с широкой диаграммой направленности, угол наклона между платами в указанной секции составляет

около 5 градусов, угол наклона указанной секции к горизонту составляет около 50 градусов. Модули (1), включающие четыре секции (2), содержат в четвертой нижней секции (2) две платы по 6 светодиодов с широкой диаграммой направленности, угол наклона между платами в указанной секции составляет около 5 градусов, угол наклона указанной секции к горизонту составляет около 16 градусов.

## **1.2 Тепловой анализ светодиодов**

Благодаря высокой световой отдаче и длительному сроку жизни (порядка пятьдесят тысяч часов), светодиодные светильники являются очень конкурентоспособным решением. Надежность и выходные характеристики светодиодных источников света сильно зависят от температуры области р-п перехода. Это делает выбор системы теплоотвода или кратко тепловой расчет весьма важным этапом проектирования осветительных систем на основе светодиодов.

Сейчас интерес к созданию твердотельных источников света на основе светодиодов повысился. Световая эффективность полупроводниковых излучателей уже достигла 100 люмен на ватт.

Одновременно, стремление к дальнейшему повышению выхода светового потока неизбежно приводит к увеличению прямого тока через кристалл полупроводника, и как следствие, увеличению тепловыделения.

Процесс исследований доказывают о том, что при работе светодиода примерно 65~85% электроэнергии уходит в тепло. При неправильном тепловом расчете устройства излишек тепла повышает температуру активной области кристалла, что приводит к уменьшению максимального оптического выхода и ограничивает срок службы светодиода. Кроме того корпус светодиода изготавливается из полимера, по поводу этого нельзя нагревать свыше определенного предела – деформация колбы может привести к обрыву токовода. Понятно, что температура кристалла, находящегося внутри

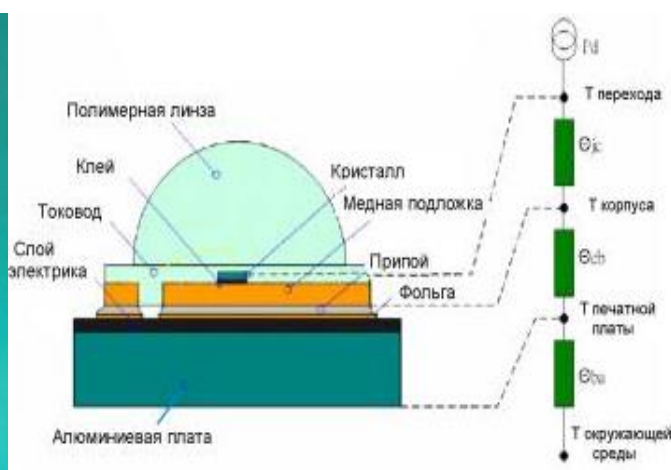
полимерной колбы, не должна превышать некоего значения в определенном интервале времени. Если не принять должных мер по отводу излишнего тепла, то все вышеперечисленные неприятные последствия неизбежно скажутся [9].

Представляемый ниже материал предназначен для изучения основных тепловых свойств мощных светодиодов на примере светодиодов DORADO производства фирмы COTCO Ltd. В данный момент данные светодиоды не производится, но предлагаемая ниже методика применяется к любым светодиодам, включая и к продукции фирмы CREE в корпусах XP-C, XP-E и XP-G, поскольку их конструкция близка к описанному ниже устройству DORADO.

Можем рассмотреть внутреннее устройство светодиода DORADO. Кристалл приклеивается токопроводящим клеем с высокой теплопроводностью к медной подложке относительно больших размеров. Сама оптическая линза сделана из полимера, оно защищает конструкцию светодиода от внешних воздействий и формирует световой поток. Рисунок 1.7б показывает внутреннюю модель теплового сопротивления для DORADO, который припаянного на печатную плату из фольгированного алюминия (Al PCB) [10].



а)



б)

Рисунок 1.7 – а) Внешний вид светодиода DORADO; б) Тепловая модель светодиода DORADO [10]

Можно сравнить конструктивных особенности исполнения светодиодов LUXEON и DORADO, и способы их монтажа на печатную плату (Рис.1.8). Видно, что весь корпус DORADO припаян на печатную плату, в отличие от LUXEON, который припаян за ленточные выводы и требует установки на теплоотводящую пасту [11].

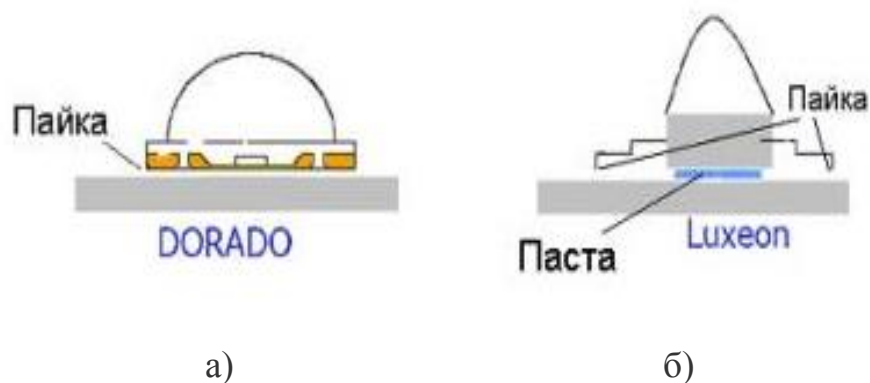


Рисунок 1.8 – Особенности монтажа светодиодов:

а) DORADO; б) Luxeon [11]

Мощность, рассеиваемая на светодиоде, прямо пропорциональна прямому напряжению и прямому току через светодиод[12].

$$PD = IF * UF$$

где  $PD$  – рассеиваемая мощность;

$IF$  – прямой ток;

$UF$  – прямое напряжение.

Рассеиваемая мощность выделяется на кристалле и повышает его температуру. Если температура перехода (кристалла) становится выше оговоренной в технической документации (DATASHEET), светодиод может быть поврежден. Температура р-п перехода рассчитывается следующим образом:

$$TJ = Ta + PD(\theta jc + \theta ca)$$

где  $TJ$  – температура р-п перехода;

$Ta$  – температура окружающей среды;

$\theta_{jc}$  – тепловое сопротивление между р-п переходом и корпусом;

$\theta_{ca}$  – тепловое сопротивление между корпусом и окружающей средой.

Тепловое сопротивление определяется как отношение разности температур к соответствующему рассеянию мощности. Рассчитать температуру р-п перехода при конкретном тепловом сопротивлении  $\theta_{ja}$  можно с помощью следующих уравнений:

$$TJ - TA = PD * (\theta_{jc} + \theta_{cb} + \theta_{ba})$$

$$Tja = PD * \theta_{ja}$$

где  $Tja = TJ - Ta$  (разница между температурой р-п перехода и температурой окружающей среды);

и  $\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{cb} + \theta_{ba}$  или  $\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{ca}$  (тепловое сопротивление между р-п переходом и окружающей средой)[12].

При тепловом расчете проектируемого устройства многие параметры можно найти в технической документации. Важнейший из этих параметров – температура перехода, которая не должна превышать установленного максимального значения. Параметры белого DORADO LD-700DWN6-70 приведены в таблице 1[13].

Таблица 1-Параметры белого DORADO LD-700DWN6-70 [13]

Junction temperature $T_j$ max	Максимально допустимая температура р-п перехода	125°C
Junction temperature $T_j$	Рекомендуемая температура р-п перехода	110°
Junction-to-ambiente $\theta_{ja}$	Тепловое сопротивление между р-п переходом и окружающей средой	45°C/Вт
Junction-to case $\theta_{jc}$	Тепловое сопротивление между р-п переходом и корпусом светодиода	15°C/Вт

Примечание: Данные приведены при установке светодиода на Al PCB пластину размером 20x20x2 мм. При оптимизации теплоотвода значения  $\theta_{jc}$  и  $\theta_{ja}$  уменьшается.

К числу факторов, влияющих на тепловой режим, можно отнести величину прямого тока через светодиод, температуру окружающей среды, материала печатной платы и радиатора. При проектировании на уровне устройства тепловые сопротивления между корпусом светодиода и печатной

платой, печатной платой и окружающей средой должны быть рассчитаны дополнительно.

Тепловой расчет. Для понимания влияния температуры окружающей среды и теплового сопротивления материалов, используемых для печатной платы, в лаборатории COTCO Ltd. были исследованы светодиоды DORADO, припаянные на плату Al PCB размером 20\*20\*2 мм. Температура корпуса измерялась с помощью термозонда, введенного сквозь отверстие диаметром 1 мм в плате под медным основанием корпуса светодиода (Рис. 1.9).

Через 30 минут после включения питания была проведено измерение температуры корпуса. Данные измерений приведены в таблице 2 [14].



Рисунок 1.9 – Светодиод DORADO припаянный на плату Al PCB размером 20x20x2 мм [14]

Таблица 2. Температура корпуса через 30 мин. после включения

Модель DORADO	If (mA)	Uf (B)	PD, Вт.	Ta (0C)	Tc (0C)	Tj (0C)	Θjc (0C/Вт)
LD-700AWN1-70	350	3.6	1.26	25	77	88	9
LD-700ABL1-E0	300	3.6	1.08	25	70	81	10
LD-700APG1-E0	300	3.6	1.08	25	72	83	10
LD-701CHR1-A5	450	2.4	1.08	24	68	82	13
LD-701CYL1-A5	450	2.4	1.08	24	70	84	13

Наряду с радиатором из Al PCB были исследованы и другие виды печатных плат размером 20\*20 мм из фольгированного стеклотекстолита FR4, и из двустороннего стеклотекстолита с просверленными



дополнительными сквозными металлизированными отверстиями диаметром 0,4 мм. При пайке DORADO эти отверстия заполняет припой. На этих платах не установлены никакие другие компоненты, излучающие тепло во время работы. Эксперимент проводился при температуре окружающей среды 25 °С и нормальной влажности (Рис. 1.10).

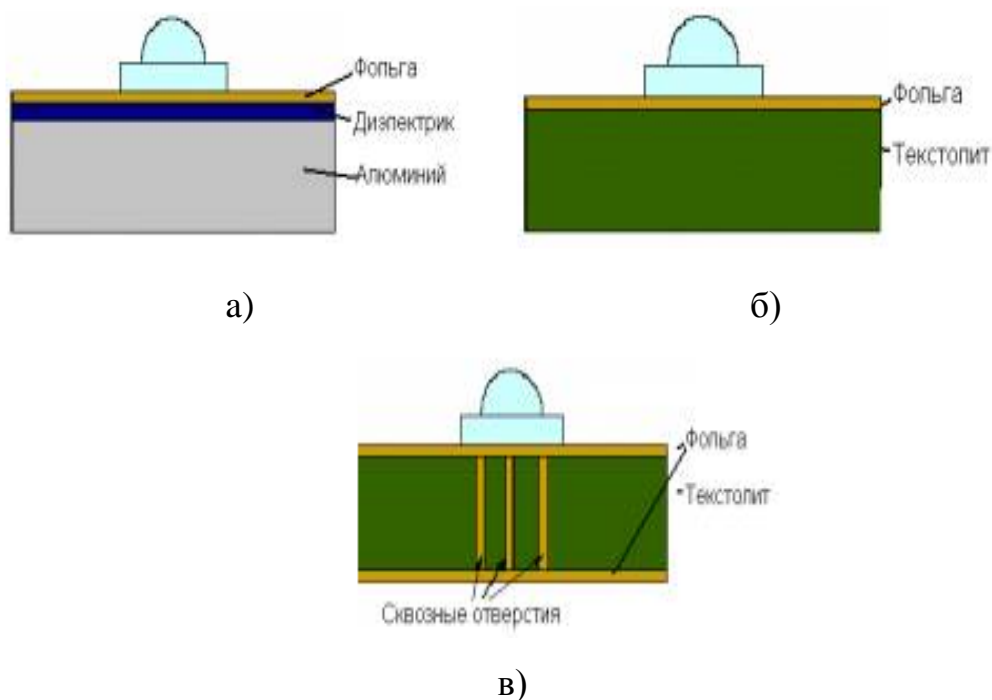


Рисунок 1.10 – Варианты монтажа: а) Al PCB; б) Стеклотекстолит FR4; в) Стеклотекстолит FR4 с отверстиями [14]

Спустя 30 минут после подачи питания радиатор из Al PCB имел более низкую температуру, чем печатная плата из фольгированного стеклотекстолита FR4, так как у него более низкое тепловое сопротивление, что позволяет отдать большее количество тепла в окружающую среду.

Однако печатная плата из двустороннего фольгированного стеклотекстолита за счет наличия дополнительных металлизированных отверстий имеет тепловые характеристики даже лучше, чем у фольгированного алюминия (Табл. 3).

Таблица 3. Результаты спустя 30 минут после подачи питания [14]

Материал платы	Измеренная температура	$\Theta_{ba}$ (тепловое сопротивление между платой и окружающей средой)
Стеклотекстолит FR4	84.8 °C	59.8 °C/Вт
Al PCB	76.6 °C	51.6 °C/Вт
Стеклотекстолит FR4 с отверстиями	75.5 °C	50.5 °C/Вт

При увеличении количества отверстий теплопроводность платы из фольгированного стеклотекстолита FR4 еще более увеличивается (Рис. 1.11, 1.12).

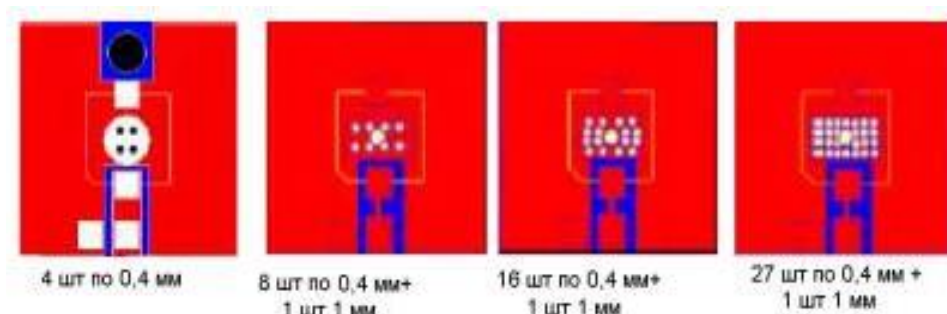


Рисунок 1.11 – Фольгированный стеклотекстолит FR4 с несколькими отверстиями [14]

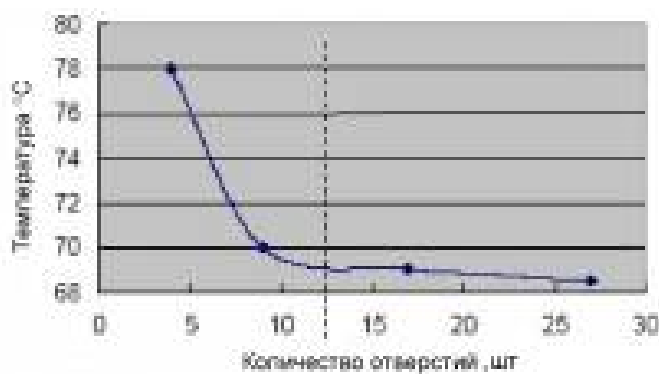


Рисунок 1.12 – Зависимость температуры от количества отверстий [14]

Теплопроводящие материалы необходимы для создания хорошего теплового контакта между печатной платой и радиатором или между светодиодом и радиатором. Помимо создания надежного теплового контакта,

некоторые теплопроводящие материалы, в зависимости от дизайна охлаждающей системы, могут выполнять и другие функции, такие как изоляция электрических узлов схемы или создание механического крепления. К основным теплопроводящим материалам относятся термопасты, материалы с изменением фазы, гели, термоклей.

Радиатор – это, пожалуй, самый важный элемент в системе охлаждения светодиода; он отводит тепло от печатной платы или напрямую от светодиода, и рассеивает тепло в воздухе. К радиатору предъявляются следующие требования: материал радиатора должен быть с высоким значением теплопроводности, площадь поверхности радиатора должна быть максимальной, а также радиатор обладал высоким коэффициентом излучения, чтобы рассеять тепло в виде теплового излучения. Анодированный алюминиевый радиатор обладает большим коэффициентом излучения. Помимо охлаждения, радиатор может выполнять и другие функции, наиболее часто он может выступать в роли корпуса либо держателя.

Чаще всего для охлаждения применяется радиаторы на основе из прессованного алюминия, так как он сравнительно лучше отводит тепло и имеет весьма небольшую массу. Самым теплопроводящим металлом является медь, которого теплопроводность в два раза больше чем из алюминиевых, но главным недостатком считается его тяжелый вес и низкая податливость металла [15].

Основным недостатком системы охлаждения на основе алюминиевого радиатора относится многослойность конструкции. Многослойной конструкции свойственны сопутствующие переходные тепловые сопротивления, которые хоть и можно минимизировать применением специальных теплопроводящих материалов (изолирующие пластины, пасты, клейкие вещества, материалы для заполнения воздушных промежутков и др.), тем не менее, приводят к увеличению температуры перехода.

Традиционно для охлаждения используются радиаторы, выполненные из металла с высокой теплопроводностью и их сплавов. По последним результатам, полученным в сфере полимерного компаундирования, можно утверждать, что в скором будущем будут широко использоваться теплорассеивающие полимерные композиты (ТРПК) с теплопроводностью многократно, в десятки и сотни раз превосходящих теплопроводность обычных пластмасс. Такое резкое повышение теплопроводности ТРПК достигается за счет применения наполнителей с высокой теплопроводностью (до 250 Вт/мК), специального оборудования для их наполнения и подбора специальных технологических добавок [16].

Таблица 4. Производители ТРПК [16]

Торговая марка	Производитель	Теплопроводность, Вт/м·К
COOLPOLY	Cool Polymers, США	1,0-40,0
LATICONTER	Lati Industria Termoplastici, Италия	1,0-15,0
FORTRON	Ticona, Германия	1,1-3,0
RTP (99X)	RTP, Imagineering Plastics, США	1,0-18,0
ТЕПЛОСТОК	«СПЕЦПЛАСТ-М», Россия	1,0-13,0

ТРПК перерабатываются методом литья под давлением на стандартных термопластавтоматах, из них легко могут быть сразу получены высокоточные, полностью готовые к сборке детали. А металлические радиаторы охлаждения в силу применяемых технологий переработки (штамповка или экструдирование, литье) нуждаются в дополнительной механической доработке (распиливание, фрезерование, шлифовка и т. д.). Эти дополнительные операции весьма трудоемки и увеличивают себестоимость изготовления деталей.

Как показывает мировой опыт, применение теплорассеивающих полимерных композитов для решения проблемы тепловой стабильности дает возможность повысить надежность работы LED-светильников, снизить себестоимость их изготовления. При этом использование ТРПК

целесообразно как в конструкции самих светодиодов, так и в их «обрамлении» — термоинтерфейсах, собственно самих светильниках, фонарях.

Американская фирма Lynk Labs запатентовала технологию ThermaLynk, использующую ТРПК как конструкционную основу LED Chip (рис 1.13). При этом кристалл размещается непосредственно в монолитном модуле (подложка-радиатор), отлитом из ТРПК. Такое решение резко упрощает традиционную конструкцию (рис. 1.13) светодиода, снижает его себестоимость[16].



Рисунок 1.13 – Перспективная (малокомпонентная) конструкция светодиода на базе ТРПК [16]

Проблема «теплового комфорта» LED в последнее время особенно остро стоит при проектировании мощных носимых светильников (фонари, мини-прожекторы и т.п.), где использование для охлаждения традиционных металлических радиаторов и рефлекторов приводит к критическому увеличению веса, усложнению и удорожанию конструкции. Например, компания Philips разработала серию инновационных светильников MR16, который в нем практически отсутствуют металлические комплектующие (рис 1.14).



Рисунок 1.14 – Светильник MR16 с корпусом из ТРПК

Если естественного охлаждения недостаточно для отвода тепла, то требуется использовать принудительное охлаждение. Существует множество вариантов активного охлаждения – от кулеров до водяного охлаждения.

Для эффективного охлаждения часто радиатор дополняют вентилятором. Такой вид воздушного охлаждения сравнительно недорогой, но из-за генерации звукового шума используется ограниченно. Для преодоления указанного минуса и снижения размеров систем охлаждения была разработана струйная система обдува радиатора [17]. Например, разработанная компанией Nuventix струйная система охлаждения светодиодов SynJet обеспечивает тепловое сопротивление  $0,75...2,65$  К/Вт. При этом обладает низким уровнем генерируемого звукового шума и малым размером. Принцип работы этих систем основан на периодической обдуве ребер радиатора импульсными турбулентными потоками воздуха. Такой способ отвода тепла является более эффективным, чем при обдуве равномерным воздушным потоком обычного вентилятора.

В мощных светодиодных прожекторах, видеопроекторах, а также специальных светосигнальных устройствах рассеиваемая мощность может составлять сотни ватт. В таких случаях выходом из положения служит применение жидкостных охладителей, которые позволяют уменьшить тепловое сопротивление охладителя до требуемых десятых-сотых долей К/Вт [18].

Необходимо подчеркнуть, что система охлаждения светодиода иногда дополняется элементом Пельтье, который устанавливается между корпусом

светодиода и теплоотводом. Однако элемент Пельтье не применяется в системах теплоотвода мощных светодиодов, так как обладает низким КПД [19].

### 1.3. Оптическая система светодиодного светильника

Главные задачи оптической системы – сформировать определенного распространения света в пространстве при одновременном сохранении светового потока. Кроме того, в зависимости от места применения светильника и его различных качеств, оптическая система отвечает за равномерности освещённости, восприятие света без бликов и ослепленности. Главными элементами оптической системы светового прибора являются отражатель и рассеиватель. Эти выше сказанные элементы могут присутствовать в световом приборе одновременно или по отдельности (рис. 1.15) [20].



(а)



(б)

Рисунок 1.15 – Световые приборы, оптические системы которых представлены только отражателем (а) [20] или только рассеивателем (б)

По наличию или отсутствию компонентов оптической системы световые приборы можно разделить на три типа:

Световые приборы с рассеивателем. В таких условиях светильниках источник света полностью скрыт от глаз наблюдателя. Главными

преимуществами таких приборов является, рассеянный свет равномерно будет освещать пространство.

Световые приборы с отражателем. Большинство модели световых приборов выпускаются без рассеивателя. Они разрабатываются одним рефлектором, который направляет свет вверх и вниз или в стороны. В таких случаях формируется не большое равномерное общее освещение, но такие приборы в большинстве случаев служат прожекторами, равномерный свет от которых получается за счет перераспределения света в пространстве при отражении от освещаемых поверхностей.

Световые приборы с рассеивателем и отражателем. Общая форма отражателя создаёт направление, в котором будет выходить излучение, а рассеиватель позволяет воспринимать свет однородным с поверхности светового прибора.

Отражатель (рефлектор) светового прибора.

Рефлектор служит для того чтобы направить света и его перераспределения в пространстве за счет многократного отражения. Рефлектор может быть любой формы, это зависит от функциональных назначении приборов.

По способу распределяемого отражённого потока света, отражение может быть зеркальным (направленным), рассеянным (диффузным), направленно-рассеянным и смешанным [21]. Наиболее важными характеристиками материалов, отражающих свет, следует считать коэффициент отражения и кривую распределения отражённого потока света в пространстве (индикатрису), а в цветных светоотражающих материалах немаловажен такой показатель, как распределение коэффициента отражения в спектре. Однако цветные материалы при изготовлении осветительных приборов, как правило, не применяются.

Материалы с направленным и направленно-рассеянным типом отражения представляют собой металлы, обработанные различными методами, или же покрытия из металла на неметаллическом основании.



Рассеянное отражение формируют матовая бумага, ткани, большинство красок и эмалей. Смешанным отражением обладают специфические силикатные эмали и блестящие белые материалы (силикатные и синтетические материалы с добавками, не пропускающими свет, блестящая бумага и другие). Направленное отражение даёт возможность более точно и направленно распределять поток света ламп, создавая тем самым необходимую кривую силы света (КСС). Максимальным коэффициентом отражения из всех очищенных металлов обладает серебро. Его коэффициент отражения равен 0.92. Но из-за своей высокой стоимости серебро используется лишь в виде тонко нанесённого слоя на обычных стеклянных отражателях некоторых прожекторов и в увеличительных приборах.

Распространённым среди материалов отражателей является также обработанный алюминий, в чистом виде имеющий коэффициент отражения 0.8, но быстро окисляющийся на воздухе.

Поскольку стоимость металлов с каждым годом увеличивается, а коэффициент отражения металла сильно зависит от степени его чистоты, экономически и экологически оправданным решением является использование вместо очищенного алюминия его сплавов, а также стали и пластика (например, поликарбоната), придающих готовому материалу отражателя прочность и гибкость, а самому отражателю — возможность принимать любые формы и размеры. Иногда в качестве материала отражателя используют стекло. Такие материалы, как пластик и стекло, сначала покрывают слоем высокоочищенного алюминия путём его испарения в вакууме, и затем защитным слоем, например,  $\text{SiO}_2$ . Если материал отражателя предназначен для направленного отражения, то поверхность материала основы должна быть максимально гладкой и не иметь шероховатостей. В противном случае отражение будет направленно-рассеянным [22].

На сегодня коэффициент отражения от листов металла с тонким слоем высокоочищенного алюминия достиг значения 99.99%, а с нанесёнными

поверх защитными слоями из  $\text{SiO}_2$  и  $\text{TiO}_2$  — 95%. Наивысший коэффициент отражения света достигается при замене высокоочищенного  $\text{Al}$  на серебро; в этом случае коэффициент отражения максимален и равен 98%.

Рассеиватель светильника. Оптический рассеиватель необходим для создания однородности распределения света в пространстве, отсутствия бликов в светильниках общего освещения и в создании равномерного освещения в светильниках подсветки. Оптические рассеиватели в современных светильниках делают из поликарбоната (PC) (рис. 1.16) и полиметилметакрилата (PMMA), поскольку эти материалы позволяют изготавливать линзы и рассеиватели практически любых размеров, форм и диаграмм направленности. Они к тому же гораздо легче, например, стекла, и технологичны, а также прочнее других полимерных материалов, таких, например, как полистирол, полипропилен, стиролакрилонитрил и другие [23].

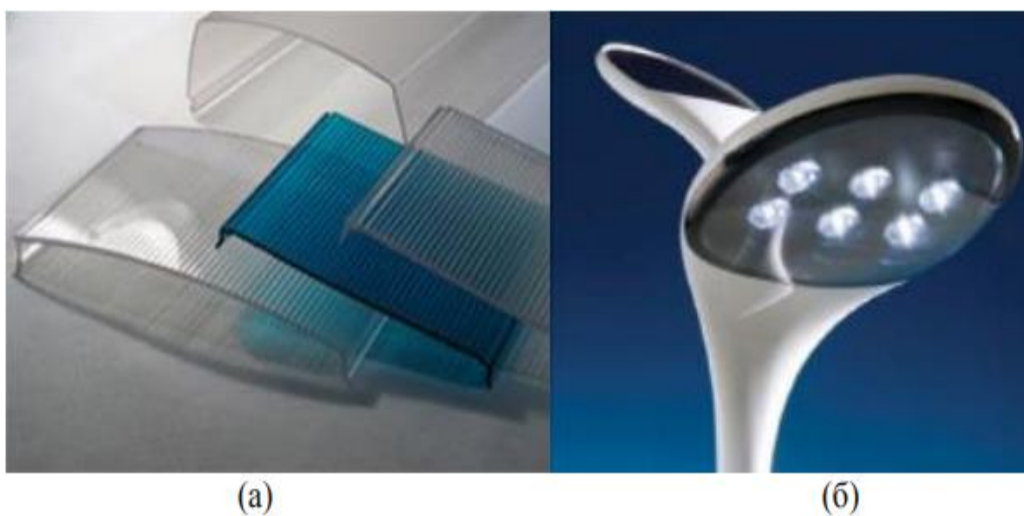


Рисунок 1.16 – Рассеиватель из поликарбоната (а) [23] и их использование в светодиодных светильниках для уличного освещения (б)

Современные материалы на основе поликарбоната хорошо подходят для светодиодных ламп и светильников, в том числе дизайнерских. Они обеспечивают защиту от воспламенения, обладают малым весом, сохраняют

свои свойства под действием ультрафиолетового излучения, способны работать при температурах от  $-30$  до  $+50$  °С.

## **Глава 2. Объект и способы проектирование**

### **2.1 Объект разработки**

Объектом разработки является прожектор со светодиодным источником света для освещения ЖД вокзала Томск-1.

Сегодня существует два принципиальных решения светотехнической арматуры для прожекторов на светодиодах. Это отражатели и линзы с эффектом полного внутреннего отражения. Для освещения ЖД путей целесообразно использовать отражатели. Это связано с тем, что такое решение отличается надежностью, легкостью обслуживания и дешевизной. А именно эти качества являются наиболее важным для железнодорожных прожекторов.

#### **2.1.1 Анализ существующего освещения на ЖД вокзале Томск-1**

Перед выполнением научно-исследовательской работы был проведен предварительный осмотр пассажирской платформы на ЖД вокзале Томск-1. В ходе осмотра в дневное время суток был определен тип используемых ламп, расстояние между опорами освещения и высота расположения прожекторов (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Расположение осветительных устройств

Для наглядного представления была смоделирована рассматриваемая платформа с прожекторами (рис. 2.1).

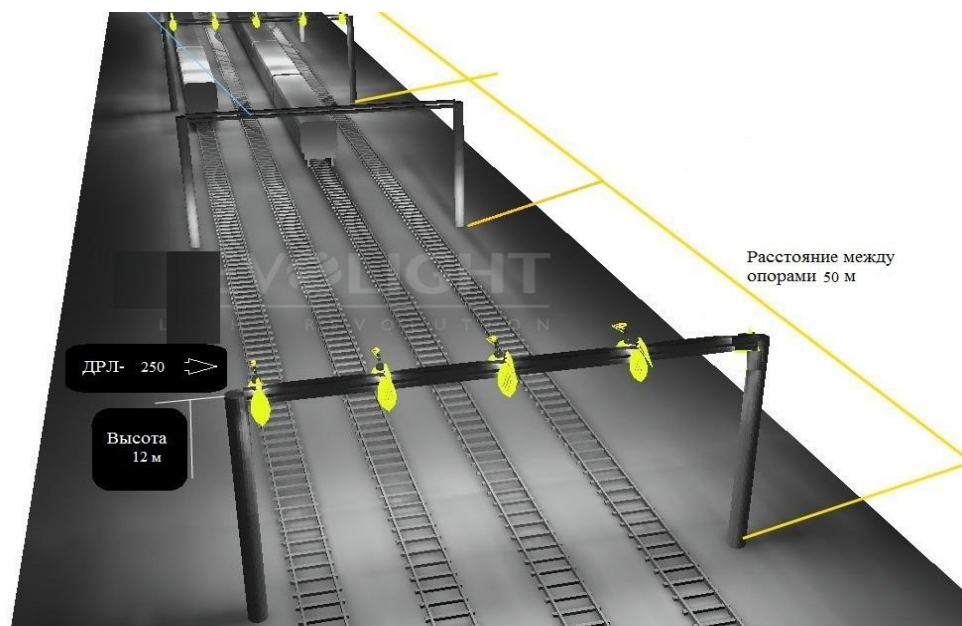


Рисунок 2.2 – Модель осветительной конструкции ЖД путей

Как показано на рисунке 1.2 на сегодняшний день на ЖД вокзале Томск-1, именно где пассажирская платформа установлены четыре прожектора на одной опоре на высоте 12 метров, каждый мощностью 250 Вт типа ДРЛ.

Для измерения освещения рассматриваемой платформы, целесообразно было проводить в ночное время суток.

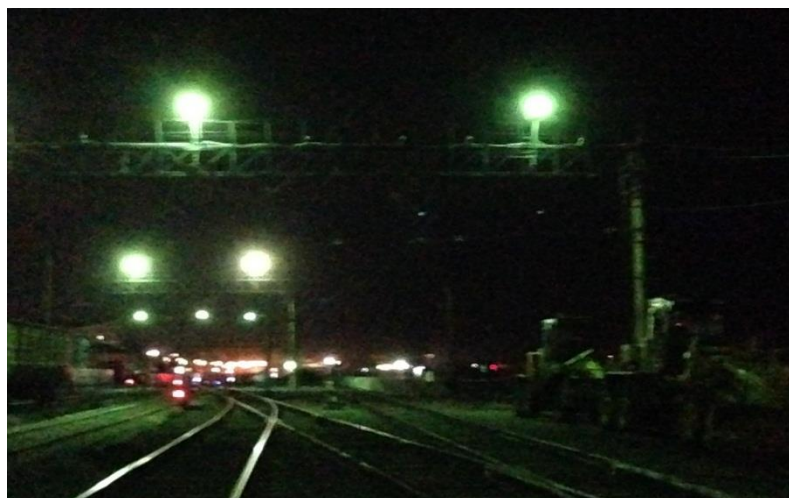


Рисунок 2.3 – Освещения ЖД платформ в ночное время суток

В ходе измерения были получены следующие данные:

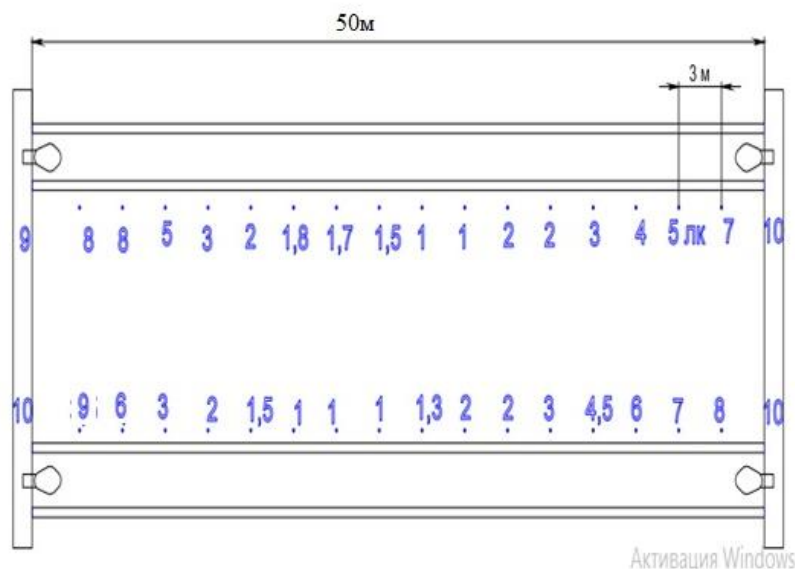


Рисунок 2.4 – Параметры освещенности прожекторов

По полученным данным были выявлены следующие недостатки:

- высокая неравномерность;
- высокая ослепленность.

Эти недостатки связаны с несоответствием по стандартам. Освещение на пассажирских платформах по стандартам должно быть не менее 10 лк [24].

В связи с этим для устранения данных несоответствий стандартам есть возможность поднять КПД в два раза, и улучшить освещенность с использованием замены ламп ДРЛ, который имеет по современным меркам низкий КПД, на лампы светодиодные.

У ламп ДРЛ присутствует эффект старения. Достоверно известно, что после 400 часов работы падение светового потока у ламп ДРЛ составляет более 20%, а к концу срока жизни более 50%. Большую часть срока службы лампа излучает всего 50-60% от номинального светового потока.

У светодиодов подобного нет. Светодиоды в течение всего своего срока службы сохраняют свои параметры на первоначальном уровне. Лишь к

концу срока может наблюдаться незначительное падение светового потока [25].

## **2.2 Методика проектирования и обоснование используемых компьютерных программ**

Для расчета формы отражателя и определения его оптимальных параметров был использован компьютерная программа LightTools 5.1.0. Оно предназначено для автоматизированного расчета оптических систем (источник света, отражатель, печатная плата и т.д.).

Программный комплекс LightTools предназначен для трехмерного моделирования оптических и световых приборов. Программа LightTools предоставляет возможность построить модель осветительного устройства с различными источниками света и составляющими его механическими и оптическими элементами. При расчете оптической системы учитываются все возможные преобразования света, такие как отражение, преломление, рассеяние, дисперсия, дифракция, полное внутренне отражение и другие [26].

LightTools обладает мощными инструментами проектирования, которые позволяют быстро и эффективно создавать и модифицировать имеющиеся конструкции систем освещения - от начальной концепции до последующих инженерных итераций и уточнений. LightTools имеет несколько модулей, которые могут быть лицензированы в различных конфигурациях в соответствии с требованиями заказчика. Система содержит основной модуль, модули освещения, оптимизации, конвертор файлов в/из стандартных CAD-форматов: STEP, IGES и SAT, модуль прямого обмена данными с CATIA, Advanced Physics, SolidWorks. Так же при помощи LightTools можно создать ies-файл, который в дальнейшем можно использовать в таких программах, как Dialux, Lightscape и т.д.

При создании новой конструкции, модернизации существующих образцов техники проводят целый ряд расчетов. Однако теоретические

расчеты не всегда применимы к реальным конструкциям. Тогда для реализации поставленной задачи необходимы численные методы. Программный комплекс SolidWorks широко применяется для проектирования новых образцов техники в современной инженерной практике. Это объясняется функциональными возможностями 3D моделирования и наличием полного набора средств инженерного анализа, ориентированных как на рядовых инженеров – проектировщиков, так и на профессиональных расчетчиков. SolidWorks – разработка компании SolidWorks Corporation (США), система автоматизированного проектирования (САПР) в трехмерном измерении. Разработана специально для работ с 3D моделями. Обладает достаточно простым интерфейсом. Программа появилась в 1993 году и составила конкуренцию в области 3D моделирования таким продуктам как AutoCAD, Autodesk Mechanical Desktop, Solid Edge.

Твердотельная модель прожектора создавалась с помощью программы SolidWorks Version 2014. Для проведения анализа собственных частот конструкции прожектора использовался программный комплекс SolidWorks Simulation, входящий в пакет программного комплекса SolidWorks. SolidWorks Simulation является простой и мощной программой в использовании и с помощью решающих программ дает возможность быстро решать большие задачи.

С помощью программы SolidWorks Simulation можно проводить следующие анализы: статическое исследование, частотное исследование, исследование потери устойчивости, термическое исследование, исследование на ударную нагрузку, исследование усталости, нелинейное исследование, динамическое исследование, параметрическая оптимизация и расчет сосудов высокого давления [27].

SolidWorks Simulation для формирования расчетной модели использует геометрическую модель или сборку SolidWorks, а для проведения анализа используется метод конечных элементов. Метод конечных элементов



является численным методом анализа конструкций; универсальным и пригодным для работы на компьютерах. При использовании метода конечных элементов модель делится на малые части (создание сетки) с простыми формами (элементы), которые эффективно заменяют сложную задачу простыми. После создания расчетной сетки программа SW Simulation, учитывая соединения между элементами, разрабатывает уравнения, которые связывают реакцию с физическими свойствами материала, приложенной нагрузкой и ограничением. После этого программный пакет SW Simulation, создавая из уравнений большую систему совместных алгебраических уравнений, определяет неизвестные величины.

Светодиод, как и любой другой электронный прибор, не обладает значением КПД 100%, а это значит, что часть потребляемой мощности преобразуется в тепло. Современные светодиоды обладают КПД порядка 40...50%, то есть в среднем 50...60% потребляемой мощности преобразуется в тепло. При проектировании световых приборов со светодиодными источниками света требуется проводить моделирование системы охлаждения или, проще говоря, тепловой расчет. Сейчас существует множество средств моделирования тепловых режимов электронных устройств: Flomeric's Flotherm, ANSYS Icepack и др. В данной работе использовался модуль Flow Simulation, интегрируемый в систему SolidWorks. За счет полной интеграции Flow Simulation в SolidWorks инженер может моделировать геометрию и выполнять все расчеты и анализы, как говорится, «в одном окне». Это значительно снижает вероятность возникновения ошибок импорта/экспорта геометрии через промежуточный формат данных (например, SAT, IGES и т. д.).

Flow simulation – программное обеспечение, полностью интегрированное в SolidWorks для расчёта жидкостных и газовых потоков внутри и снаружи модели SolidWorks, а также рассчитывающее теплопередачу между моделями конвекцией, излучением и теплопроводностью с помощью технологий вычислительной

газодинамики (CFD). Математической основой является метод конечных объемов. Реализована управляемая пользователем многопроцессорность и многоядерность при генерации расчетной сетки и работе решателя, последовательное выполнение проектов и одновременный расчёт выбранных двух. В состав семейства входит базовый пакет Flow Simulation и дополнительные прикладные модули Electronics Cooling Module и HVAC (Heat Ventilating Air Conditioning) Module.

Помимо автоматического построения расчетной сетки, что не всегда приводит к приемлемой точности результатов, в данном модуле присутствует и ручное задание сетки. Такой метод позволяет инженеру управлять концентрированностью сетки на мелких деталях исследуемой системы [28].

Еще одной особенностью Flow Simulation является то, что при назначении физических свойств моделей их можно импортировать из SolidWorks, имеющего обширные библиотеки материалов. Это значительно упрощает и ускоряет процесс моделирования, особенно в случае сложных систем со множеством объектов, обладающих различными тепловыми характеристиками. Кроме того, есть возможность экспорта полученных данных в формат Microsoft Excel, что позволяет использовать его математический аппарат для анализа полученного решения.

## **2.3 Выводы**

1. Объектом работы являлась разработка прожектора для ЖД вокзала Томск-1. По результатам анализа, приведенного в разделе 2.1.1, горизонтальная освещенность где пассажирская платформа не соответствовала по нормам требований ГОСТ Р 54984-2012, сама освещенность распределена неравномерно.

2. Для светотехнического расчета будет использовано программное обеспечение LightTools. Твёрдотельная модель прожектора создается с помощью программы SolidWorks. Тепловой расчет будет проведен в модуле Flow Simulation, интегрируемом в систему SolidWorks.

## **Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

Темой магистерской выпускной квалификационной работы является разработка светового прибора для освещения ЖД вокзала. В этом разделе будет рассматриваться финансовые данные от проектируемого светильника со светодиодными источниками света, предназначенные для освещения ЖД вокзала Томск-1.

Целью раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент» является оценка эффективности и возможности проведения данного исследования, оценки рисков и затрат, а также решение задач [40].

Поставим задачи для данного раздела:

- Оценить перспективность исследования;
- Составить план выполнения исследования;
- Рассчитать необходимые затраты для исследования.

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Перспективность исследований определяется не столько значимостью и глобальностью открытия, которые будет сложно оценить на начальных этапах проекта, а именно коммерческой оценкой. Оценка коммерческой ценности – обязательно условие, необходимое для поиска источников финансирования и, следовательно, для успешного проведения научного исследования [40].

Опыт мировых практик показывает, что недостаточная оценка рынков сбыта производимой продукции является одной из главных причин

несостоятельности многих проектов. Необходим тщательный анализ спроса на продукцию, которую предполагается выпускать, определить, в каких объемах и по какой цене его купят.

#### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов НТИ

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования являются железнодорожные вокзалы (именно где движется подвижной состав).

Таблица 12 – Карта сегментирования рынка

		Отрасли, занимающиеся световыми приборами			
		Научные институты	Внедренческие организации	Заводы-изготовители	Компании, занимающиеся 3D печатью металлами
Сфера деятельности по световому прибору	Разработка оптической, тепловой, электрической части светового прибора на основе светодиода	X		x	
	Освоение новых методов создания светового прибора на основе светодиода	X	X		x
	Изучение свойств светодиода	X		x	
	Анализ характеристик светодиода	x	X		
	Продажа светового прибора	x	X	x	
	Продажа результатов исследований и анализов светового прибора	x			
	Использование светового прибора в промышленных целях			x	x

Как видно из карты сегментирования, научные институты выполняют наибольший цикл работ, связанных с световыми приборами.

Основным сегментом данного рынка являются научные институты, производящие и изучающие световые приборы.

Сегментом, на который ориентирована цель магистерской диссертации, является проектирование оптической, тепловой, электрической части светового прибора на основе светодиода, изучение свойств и их анализ.

В будущем предполагается применение проектированных результатов во многих институтах и компаний, занимающихся разработкой светового прибора.

#### 4.2 Иерархическая структура работ

Иерархическая структура работ – инструмент, позволяющий разбить проект на составные части. Она устанавливает иерархически структурированное распределение работ по реализации проекта, описывает все работы, которые должны быть выполнены в проекте.

Содержание работ данного проекта определено и структурировано в виде иерархии, которая приведена на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Иерархическая структура работ

### 4.3 SWOT анализ НТИ

Для того чтобы оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению проекта, был произведен SWOT – анализ проекта.

Описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта приведены в таблице 13

Таблица 13 - SWOT-анализ итоговой матрицы

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> 1. Актуальность проводимого исследования; 2. Уникальность исследования; 3. Обширная сфера применения; 4. Освоение продвинутых проектирующих программ.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> 1. Большие финансовые, производственные затраты на реализации проекта; 2. Требуется деталей и материалов сложных форм, разрешаемым за счет приобретения у других стран; 3. Техническая сложность в эксплуатации; 4. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.
<b>Возможности:</b> 1. Анализ существующих приборов и разработка новых систем освещения для потребителей; 2. Развитие отношений с зарубежными производителями и потребителями и укрепление конкурентности; 3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ; 4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	Проект реализуется в условиях развитой производственной и научной инфраструктуры, который будет развивать и разработать системы освещения такого рода.  Уникальность и неоднородность проекта может дать толчок в развитии отношений другими производителями	Возможность наличия партнерских отношений с зарубежными производителями с целью создания и развития систем освещения подобного типа;
<b>Угрозы:</b> 1. Развитие конкуренции в сфере исследований	С развитием партнерских отношений с другими производителями, издержки	

<p>комбинированных светильников с отражателями;  2. Прибор маловостребована;  3. Слабые стороны проекта может стать проеимуществом для конкурентов обладающих более развитыми технологиями и низкими издержками;  4. Отсутствие финансирования проекта;  5. Большой срок поставок материалов, используемых в разработке.</p>	<p>на реализаций проекта минимизируется и дает возможность снизить стоимость, увеличить доступность, устранить слабые стороны разработки который повышает конкурентоспособность проекта.</p>	
--	--	--

Таким образом, самым большим угрозам для проекта является маловостребованность разработки, а также и увеличение конкуренций учитывая слабых сторон проекта, что на данном этапе не прогнозируется, поскольку с развитием партнерских отношений с другими производителями, издержки на реализации проекта минимизируется и дает возможность снизить стоимость, увеличить доступность, который повышает конкурентоспособность продукта.

#### **4.4 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования**

##### **4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Для выполнения научного исследования собирается два человека – это научный руководитель и магистрант. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном пункте составлен перечень работ в рамках проведения научного исследования и распределены исполнители по видам работ. Порядок приведен в таблице 14.



Таблица 14 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание исследовательской части работ	Содержание технической части работ	Должность исполнителя
Ознакомительная часть	1	Изучение существующих прожекторов	Обзор литературы, сбор необходимых данных, технических параметров оборудования, изучения характеристик существующих приборов.	Магистрант
	2	Рассмотрение вопросов конструирование световых приборов	Обзор светотехнических характеристик существующих приборов.	Руководитель
	3	Календарное планирование работ по теме	Составление графика выполнения работ на всех этапах.	Магистрант
Исследовательская часть	4	Освоение программ “light tools”, “solidworks”	Обзор методических указаний по светотехническому расчету и проектированию деталей в 3д форме.	Магистрант
	5	Определение параметров существующего прожектора на ЖД вокзале Томск-1 (площадь, высота, уровень освещения, мощность и тд.)	Измерение освещенности с помощью люксметра на ЖД вокзале Томск-1, измерение площади, узнать высота расположение прожекторов, выявление мощности световых приборов по модели прожектора.	Магистрант
Проектная часть	6	Разработка оптической части светильника	Смоделирование и расчет зеркальных отражателей в программе “light tools”	Магистрант
	7	Разработка охлаждения	Моделирование радиаторов и применение его в компоновке светильника в программе “solidworks”	Магистрант
	8	Расчет электрической части	Выбор электрических драйверов для комфортно работы светильника	Магистрант
Оформление отчета, по НИР	10	Составление пояснительной записки	Составление отчета о проделанной работе, с указанием проблематики проводимого исследования, результатов.	Магистрант
	11	Архивация полученных выводов	Написание выводов о проделанной работе.	Руководитель, Магистрант

Линейный график проекта представлен в виде календарного плана.

Таблица 15 – Календарный план

№ работ	Вид работ	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Изучение существующих прожекторов	20	10.09.17	30.09.17	Магистрант
2	Рассмотрение вопросов конструирования световых приборов	21	2.10.17	23.10.17	Руководитель
3	Календарное планирование работ по теме	5	24.10.17	29.10.17	Магистрант
4	Освоение программ “light tools”, “solidworks”	12	30.10.17	11.11.17	Магистрант
5	Определение параметров существующего прожектора на ЖД вокзале Томск-1 (площадь, уровень освещения, мощность и тд.)	1	13.11.17	14.11.17	Магистрант
6	Разработка оптической части светильника	60	15.11.17	13.01.18	Магистрант
7	Разработка охлаждения	30	15.01.18	13.02.18	Магистрант
8	Расчет электрической части	30	14.02.18	15.04.18	Магистрант
9	Составление пояснительной записки	7	15.05.18	22.05.18	Магистрант
10	Архивация полученных выводов	7	23.05.18	30.05.18	Руководитель, Магистрант
	Итого			193	

Таблица 16 - Диаграмма Ганта

№ ра бо т	Вид работ	Исполнители	Дни	Продолжительность выполнения работ											
				Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май			
1	Изучение существующих проекторов	магистрант	20	■											
2	Рассмотрение вопросов конструирования световых приборов	руководитель	21		■										
3	Календарное планирование работ по теме	магистрант	5			■									
4	Освоение программ "light tools", "solidworks"	магистрант	12			■									
5	Определение параметров существующего проектора на ЖД вокзале Томск-1	магистрант	1			■									
6	Разработка оптической части светильника	магистрант	60			■	■	■							
7	Разработка охлаждения	магистрант	30						■	■					
8	Расчет электрической части	магистрант	30							■	■	■			
10	Составление пояснительной записки	магистрант	7												■
11	Архивация полученных выводов	руководитель, магистрант	7												■

■ - научный руководитель      ■ - магистрант

на ЖД вокзале Томск-1

По анализу диаграммы Ганта общее число работ составило 10. Ожидаемая трудоемкость работ для научного руководителя составила 28 чел/дней, для студента-исполнителя составила 172 чел/дней. Общая максимальная длительность выполнения работы составила 193 календарных дней. При этом стоит учитывать вероятностную составляющую оценки трудоемкости, то есть продолжительность работ по этапам может увеличиваться или сокращаться.

#### 4.5 Расчет бюджета для научно-технического исследования

В процессе формирования бюджета НТИ используется группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных исследований;

- основная заработная плата;
- дополнительная заработная плата;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

Так же для оценки расходов, затраченных на проведение данного научно технического исследования, составим смету расходов и амортизацию используемой техники.

Рассчитываем смету расходов, включающую затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

#### 4.5.1 Расчет материальных затрат

Финансовые затраты на материалы и комплектующие изделия, применяемые при конструировании проектируемого прожектора приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет стоимости материальных затрат при конструировании экономного варианта

№ п/п	Наименование	Марка, размер	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб
1	Светодиод	Xlamp XHP35	60	165,88	9952,8
2	Блок питания для СД	ЕСХе 2800.168	8	2515,41	20120
3	Радиатор	АВМ-039, длина 250 мм	8	1230	9840
4	Параболоидный отражатель алюминиевый	под заказ	52	1000	52000
5	Печатная плата на алюминиевой основе	250x70 мм	4	2423,5	9694
6	Защитное стекло	под заказ (250x100 мм)	4	120	480

7	Корпус, несущие Кронштейны	под заказ	4	6500	26000
8	Крепежные элементы				4000
Итого					132086,8
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)					5689,5
Итого					137776,3

#### 4.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном пункте рассчитывается основная заработная плата руководителя и магистранта. Заработная плата определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок ТПУ. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

Пункт включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (1)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (2)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 18 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	10	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	242	214
Рабочие дни	28	172

Таблица 19 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З <sub>гс</sub> , руб.	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб.дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Научный руководитель	28361	1011	28	28308
Магистрант	12975	593	172	101996
Итого				130304

Тарифные ставки были приняты на основании регламентирующих документов планово-финансового отдела ТПУ [41].

#### 4.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (3)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 20.

#### 4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данном пункте рассчитываются обязательные отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС).

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году водится пониженная ставка – 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлен в таблице 21.

Таблица 21 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Итого
Научный руководитель	28308	4125	32431
Магистрант	101996	15031	117027
<b>Итого</b>	<b>130304</b>	<b>19156</b>	<b>149458</b>
<b>Отчисления, руб (30 %)</b>			
Научный руководитель	9729		44837
Магистрант	35108		

#### 4.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы – то все прочие затраты, не вошедшие в предыдущие пункты (ксерокопии, электроэнергия, отопление, услуги связи и др.). Вычисляются по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%, тогда размер накладных расходов составит 23913,3 рублей.

#### **4.5.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведено в табл. 22.

Таблица 22 – Расчет бюджета затрат НИ

Наименование статьи	Итого	%
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	130304	55,45
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	19156	9,45
3. Отчисления во внебюджетные фонды	44837	18,5
4. Накладные расходы	23913	16,6
Бюджет затрат НИ	218210	

Таким образом, основная заработная плата 130304 рублей, дополнительная заработная плата 19156 рублей, отчисления во внебюджетные фонды 44837 рублей, накладные расходы 23913. Суммарный бюджет затрат научного исследования составил – 218210 рублей. Учитывая перспективность исследования и бюджет НИ ТПУ, было бы целесообразно провести данное научное исследование, т.к. затраты сравнительно небольшие для исследования такого уровня, если предположить что такие исследования будут проводиться каждый год.

#### **4.6 Оценка рисков НИ**

При оценке рисков НИ оценивается вероятность их наступления ( $P_i$ ). По шкале от 0 до 100 процентов: 100 – наступит точно, 75 – скорее всего



наступит, 50 – ситуация неопределенности, 25 – риск скорее всего не наступит, 0 – риск не наступит. Оценка важности риска оценивается весовым коэффициентом ( $w_i$ ). Важность оценивается по 10- балльной шкале  $b_i$ . Сумма весовых коэффициентов должна равняться единице. Оценка важности рисков приведена в таблице 23.

Таблица 23 – Экономические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
1	Инфляция	100	1	0,019	1,960
2	Экономический кризис	25	2	0,039	0,980
3	Недобросовестность поставщиков	25	6	0,117	2,941
4	Непредвиденные расходы в плане работ	50	7	0,137	6,862
5	Снижение уровня спроса на продукцию	50	10	0,196	9,803
6	Сложность выхода на мировой рынок	75	7	0,137	10,294
7	Колебания рыночной конъюнктуры	25	6	0,117	2,941
8	Отсутствие в числе сотрудников экономистов	25	2	0,039	0,980
9	Низкие объемы сбыта	50	10	0,196	9,803
	Сумма		51	1	46,568

Таблица 24 – Технологические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
1	Возможность поломки оборудования	25	7	0,25	6,25
2	Низкое качество поставленного оборудования	25	9	0,3214	8,0357
3	Неправильная сборка оборудования	25	8	0,2857	7,1428
4	Опасность для работающего персонала и аппаратуры	75	4	0,1428	10,714
	Сумма		28	1	32,142

Таблица 25 – Научно-технические риски

№	Риски	$P_i$	$b_i$	$w_i$	$P_i * w_i$
1	Развитие конкурентных технологий	75	7	0,145	10,937
2	Создание новых методов синтеза	75	7	0,145	10,937
3	Риск невозможности усовершенствования технологии	50	8	0,166	8,333
4	Отсутствие результата в установленные сроки	50	7	0,145	7,2916
5	Получение отрицательного результата при внедрении в производство	25	10	0,208	5,208
6	Несвоевременное патентование	25	9	0,187	4,687
	Сумма		48	1	47,395

Далее производится расчет общих рисков:

Таблица 26 – Общая оценка риска проекта

Виды рисков в группе	Pi	bi	Wi	Pi*Wi
Экономические	46,57	10	0,25	11,64
Технологические	32,14	9	0,5	16,07
Научно-технические	47,4	6	0,25	11,85
Итого		25	1	39,56

Итоговая оценка составила около 40%, что является весьма неплохим показателем для научного исследования.

#### 4.7 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования

Необходимо рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i \quad (6)$$

где  $k_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го признака;

$П_i$  – количественная оценка  $i$  – го признака.

Таблица 27 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.4
Теоретический уровень	0.2
Возможность и масштабы реализации	0.4

Таблица 28 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
<u>8-10</u>	<u>Сравнительно высокий НТУ</u>
11-14	Высокий НТУ

Таблица 29 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
<u>Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами</u>	<u>8</u>
Разработка алгоритма	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 30 - Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
<u>В течение первых лет</u>	<u>10</u>
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
<u>Отрасль</u>	<u>4</u>
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.4, P_1 = 10, k_2 = 0.2, P_2 = 8,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$НТУ = 0.4 \cdot 10 + 0.2 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 8.4$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей (уличные освещение). Таким образом, анализируя результаты оценки, можно заключить, что проектная работа имеет высокую

значимость теоретического и практического уровня, а также приемлемый уровень рисков.

#### 4.8 Оценка ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективность разработки светового прибора определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, который имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i$$

где:  $I_{pi}$  - интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  - весовой коэффициент проекта;

$b_i$  - бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 31.

Таблица 31 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Качество светодиодов и отражателей	0,25	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,25	5
3. Производительность	0,20	4
4. Экономичность	0,20	5
5. Экологичность	0,10	5
Итого:	1,00	

Интегральный показатель ресурсоэффективности для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,20 \cdot 5 + 0,10 \cdot 5 = 4,55$$

Проведенная оценка ресурсоэффективности проекта дает достаточно неплохой результат (4,55 из 5), что свидетельствует об эффективности реализации технического проекта.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта имеет важное значение при выполнении раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент». Его высокое значение говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы безопасности и надежности, удобства в эксплуатации и предполагаемый срок эксплуатации позволяют судить о корректно выполненной разработке системы.

## **Глава 5. Социальная ответственность**

### **Введение**

В условиях научно-технического развития, внедрения новейших техники и технологий, быстро растущего производства, роста роли человека на производстве и социальной значимости безопасных и здоровых условий труда актуальность проблем безопасности жизнедеятельности сильно возрастает.

В данном разделе будут рассматриваться характеристики и свойства экологических и производственных опасностей, разработка систем обеспечения экологической и производственной безопасности, организационно-экономическое обеспечение системы безопасности жизнедеятельности при эксплуатации светового прибора.

Разработанный световой прибор на основе светодиода используется для освещения ЖД вокзала Томск-1. Разработанный световой прибор устанавливается на отдельно стоящих опорах над железнодорожными путями.

Целью раздела является опознание недопустимых опасных и неблагоприятных факторов для человека в жд платформах при эксплуатации светодиодного светового прибора и разрешение вопросов обеспечения защиты от них с помощью требований действующих нормативно-технических документов.

### **5.1 Производственная безопасность**

Вредным фактором считается фактор, воздействие которого может привести к нарушению здоровья, к заболеванию, и еще вызывать временное или стойкое ухудшение самочувствия. Опасный фактор – фактор, воздействие которого на человека в определенных условиях, может привести к травме, острому отравлению или другому внезапному резкому ухудшению здоровья или смерти.

Таблица 32 - Вредные и опасные факторы при эксплуатации светодиодного прожектора для освещения ЖД вокзала

Источник фактора, Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Система осветительного устройства с принудительным охлаждением на основе вентиляторов.	Повышенный уровень шума	Электрический ток	ГОСТ 12.1.003-83 [1] ГОСТ Р МЭК 61140-2000 [2]
	Показатель Ослепленности		ОСТ 32.120-98 [3]
	Пульсация освещенности		СНиП 23-05-95

### 5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов

#### Повышенный уровень шума

Источником звуков являются вибрирующие тела, вызывающие колебания частиц воздуха. Шум оказывает на организм человека неблагоприятное воздействие, приводит к техническим и физиологическим нарушениям, снижает работоспособность и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость и глухоту.

Допустимые уровни звукового давления, эквивалентного уровня звука в ЖД вокзалах приведены в таблице 33 (ГОСТ 12.1.003-83) [42].

Таблица 33 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБ
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
99	95	87	82	78	75	73	71	69	80

В данной работе я не использовал вентилятор охлаждения прожектор, который является источником шума, и поэтому разработанный мной прожектор не содержит шума.

## **Показатель ослепленности**

Показатель ослепленности характеризует прямое слепящее действие осветительного устройства. По показателю ослепленности можно судить о степени ухудшения видимости при действии блестящих источников света. Максимальное допустимое значение показателя ослепленности осветительной установки на железнодорожных станциях составляет 800 по ОСТ 32.120-98. Если показатель ослепленности осветительного устройства превышает пороговое значение, то принимаются необходимые меры по снижению значения данного показателя.

Разработанный светодиодный прожектор имеет небольшой световой поток и оно освещает равномерно всю площадку. И поэтому данный отраженный свет от отражателя не вызывает ослепление машинистов поездов, а также пассажиров.

## **Пульсация освещенности**

Коэффициент пульсаций освещенности является очень важным показателем. Пульсации искусственного света оказывают существенное негативное влияние на здоровье человека - в первую очередь на органы зрения и центральную нервную систему. Мерцающий свет перегружает зрительную и нервную систему человека, нарушает естественные биоритмы. Типичные симптомы воздействия пульсирующего светового потока - повышенная утомляемость, сухость и боль в глазах, головные боли, раздражительность. При длительном воздействии пульсации света могут приводить к хроническим заболеваниям.

Нормируется этот показатель в СНиП 23-05-95 [45]. Коэффициент пульсаций общего освещения не должен превышать 10%. Уровень пульсаций освещенности, создаваемой световым прибором со светодиодными источниками света, зависит от качества используемого блока питания. В



предлагаемом светильнике будет использоваться высококачественные блоки питания ARJ-DALI-100, который преобразует переменное напряжение электрической сети в постоянный стабилизированный ток [37].

### **5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов**

#### **Электрический ток**

Светильники классифицируются по классам защиты от поражения электрическим током в соответствии с международным стандартом МЭК 61140 [43]. Исследуемый световой прибор относится к классу защиты II. К данному классу относятся светильники, у которых используется двойная изоляция. Светильники с данным классом защиты маркируются специальным графическим знаком.

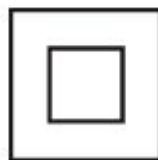


Рисунок 5.1 – Графический знак класса защиты II

Блок питания располагается в отдельном металлическом корпусе и имеет входное напряжение от 110 до 240 вольт. Используемый блок питания ARJ-DALI- 100 имеет защиту от короткого замыкания и перегрузки по току. Электробезопасность прибора достигается за счёт проводов, которые защищены двойной изоляцией, а в местах соединений закрыты термоусадочными трубками и соединительными изолирующими зажимами. Благодаря такой встроенной защите практически полностью исключается риск короткого замыкания.

Система распределения и потребления электроэнергии на железнодорожном транспорте при соблюдении норм и правил охраны труда

почти исключает возможность поражения электрическим током. Однако при нарушении их может создаться ситуации, опасная для жизни и здоровья работающих. Доля электротравматизма в общем количестве несчастных случаев с работающими на путях станций незначительна (0,1—5%), однако исход его, как правило, тяжелый. С работниками станций электротравматизм происходит чаще всего в электроустановках напряжением до 1000 В при случайном прикосновении к токоведущим частям с поврежденной изоляцией или к корпусам электрооборудования, не имеющим защитного заземления.

На подвижном составе, находящемся под контактной сетью или ВЛ, до отключения и заземления проводов персоналу, во избежание попадания в опасную зону (ближе 2 м от токоведущих частей), запрещается:

а) подниматься на крышу, находиться или производить какие-либо работы на крышах грузовых и пассажирских вагонов;

б) подниматься по вышкам или лестницам и производить с них какие-либо работы на стенах или торцах вагонов вблизи крыш;

в) открывать люки (крышки) цистерн, изотермических и крытых вагонов или вести какие-либо работы на них;

г) производить погрузку или разгрузку с открытого подвижного состава, когда сами работающие или применяемые ими приспособления могут во время работы приблизиться на расстояние менее 2 м к находящимся под напряжением частям контактной сети или ВЛ.

### **Первая помощь лицам, пострадавшим от электрического тока**

Первая помощь - это комплекс мероприятий, направленных на восстановление или сохранение жизни и здоровья пострадавшего. Ее должен оказывать тот, кто находится рядом с пострадавшим (взаимопомощь), или сам пострадавший (самопомощь) до прибытия медицинского работника.

От того, насколько умело и быстро оказана первая помощь, зависит жизнь пострадавшего и, как правило, успех последующего лечения. Поэтому

каждый должен знать, как оказывать первую помощь, и уметь оказать ее пострадавшему и себе.

Весь персонал вокзала должен периодически проходить теоретическое и практическое обучение приемам оказания первой помощи пострадавшим и инструктаж о способах ее оказания. Занятия должны проводить компетентные работники из числа медицинского персонала совместно с инженерно-техническими работниками вокзала.

Для того, чтобы первая помощь была своевременной и эффективной, в местах постоянного дежурства персонала должны иметься:

- аптечки (или сумки первой помощи у бригадиров при работе вне территории вокзала) с набором необходимых медикаментов и медицинских средств для оказания первой помощи;
- плакаты, изображающие приемы оказания первой помощи пострадавшим при несчастных случаях, проведение искусственного дыхания и наружного массажа сердца, вывешенные на видных местах;
- указатели и знаки для облегчения поиска аптечек первой помощи и здравпунктов.

## **5.2 Экологическая безопасность**

Источниками света проектируемого светового прибора являются светодиоды. Светодиодные источники света не содержат токсичных веществ, таких как ртуть и их применение является экологически безопасным решением для современного освещения. Благодаря этому для обслуживания и утилизации светового прибора не требуется создания специальных условий. Материалы, из которых изготовлены все комплектующие элементы светового прибора, при нагревании не выделяют вредных веществ и газов. Светодиодный световой прибор не имеет ни инфракрасного, ни ультрафиолетового излучения.

Непосредственная утилизация светодиодного светового прибора происходит по стандартной схеме утилизации твердых бытовых отходов.

Корпус, отражатели, изготовленные из алюминия, несущие кронштейны из стали. Отсутствие ртути позволит обойтись без затратного метода демеркуризации использованного изделия и особых условий по сбору и транспортировке отходов. При работе с отходами светодиодных светильников отсутствует потребность использования дополнительных средств защиты.

Утилизация блока питания по завершении его срока службы должна выполняться в соответствии с требованиями всех государственных нормативов и законов. Блоков питания вышедших из строя нельзя выбрасывать совместно с бытовыми отходами. Их следует передать в специализированные структуры, которые занимаются утилизацией электронных отходов по Федеральному закону № 89 от 1998г. «Об отходах производства и потребления» [46]. Отработавший свой ресурс блок питания подлежит складированию и утилизации в соответствии с принятым в организации порядком утилизации.

### **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

#### **Пожарная безопасность**

К вероятным чрезвычайным ситуациям, которые могут возникнуть при эксплуатации светового прибора, относится пожар. Причиной возникновения пожара при работе светового прибора может стать короткое замыкание, превышение допустимого напряжения, перегрузка блока питания.

Короткое замыкание может возникать в результате попадания воды и скопления влаги в электросхемах. Данный световой прибор обладает степенью защиты IP 55, то есть световой прибор имеет защиту от струй, падающих под любым углом по ГОСТ 14254-96 [47]. Мощность используемого блока питания составляет 150 Вт [37]. Чтобы не перегрузить блок питания к нему подключается группа светодиодов с общей мощностью 130 Вт.

Есть основные нормативные документы, в которых предъявляются противопожарные требования к конкретному производимому оборудованию.

Для светотехнического оборудования таким нормативным документом является НПБ 249-97 [48].

Корпус светового прибора может быть изготовлен из алюминия или теплорассеивающих пластмасс. Основным материалом для корпуса мной был выбран алюминий, на основе двух основных преимуществ:

- хорошего теплоотвода за счет низкого теплового сопротивления материала, что обеспечивает продолжительный срок службы светодиодов;
- негорючести этого металла и отсутствию выделения вредных газов и веществ при нагревании.

Материал зеркального отражателя и фиксирующий элемент защитного стекла сделан из жесткого пластика ПВХ. Блок питания располагается в отдельном металлическом корпусе и находится в удалении не менее 20 мм от ближайшего края ПВХ пластика. Данная предосторожность уменьшает возможность температурного воздействия на пластик при неисправности блока питания. Эти меры дополнительно снижают опасность возгорания полимерных материалов в соответствии с требованием НПБ 249-97 [48].

Под системой пожарной защиты понимается комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на предотвращение воздействия на людей опасных факторов пожара, а также ограничение материального ущерба.

Для устранения возможных причин пожаров при эксплуатации осветительного устройства проводится ряд следующих мероприятий:

- Своевременное проведение профилактических осмотров и планово-предупредительных ремонтов светового прибора;
- Своевременное устранение нарушений правил техники эксплуатации прожектора, могущих привести к пожарам и загораниям;
- Обеспечение правильного теплового и электрического режима работы светодиодного прожектора;
- Обеспечивать исправность средств для ликвидации пожаров в осветительных устройствах и кабельных сооружениях;

- Систематически контролировать состояние изоляций проводов прожектора.

При возникновении пожара вблизи контактной сети, ВЛ и связанных с ними устройств необходимо немедленно сообщить об этом поездному диспетчеру, вокзальному диспетчеру, энергодиспетчеру или работникам района контактной сети и в пожарную охрану. Действия локомотивной бригады при пожаре определены в Инструкции по обеспечению пожарной безопасности на локомотивах и моторовагонном подвижном составе, утвержденной МПС России 27.04.93, N ЦТ-ЦУ0/175.

Ликвидация пожара с помощью пожарного поезда на электрифицированных участках железных дорог должна производиться только после получения руководителем тушения пожара письменного разрешения от представителя ЭЧ о снятии напряжения с проводов контактной сети или ВЛ на расстоянии не менее 7 м от горящих предметов и заземления их. В разрешении должен быть указан номер приказа энергодиспетчера и время снятия напряжения.

В тех случаях, когда прибытие представителя ЭЧ и получение письменного разрешения требует времени, за которое может произойти значительное развитие пожара с опасными последствиями, допускается принятие указанного выше разрешения по радио. Допускается тушение пожара водой со снятием напряжения с контактной сети или ВЛ без их заземления.

#### **5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Прожектор должен быть установлен на отдельно стоящих опорах. Осевой луч прожектора должен быть направлен параллельно горизонтальной плоскости пути по ОСТ 32.120-98 [44]. Для обеспечения данного требования представлена возможность регулировки наклона прожектора. Для регулировки угла наклона прожектора по вертикали необходимо ослабить боковые винты

осевого крепления кронштейна на корпусе, затем установить необходимый угол наклона и зафиксировать положение, затянув винты. А также монтажная поверхность должна быть ровной.

Крепление светодиодного прожектора на поверхности осуществляется с помощью кронштейна с четырьмя отверстиями. Для надежной фиксации прожектора необходимо на опоре прочно закрепить кронштейн, затянув с усилием крепежные винты и болты. Правила установки и эксплуатации светодиодного прожектора:

- Монтаж, демонтаж и обслуживание светодиодного прожектора осуществляется при выключенном питании сети;

- Во время установки и подключения прожектора руки должны быть сухими;

- При установке прожектора между корпусом прожектора и окружающими предметами должно остаться необходимое пространство, которое не препятствует естественной конвекции.

При загрязнении защитного стекла прожектора необходимо очистить поверхность без использования растворителей, агрессивных моющих и абразивных средств. Очистка производится водой или специальным моющим средством для стекла и пластика. Во избежание нарушения тепловых режимов эксплуатации прожектора необходимо следить за чистотой поверхностей корпуса и ребер радиатора. Очистка производится сухой или слегка влажной тканью.

## Список литературы

1. Устройство для наружного освещения: патент Рос. Федерация № 2121107; заяв. 2121107 дата публ. 27.10.1998 заявитель ООО «МНПП СВЭН».
2. Устройства для наружного освещения: патент Рос. Федерация №84943; дата публ. 20.07.2009.
3. Светильник закрепляемый на кронштейне: патент Рос. Федерация № 2480670; подача заявки 19.07.2011 дата публ. 27.04.2013 заявитель АО «Света-ЛЕД».
4. Модульный светодиодный прожектор: патент Рос. Федерация № 2510644; заявл. 09.08.2012; опубл. 10.04.2014.
5. Уличное светодиодное модульное устройство: патент Китай № 101105272; опубл. 16.01.2008.
6. Светодиодное модульное устройство: патент Рос. Федерация № 2467247; заявл. 25.03.2011 опубл. 20.11.2012 заявитель АО «Светлана-Оптоэлектроника».
7. Светодиодное многомодульное устройство: патент Рос. Федерация № 84943; заявл. 05. 02. 2008 опубл. 20.07.2009.
8. Светодиодное многомодульное устройство: патент Рос. Федерация № 2467248; заявл. 25.03.2011 опубл. 20.11.2012.
9. Лотар Н. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов / Н. Лотар // Полупроводниковая светотехника. – 2010 - №3. – С 14.
10. Thermal Management of Dorado LEDs [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2006\\_05\\_68.pdf](https://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2006_05_68.pdf) (дата просмотра) 20.05.2018.
11. Светодиоды Luxeon [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.platan.ru/docs/library/luxeon.pdf> (дата просмотра) 20.05.2018.



12. Ежов В. Стандартизация и расчет тепловых характеристик мощных светодиодов / Ежов В. // Светотехника и оптоэлектроника. 2009. №6. Стр. 43-45.
13. Документация светодиода серии МК-R компании CREE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.kite.ru/assets/files/pdf/2006\\_05\\_68.pdf](https://www.kite.ru/assets/files/pdf/2006_05_68.pdf) (дата просмотра) 20.05.2018.
14. Тепловой расчет [Электронный курс]. Режим доступа: <https://e-neon.ru/teh--informacija/stati-i-obzori/teplovoj-raschet> (дата просмотра) 20.05.2018.
15. Староверов К. Системы охлаждения для светодиодов / К. Староверов // Новости электроники. 2008. - №17. Стр. 22.
16. Сакуненко Ю. Теплоотсеивающие полимерные композиты вызов алюминию / Ю. Сакуненко // Полупроводниковая светотехника. 2010. - №1 стр. 54-56.
17. Шевырева А. Sunon представляет решение для охлаждения мощных светодиодов. Компоненты и технологии. – 2009. Стр.101-103.
18. Система охлаждения для светодиодов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/ne/2008/17/5-sistemyi-ohlazhdeniya-dlya-svetodiodov> (дата просмотра) 20.05.2018.
19. Ноэль Л. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2010. №3.
20. Рассеиватель и отражатель светильника [Электронный ресурс]: [www.4living.ru/items/article/lampshades](http://www.4living.ru/items/article/lampshades). (Дата просмотра) 20.05.2018.
21. С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. Физическая оптика Москва: наука. 2004. Стр. 654.
22. Световые отражатели для прожекторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://svetpro.ru/htm/informations/info\\_54.html](https://svetpro.ru/htm/informations/info_54.html). (дата просмотра) 20.05.2018.
23. В.Е. Бугров, К.А. Виноградова Учебное пособие / Оптоэлектроника светодиодов. 2013. Стр. 82-84.

24. ГОСТ Р 54984-2012. Освещение наружное объектов железнодорожного транспорта. Нормы и методы контроля. – Москва, 2013.
25. Сравнение ламп ДРЛ и ламп на светодиодах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.evis-energy.ru/powersafe-technology/diod/19-sravnenie-lamp-drl-dnat-i-lamp-na-svetodiodaxsd.html> (дата просмотра) 21.05.2018.
26. LightTools Features [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://optics.synopsys.com/lighttools/lighttools-feature-details.html> (дата просмотра) 21.05.2018.
27. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. – М.: ДМК Пресс, 2015. –562 с.
28. Гончаров М., Дворников В. Моделирование тепловых режимов работы аппаратуры силовой электроники в среде SolidWorks Flow Simulation // Силовая электроника. – 2010. – №2. – С. 98–100.
29. Cree XLamp MHD-E LEDs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cree.com/led-components/media/documents/ds-MHDE.pdf> (дата просмотра) 21.05.2018.
30. Cree XLamp MHB-A [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cree.com/led-components/products/xlamp-leds-arrays/xlamp-mhb-a> (дата просмотра) 21.05.2018.
31. Документация светодиода XHP-35 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED-Components-andModules/XLamp/Data-and-Binning/ds--XHP35.pdf> (дата просмотра) 21.05.2018.
32. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 21с.
33. Характеристика сплава АД 31 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://metallichekiy-portal.ru/marki\\_metallov/alu/AD31](http://metallichekiy-portal.ru/marki_metallov/alu/AD31) (дата просмотра) 21.05.2018.

34. Алюминиевые профили и радиаторы охлаждения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://virtumech.ru/products/heatsink-profile-avm-039-analogue-lg-av2310-bk-901-width-127mm> (дата просмотра) 21.05.2018
35. Алюминиевые профили и радиаторы охлаждения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://virtumech.ru/products/heatsink-profile-avm-182-width-125mm> (дата просмотра) 21.05.2018.
36. Блок питания ARPJ-LE1071400 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arlight.ru/upload/iblock/950/95032f75355cf89f445730bc5a959a01.pdf> (дата просмотра) 21.05.2018.
37. Драйвер ARJ-DALI-100 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://svetlovsem.ru/articles\\_206\\_6169.html](http://svetlovsem.ru/articles_206_6169.html) (дата просмотра) 21.05.2018.
38. LAP601050M [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ledpremium.by/upload/iblock/d7b/77278.pdf> (дата просмотра) 21.05.2018.
39. Arlight ARJ-KE401050A [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arlight.ru/upload/iblock/387/3879313182d1de9c0a6dd92ab257b543.pdf> (дата просмотра) 21.05.2018.
40. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
41. Регламентирующие документы планово-финансового отдела ТПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/departments/otdel/peo/documents/> (Дата просмотра) 21.05.2018.
42. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – Москва, 2007.
43. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой

электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи. – Москва: Госстандарт России, 2003. – 32с.

44. ОСТ 32.120-98 Нормы искусственного освещения объектов железнодорожного транспорта. – Москва, 1998.

45. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1). – Москва, 2011.

46. Федеральный закон № 89 от 1998г. «Об отходах производства и потребления».

47. ГОСТ 14254-96. Степени защиты IP. Пылевлагозащищенность. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 36с.

48. НПБ 249-97. Светильники. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний. – Москва: ВНИИПО МВД России, 1997. – 16с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	Кудайбергенов М.А.		

Руководитель ВКР:

Должность	Ф.И.О.	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЛИСТ	Гриценко Б.П.	д.т.н.		

Консультант - лингвист кафедры ИЯФТИ ФТИ:

Должность	Ф.И.О.	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение иностраных языков, старший преподаватель	Ажель Юлия Петровна	ст. преп.		

## **Chapter 1. The state of the issue on the development of LED spotlights**

### **1.1 Analysis of LED spotlight design**

There are a large number of spotlights that can be used on railway facilities.

A street lamp patent [1], comprising a light emitting module fixed to a base rigidly connected to an end portion of a bracket mounted in a rod support is known. However, the design of the claimed lamp isn't adapted to provide a change in the angular position of the base as well as in the light-emitting module to the horizon. Meanwhile the possibility of changing the angular position of the light-emitting module relative to the horizon expands functionality of the luminaire, for instance, it expands possibilities for varying the illumination characteristics.

Another patent [2], which is selected as the closest analogue of the previous patent is known. The luminaire in question comprises at least one LED box-shaped light-emitting module vertically disposed on a base formed as an arcuate frame member. The base is connected with the fastening means to the bracket, in particular, to the tubular bracket. Said means includes a support member for the end portion of the tubular bracket providing a predetermined inclination angle of the base to the horizon. The supporting member is made in the form of two parallel sector plates with a through hole at the apex and with a through hole at the apex and with through holes at the periphery fixed to one of their lateral edges on a rectangular plate.

The considered luminaire provides a change in the angular position of the base and, accordingly, of the light-emitting module to the horizon, which allows achieving the required illumination characteristics. However, this lamp does not provide the convenience of installing the lamp at the required angle to the horizon.

There is a patent [3] whose task is providing a convenient installation of the fixture at a desired angle to the horizon. The essence of the claimed invention lies in the fact that in the lamp containing the light-emitting module located on the base connected to the means for fixing the base to the bracket including the support

element for the end portion of the bracket. In the invention, the base has a plate-like shape, the base fastening means is in the form of a recessed compartment formed on the base near its rear end portion, on the rear side of which a recess is formed forming a seat for the end portion of the bracket.

In a particular embodiment of the invention, the supporting member is in the form of three aligned parallel ledges having an inclined stepped upper surface, the two end steps having the same step height exceeding the step height of the middle shoulder.

As a bracket, a rod or tube bracket of circular or rectangular cross-section can be used. And, as the light-emitting module, the LED light-emitting module may advantageously be used.

Consequently, the technical result achieved in realizing the invention is to increase the operational capabilities.

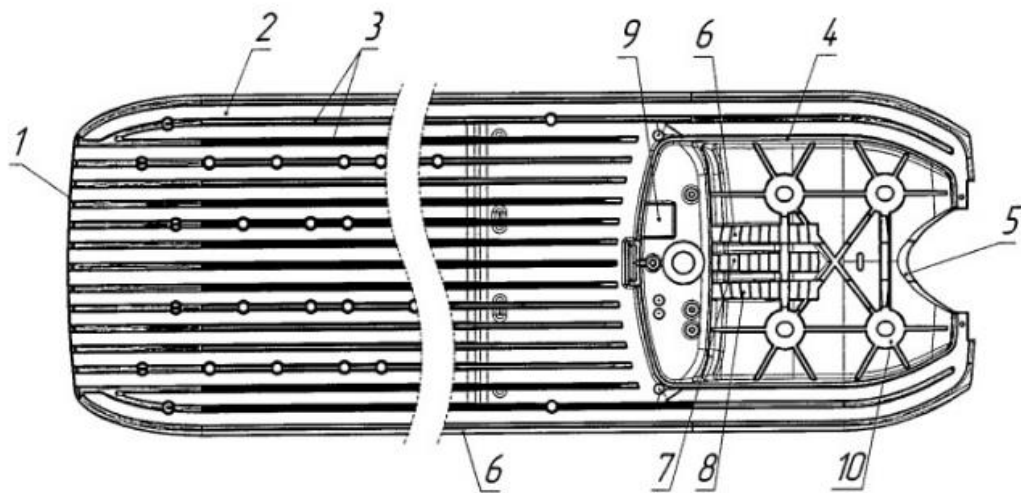


Figure 1.1 – A drawing of a general view of a luminaire (top view) [3]

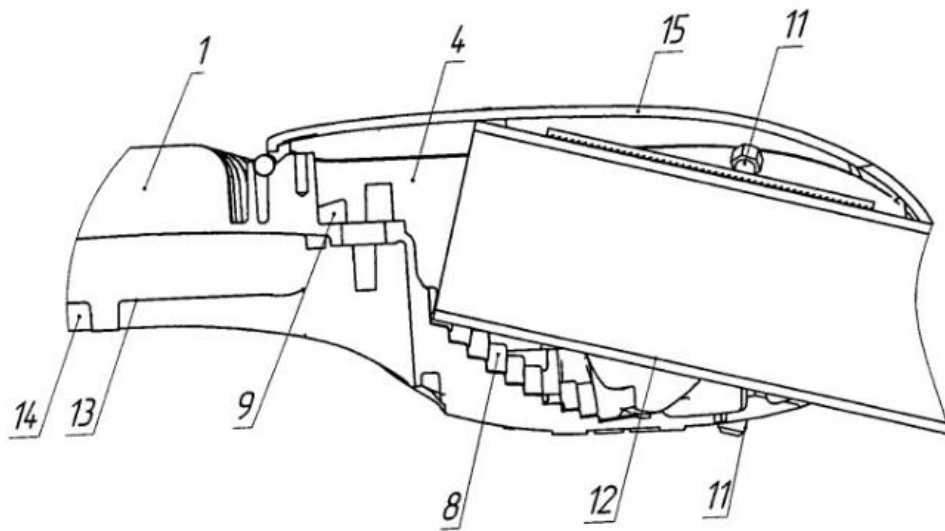


Figure 1.2 - General view of the luminaire in a section [3]

The luminaire has a plate-like base (1). The base (1) is made, in particular, from a heat-conducting material and additionally performs the function of a heat sink radiator. On the upper surface (2) of the base (1), cooling fins (3) are made (in the figure, the reference designates two ribs).

In the rear part of the base (1), a recessed compartment (4) is formed, on the rear side of which a recess (5) is formed.

At the bottom of the compartment (4) there are three aligned ledges (6), (7), (8), which has an inclined stepped upper surface, the height of which decreases from top to bottom. In this case, the two extreme ledges (6) and (8) have the same height of the steps, exceeding the step height of the middle shoulder (7).

A support protrusion (9) is formed in the compartment (4), the upper surface of which is intended for mounting a level on it (not shown in the drawing). The support ledge (9) has an inclination angle to the horizon, corresponding in magnitude and opposite in sign to the required inclination angle of the base (1) to the horizon.

In the compartment (4), in turn, there are holes (10) (in the drawing, the reference designates one hole) under the fastening elements.

The assigned fasteners (11) (figure 1.2) are designed to fix the position of the end section of the bracket (12) (figure 1.2) in the compartment (4). A light-emitting module (14) is connected to the lower part (13) (figure 1.2) of the base (1), in the role



of which, an LED light source is used. Compartment (4) is covered from above by a cover (15).

This luminaire according to the previous patents is characterized in that the support element is made in the form of three parallel ledges. And has an inclined stepped upper surface, with the two outer ledges having the same step height, which exceeds the height of the steps of the middle ledge.

Modular LED design given in the patent [4] is used in devices projection type mainly for lighting of railway tracks and intertrack spaces.

Modular LED spotlight comprises a protective frame, which has LED modules, power supply. Each LED module contains an optical system with LED sectors, including LEDs, lenses and thermally conductive printed circuit boards based on aluminum. LEDs are installed in focus of lenses. Modular LED spotlight has additional LED module cold standby, which provides independent shutdown and dismantling of one or more defective sectors, as well as the vertical and horizontal adjusters' positions of the optical system. LED modules are placed on the carrier base, which is made in the form of a single flat part or in the form of a welded frame on a metal base with aluminum heatsinks, which allows achieving one pointedness of optical axes. The voltage converter is placed either directly in the frame of the radiator module or in a separate frame. Each sector additionally comprises a removable collapsible focusing assembly, individual for each LED, closing plates, and focusing assemblies consist of an aspherical lens and holder based on polycarbonate.

Aspherical lens is made based on transparent UV-stabilized polycarbonate. Voltage converter is made with stepwise adjustment of the level of light and contains galvanic isolation of LEDs from the mains. The closing plate is made based on polymer material or of the textolite.

Figure 1.3 shows a frontal view of the modular LED spotlight with base in the form of a single smooth part.

1 – LEDs; 2 – a focusing assemblies consisting of an aspherical lens and holder, and representing an optical system of the spotlight; 3 – aspherical lens; 4 – board on the aluminum base; 5 – construction of a power supply in a separate frame;

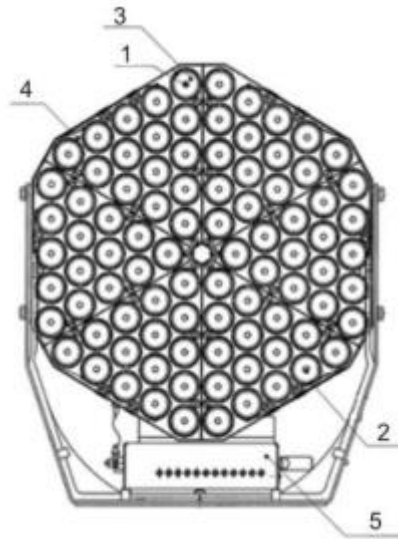


Figure 1.3 – Modular Led floodlight [4]

A LED modular device is known [5]. It is made in the form of an extended box-shaped body that includes a group of LEDs mounted on the circuit board, placed in a single housing, covered with a cover with reflector holes for LEDs.

This device can be used as part of a multimodule outdoor lighting device, including railway facilities.

However, the device in question provides for the creation of almost parallel beam of light, which limits the area of the illuminated surface and does not always allow achieving the required illumination characteristics in different areas of the illuminated surface.

More versatile is the light device proposed in the patent [6], where the task of the present invention is to provide an LED device that allows the area of the illuminated surface to be enlarged and to achieve the desired illumination characteristics in its different zones.

The essence of the claimed invention lies in the fact that in the LED device formed by a plurality of LED sections, each of which contains a group of LEDs mounted on the circuit board. At the same time, the sections are arranged in such a

way that their light-emitting surfaces are located on the same side of the device. According to the invention, the sections are arranged in series at an angle to each other such that their light-emitting surfaces form an external light-emitting surface of the device corresponding to a part of the lateral surface of the convex polyhedron.

In a particular embodiment of the invention, the sections have different lengths and the LEDs located on different sections have different radiation patterns.

Due to the fact that in the inventive device, the LED sections are arranged at an angle to each other so that their light-emitting surfaces form a total light-emitting surface of the device, the shape of which corresponds to the shape of a part of the lateral surface of the convex polyhedron, the device generates a total diverging light beam.

This leads to an increase in the area of the illuminated surface, in which each of the sections illuminates a certain zone. Choosing the number of sections, the angle between them, the number of LEDs in the sections and the type of radiation patterns of the LEDs in the sections, it is possible to achieve the required illumination characteristics of the entire illuminated surface and its individual zones.

Thus, the technical result achieved in the implementation of the claimed invention is the possibility of increasing the area of the illuminated surface and achieving the required illumination characteristics in its different zones.

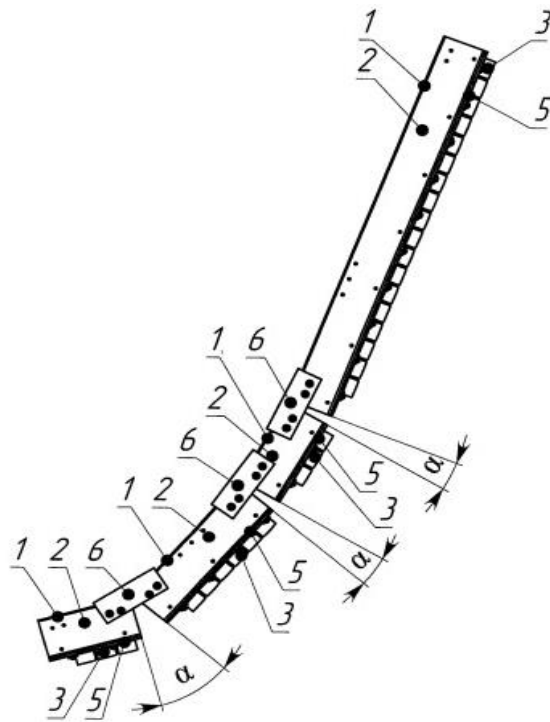


Figure 1.4 – General view of the modular luminaire (side view) [6]

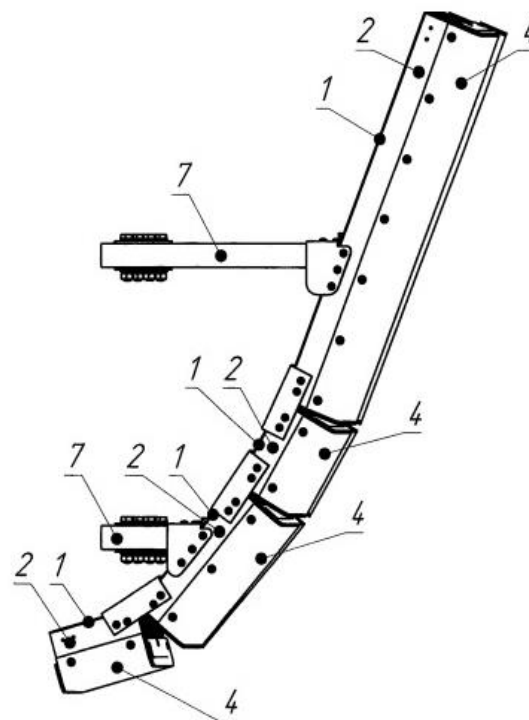


Figure 1.5 – General view of the modular luminaire in axonometry [6]

The device is formed in series, one by one, box-shaped sections (1) arranged at angles  $\alpha$  to each other.

The device comprises four sections (1), the value of the angle  $\alpha$  between adjacent sections (1) of the device, in particular, increases in height from top to bottom of the device. The length of the sections (1) is chosen such that the upper section (1) has the longest length and the middle of the three lower sections (1) has a length greater than the length of the other two lower sections (1) having the same length.

Each section (1) contains a housing (2), inside which a group of LEDs (not shown) mounted on the circuit board (not shown) (in the drawing, 3 means one LED) is placed. In this case, in each section (1), the LEDs (3) can be located on the same circuit board with the formation of an almost parallel beam of light. At the same time, they can be located on two low-sloping (about 5 degrees) mounting boards with respect to each other, with the formation of a slightly divergent beam of light in order to increase the width of the area of the illuminated surface.

The housing (2) of each section (1) is closed with a cover (4) (see Figure 1.5, on page 1.4 shows the device with the covers removed from the sections (1)) made of transparent plexiglass, which ensures the light emitted by the LEDs (3) through the cover (4) with almost no loss.

Each two adjacent sections (1) are connected together by means of fixing U-shaped slats (6). They cover the rear and side surfaces of the end sections of the respective sections (1). The device, in its time, contains brackets (7) (Fig.1.5), designed to fix the device on the support.

Currently, for outdoor lighting is increasingly used widely in LED multi-modular devices.

So, for example, a patent [7] is known for a multi-module LED road lighting device that includes a plurality of LED modules mounted on a common frame, each of which contains LEDs on the circuit board.

This device provides a significant amount of light flux due to the presence of several LED modules.

However, the design of the device under consideration is not compact, and as the number of LED modules increases, the dimensions of the device increase significantly.

In the field of outdoor multimodule lighting, the patent [8], the essence of which lies in the fact that in an illuminating multimodule device containing a supporting frame element and also attached LED modules looks interesting,. Each module contains a group of LEDs mounted on the circuit board, while the LED modules are arranged in a row with gaps between their side surfaces. According to the invention, the modules are installed obliquely with respect to the plane of the horizon in such a way that their light-emitting surfaces form an external light-emitting surface of the device and face downward. At the same time, the width of each of the gaps between the side surfaces of the modules increases along the height of the modules from the bottom up.

In a particular embodiment of the invention, the modules are arranged in a series such that their light-emitting surfaces form a convex outer light-emitting surface.

The presence in the claimed lighting device of several arranged in series of LED modules fastened to a common support frame element allows achieving significant light flux values while ensuring compactness of the structure.

Due to the inclined position of the modules described above with respect to the plane of the horizon, the claimed device provides illumination of the surface both in the near area of illumination located near the installation site of the device and in the far light zone remote from the installation site of the device.

Thus, the technical result achieved by using the claimed invention is to provide illumination in the far and near illumination regions while providing a significant width of the radiation pattern in the horizontal plane.

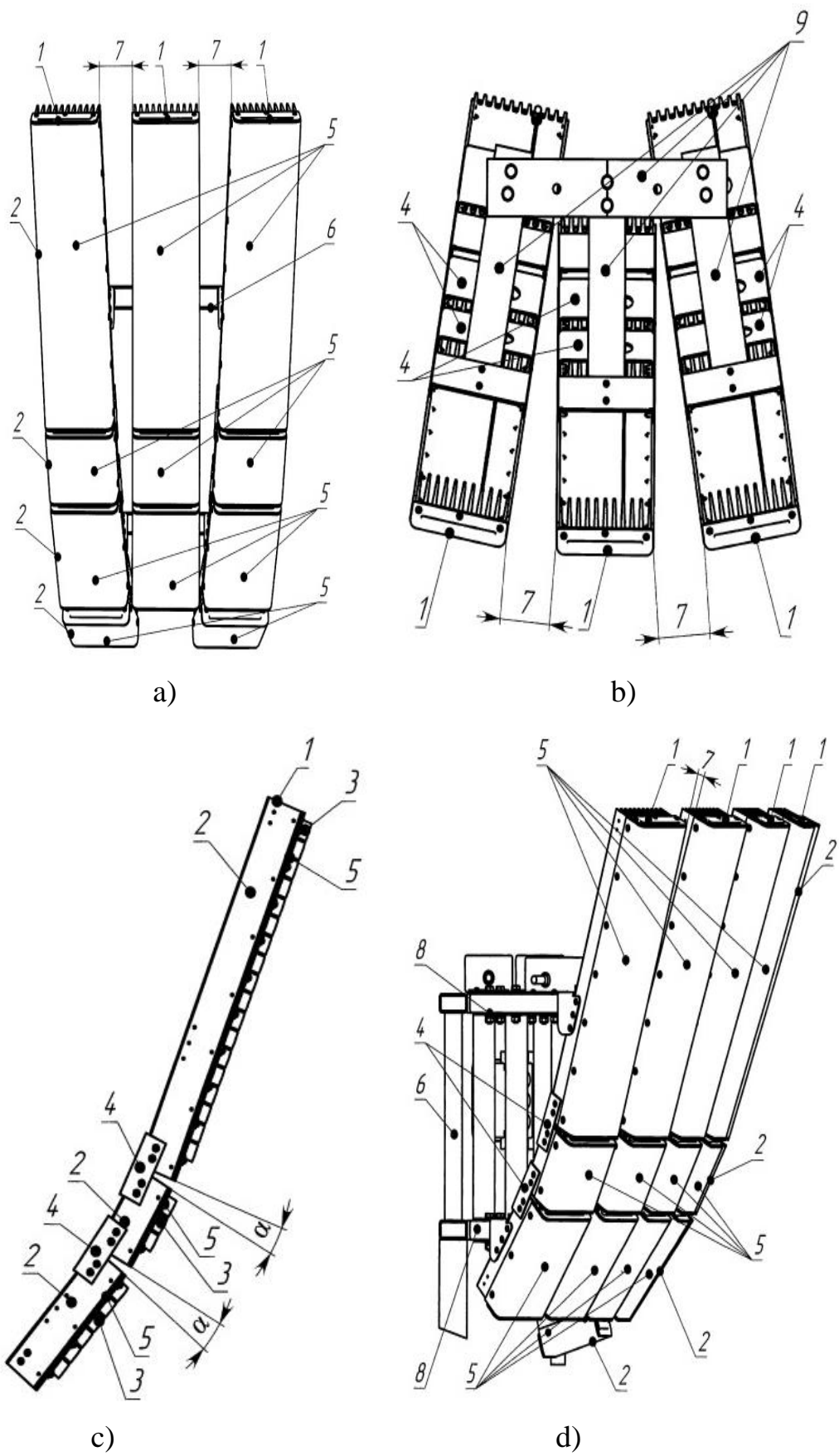


Figure 1.6 – General view drawing of the multimodule device

a) – front view; b) – top view; c) – side view; d) general view of this device in axonometry

The LED modular device comprises light-emitting modules (1). Each module is formed by a set of LED sections (2). The sections (2) are made in the form of box-shaped bodies containing LEDs (3) mounted on the circuit board (in Figure 1.6, the position denotes one LED). The sections (2) are arranged one by one along the height of the modules (1) one by one and are installed at angles  $\alpha$  (see Fig. 1.6 c) to each other, the magnitude of which can be different, particularly, it can increase along the length of the module (1) down. The sections (2) are fastened together, in particular by means of fastening U-shaped bars (4) in such a way that the light-emitting surfaces (5) of the sections (2) of each module (1) form its external light-emitting surface, the shape of which corresponds to the shape of a part of the lateral surface of a convex polyhedron.

The modules (1) are fastened to the support frame element (6) by means of connecting elements made in particular in the form of brackets (8).

The support frame element (6) is made in particular in the form of a rectangular channel frame. Modules (1) are in particular grouped into three modules by means of ties (9) and arranged around the channel frame (6) in three groups on each of its four sides to form a light emitting outer surface of the device having a cup-like shape. At the same time, on each of the four sides of the channel frame (6) in the central group of three groups of modules (1), the two extreme modules (1) contain four sections (2), and all the other modules (1) in all groups contain three sections (2). The number of LEDs (3), as well as the radiation patterns of the LEDs (3) in the sections (2) of the modules (1) can be different. In this case, the LEDs (3) can be located in the sections (2) on one circuit board or on two mounting boards with a slight inclination relative to each other, with the formation of a somewhat divergent beam of light in order to increase the width of the area of the illuminated surface.

Thus, in particular, the modules (1) including three sections (2) comprise, in the first upper section (2), two boards of 36 light-emitting diodes with a narrow beam pattern. The angle of inclination between the boards in this section is about 5 degrees; the angle of inclination of this section to the horizon is about 68.5 degrees. At one time, in the second middle section (2) there are two boards of 6 light-emitting diodes



with a narrow radiation pattern, the angle of inclination between the boards in this section is about 5 degrees, the angle of inclination of this section to the horizon is about 60 degrees. In the third lower section (2) there are two boards with 12 LEDs with a broad pattern, the angle of inclination between the boards in this section is about 5 degrees, the angle of inclination of this section to the horizon is about 50 degrees. Modules (1), comprising four sections (2), contain in the fourth lower section (2) two boards of 6 LEDs with a broad beam pattern, the angle of inclination between the boards in this section is about 5 degrees, the angle of inclination of this section to the horizon is about 16 degrees.

## **1.2 Thermal analysis of LEDs**

Due to the high light output and long lifetime (approximately fifty thousand hours), the LED luminaires are very competitive solution. The reliability and output characteristics of LEDs strongly depend on the temperature of the p-n junction. This makes the choice of cooling system or briefly thermal calculation a very important stage of designing the lighting systems based on LEDs.

In our time, interest in creating solid-state light sources based on light-emitting diodes has increased. The luminous efficiency of semiconductor emitters has already reached 100 lumens per watt.

At the same time, the desire to further increase the output of the light flux inevitably leads to an increase in the forward current through the crystal of the semiconductor, and as a result, to an increase in the heat release.

The research data show that about 65 ~ 85% of electricity when the light emitting diode goes into heat. If the thermal calculation of the device is incorrect, the excess heat raises the temperature of the active region of the crystal, which leads to a decrease in the maximum optical output and limits the lifetime of the LED. In addition, the polymer from which the LED body is made can not be heated beyond a certain limit - the deformation of the bulb can lead to the breakage of the current lead. It is clear that the temperature of the crystal inside the polymer bulb should not

exceed a certain value in a certain time interval. If you do not take proper measures to remove excess heat, then all of the above unpleasant consequences will inevitably affect [9].

The material proposed below is intended for studying the main thermal properties of high-power LEDs using the example of DORADO LEDs manufactured by COTCO Ltd. Now these LEDs are discontinued, but the technique described below is applicable to any LEDs, including CREE products in XP-C, XP-E and XP-G cases, as their design is close to the DORADO device described below.

Consider the internal arrangement of the DORADO LED. The crystal is glued with a conductive adhesive with a high thermal conductivity to the copper substrate of relatively large dimensions. The optical lens of the polymer protects the structure from external influences and forms a light stream. Figure 1.7b explains the thermal resistance model for DORADO soldered to a PCB of aluminum foil [10].

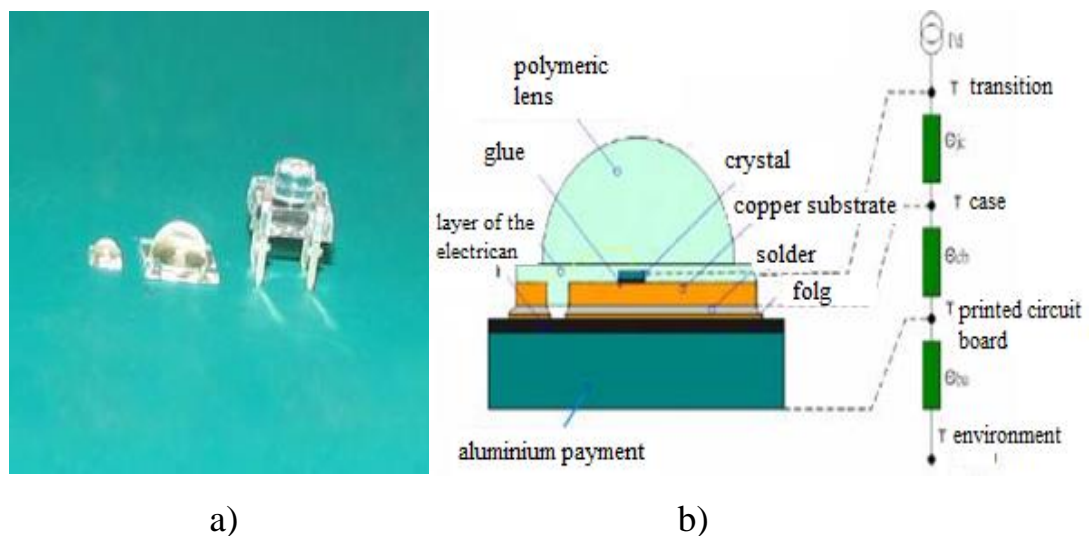


Figure 1.7 – a) Appearance of LED DORADO; b) Thermal model of LED DORADO [10]

You can compare the features of the design of the LEDs LUXEON and DORADO, and the methods for their installation on the printed circuit board (Fig. 1.8). It can be seen that LUXEON is soldered for ribbon leads and requires installation on heat-removing paste, in contrast to DORADO, the whole body of which is soldered to the printed circuit board [11].

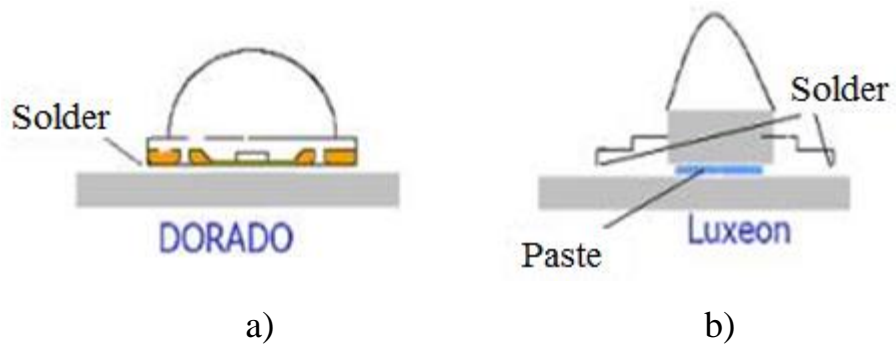


Figure 1.8 - Features of mounting LEDs:

a) DORADO; b) Luxeon [11]

The power dissipated by the LED is directly proportional to the direct voltage and direct current through the LED [12].

$$PD = IF * UF$$

where PD – the power dissipated;

IF – forward current;

UF – direct voltage.

The dissipated power is released on the crystal and increases its temperature. If the transition temperature (crystal) becomes higher than specified in the technical documentation (DATASHEET), the LED may be damaged. The p-n junction temperature is calculated as follows:

$$TJ = Ta + PD(\theta jc + \theta ca)$$

where TJ – temperature of the p-n junction;

Ta – ambient temperature;

$\theta jc$  – thermal resistance between the p-n junction and the body;

$\theta ca$  – thermal resistance between the enclosure and the environment.

The thermal resistance is defined as the ratio of the temperature difference to the corresponding power dissipation. Calculate the temperature of the p-n junction at a specific thermal resistance  $\theta ja$  using the following equations:

$$TJ - TA = PD * (\theta jc + \theta cb + \theta ba)$$

$$Tja = PD * \theta ja$$

where  $T_{ja} = T_J - T_a$  (a difference between the p-n junction temperature and the ambient temperature);

and  $\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{cb} + \theta_{ba}$  or  $\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{ca}$  (the thermal resistance between the p-n junction and the surrounding medium) [12].

Among the factors influencing the thermal regime, we can refer the value of the direct current through the LED, the ambient temperature, the material of the printed circuit board and the radiator. When designing at the device level, the thermal resistances between the LED housing and the printed circuit board, printed circuit board and the environment must be calculated additionally.

Thermal calculation. To understand the effect of ambient temperature and thermal resistance of materials used for a printed circuit board, in the laboratory of COTCO Ltd. LEDs DORADO, soldered onto an Al PCB board measuring 20 \* 20 \* 2 mm, were investigated. The temperature of the housing was measured using a thermosonde inserted through a 1 mm diameter hole in the board under the copper base of the LED housing (Figure 1.9) [14].

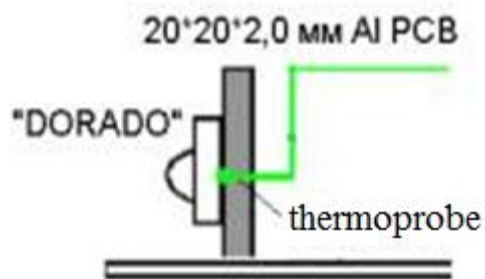


Figure 1.9 – The DORADO LED is soldered onto an Al PCB board with a size of 20x20x2 mm [14]

Table 2. Temperature of the housing after 30 minutes after switching on

Model DORADO	If (mA)	Uf (B)	PD, W.	Ta (0C)	Tc (0C)	Tj (0C)	$\Theta_{jc}$ (0C/W)
--------------	---------	--------	--------	---------	---------	---------	----------------------

LD-700AWN1-70	350	3.6	1.26	25	77	88	9
LD-700ABL1-E0	300	3.6	1.08	25	70	81	10
LD-700APG1-E0	300	3.6	1.08	25	72	83	10
LD-701CHR1-A5	450	2.4	1.08	24	68	82	13
LD-701CYL1-A5	450	2.4	1.08	24	70	84	13

Along with the radiator from Al PCB, other types of printed circuit boards 20 \* 20 mm in size from FR4 fiberglass fiberglass, and from bilateral fiberglass with drilled additional through metallized holes with a diameter of 0.4 mm were investigated. When soldering DORADO, these holes fill the solder. These boards do not have any other components that radiate heat during operation. The experiment was carried out at an ambient temperature of 25 ° C and normal humidity (Figure 1.10).

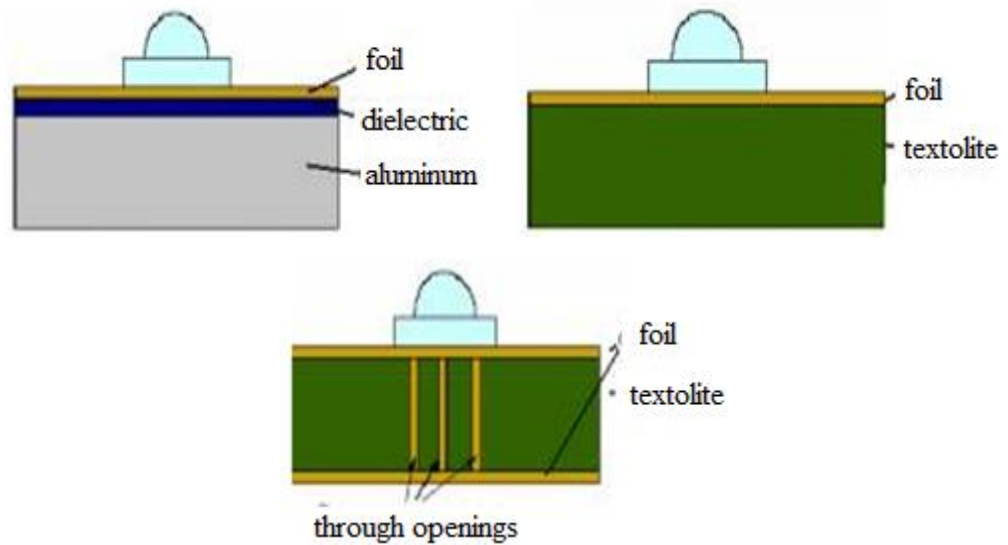


Figure 1.10 - Mounting options: a) Al PCB; b) fiberglass FR4;  
b) FR4 fiberglass with holes [14]

After 30 minutes of power supply, the Al PCB radiator had a lower temperature than the FR4 printed fiberglass sheet PCB, since it has a lower thermal resistance, which allows more heat to be released to the environment.

With an increase in the number of holes, the thermal conductivity of the FR4 fiberglass plate is further increased (Figure 1.11, 1.12).

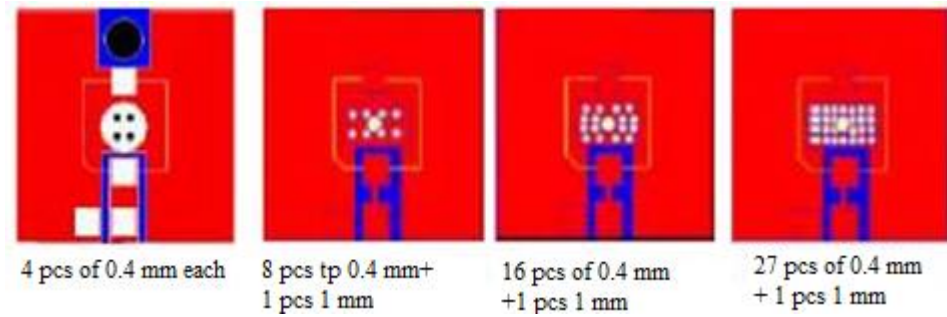


Figure 1.11 – The foil-coated fiberglass FR4 with several holes [14]

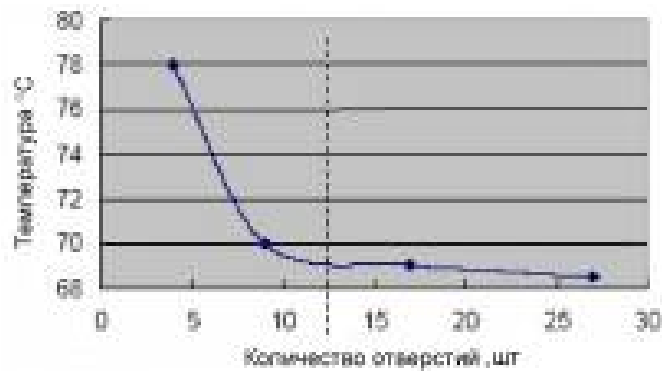


Figure 1.12 – Dependence of temperature on the number of holes [14]

Thermal interface materials (TIMs) are needed to create good thermal contact between the PCB and the heat sink or between the LED and heat sink. TIMs not only provide a thermal interface between the PCB and the heat sink, but depending on the application these can have other functions as well, such as electrical insulation or making a mechanical connection. The main thermal interface materials include thermal paste, materials with phase change, gels, hot melt.

The radiator is, perhaps, the most important element in the cooling system of the LED; it removes heat from the PCB or directly from the LED, and dissipates heat in the air. Thus, the first task of the heat sink necessitates that the heat sink be fabricated from a high thermal conductivity material to conduct heat away. The second task requires that the heat sink have a large surface area and also have good emissivity so it can radiate heat away. Anodized aluminum heat sink has a large thermal emissivity. In addition to cooling, the radiator may also perform other functions, most often it can act as a frame or holder.

Most often for cooling, radiators are used based on extruded aluminum, as it compares better with heat and has a very small mass. The most heat-conductive metal is copper, whose thermal conductivity is twice that of aluminum, but its main disadvantage is its heavy weight and low compliance of the metal [15].

The main drawbacks of the cooling system based on the aluminum radiator are multi-layered construction. The multilayer structure is characterized by accompanying transient thermal resistances, which, although minimized by the use of special heat-conducting materials (insulating plates, pastes, adhesives, materials for filling air gaps, etc.), nevertheless lead to an increase in the transition temperature.

Traditionally heat sinks made of metal with high thermal conductivity and their alloys are used for cooling. According to the latest results obtained in the field of polymer compounding, it can be argued that in the near future will be widely used heat – dissipating polymer composites (HDPC) with a thermal conductivity many times, tens or hundreds of times greater than the conductivity of conventional plastics. Such sharp increase of heat conductivity HDPC is achieved through the use of fillers with high thermal conductivity (250 W/MK), special equipment for their filling and selection of special technological additives [16].

As international experience shows, the use of heat dissipating polymer composites to solve thermal stability enables to improve the reliability of LED lamps, to reduce the cost of their production. The use HDPC is appropriate in the design of the LEDs themselves and in the design of its lamps.

American firm Lynk Labs patented technology ThermaLynk that uses HDPC as the structural basis of the LED Chip (figure 1.13). The crystal is mounted directly into a monolithic module (substrate – heat sink), made of HDPC. This solution greatly simplifies the traditional design of the LED and reduces the number of components. In this construction, heat from the crystal directly without any intermediate elements is transferred and dissipated by only one element made of HDPC. The specific form, the dimensions of the heat transfer fins can easily vary and be customized for a specific application. It is quite clear that this approach reduces the cost of the LED, allows to increase the radiation power of the light[16].

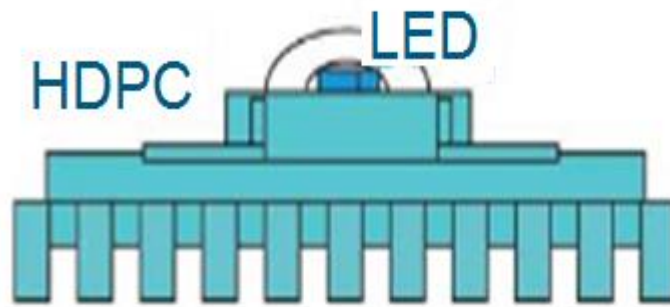


Figure 1.13 - Promising (low-order) the LED structure on the basis of HDPC



Figure 1.14 - MR16 lamp with frame HDPC

Using heat – dissipating polymer composites for cooling can significantly reduce the weight of LED products. For example, Philips developed a series of innovative lamps MR16, almost all made of heat-dissipating plastic company DSM (USA) (Fig.1.14).

If natural cooling is not enough for heat dissipation, it is necessary to use active cooling. There are many types of active cooling systems, from fans to liquid cooling to heat pipes to other exotic methods.

For effective cooling, the radiator is often supplemented by a fan. This kind of air-cooling is relatively inexpensive, but due to the generation of audible noise is of limited use. To overcome this disadvantage and to reduce the size of cooling system was developed inkjet technology of the blowing radiator [17]. For example, developed by company Nuventix inkjet cooling system SynJet for LED ensures thermal resistance in the range 0,75...a 2.65 K/W. It has a low level of generated noise and small size. The working principle of these systems is based on periodic



cooling fins of the heat sink with pulsed turbulent airflow. This heat dissipation method is more effective than blowing with a steady flow of air.

In powerful LED spotlights, video projectors and special lighting devices power dissipation might be hundreds of watts. In such cases, the only solution is using liquid coolers, which allow reducing the thermal resistance of the heat sink to the required tenths-hundredths K/W [18].

It should be noted that the cooling system of the LED sometimes is complemented by a Peltier element, which is installed between the frame of the led and the heat sink. However, the Peltier element is not applicable in cooling systems of high power LEDs, since it has low efficiency [19].

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**