

**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 светового прибора для освещения спортивного зала</b>

УДК 628.94:628.977.1:622.33

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	Максымов Мейрамбек Сисенбаевич		

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
«Оптотехника»	Полисадова Е.Ф.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2018 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код резул ьтата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b><i>Профессиональные компетенции</i></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
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
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 «Оптотехника»  
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	Максымов Мейрамбек Сисенбаевич

Тема работы:

Разработка светового прибора для освещения спортивного зала
---

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 залов спортивных игр, 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	Максымов Мейрамбек Сисенбаевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ВМ6А	Максымову Мейрамбеку Сисенбаевичу

<b>Институт</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделения</b>	<b>Материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистр техники и технологии	<b>Направление/специальность</b>	12.04.02 «Оптотехника»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

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

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

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

**Перечень графического материала:**

1. Карта сегментирования рынка
2. Иерархическая структура работ
3. SWOT -анализа проекта
4. Диаграмма Ганта
5. Смета затрат на научно-исследовательскую работу

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Старикова Екатерина Васильевна	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4ВМ6А	Максымов Мейрамбек Сисенбаевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4ВМ6А	Максымову Мейрамбеку Сисенбаевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистр техники и технологии	<b>Направление/специальность</b>	12.04.02 «Оптотехника»

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объектом проектирования является система освещения на основе светодиодного светового прибора и диффузного отражателя, используемый для освещения спортивного зала. Данный световой прибор устанавливается подвесном виде к потолку спортивного зала.
---	--

**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 спортивного зала</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при эксплуатации светодиодного светового прибора для освещения спортивного зала</p>	<p>При эксплуатации светодиодного светового прибора на игроках 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 дискомфорта</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>При эксплуатации должен быть обеспечен защитная мера от попадания мяча к светильнику по СП 31-112-2004, при освещении с системой верхней - бокового света оптическая ось его светильника не должна иметь наклон более 40° от вертикали по ВСН-1-73. Монтаж и обслуживание светодиодного светового прибора осуществляется при выключенном питании сети. При установке светового прибора между корпусом светильника и окружающими предметами должно остаться необходимое пространство, которое не препятствует естественной конвекции.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4ВМ6А	Максымов Мейрамбек Сисенбаевич		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа: 120 с., 99 рисунков, 44 таблиц, 53 источника, 2 приложения.

*Ключевые слова:* световой прибор, светодиоды, спортивный зал, КСС, освещенность, КПД, зеркальный отражатель, диффузный отражатель, теплоотвод, анализ, радиатор, принудительное охлаждение, вентилятор, поток воздуха, винтовое соединение, угол поворота.

*Объектом разработки* является комбинированная система освещения со световым прибором и диффузным отражателем, используемый для освещения залов спортивных игр “Победа”.

*Целью работы* является разработка энергоэффективного и качественного осветительного прибора со светодиодными источниками света с улучшенным теплоотводом на основе принудительного охлаждения и диффузный отражатель.

*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 МНД-Е с индивидуальными зеркальными отражателями сложных форм и отдельная диффузно отражающая поверхность, позволяющая создавать равномерное освещение на площадке с требуемыми светотехническими характеристиками и модернизированная конструкция светового прибора с защитной сеткой.

*Основные характеристики* разработанного светового прибора: потребляемая мощность 212 Вт, световой поток 25000 лм, габаритные размеры (ДхШхВ) 322 x 278 x 290.

*Область применения* – залы спортивных игр.

## **Определения, обозначения, сокращения**

В работе использованы следующие обозначения и сокращения:

КСС – кривая силы света;

LED – light-emitting diode;

ВАХ – вольт-амперная характеристика;

MCPCB – metal core printed circuit board;

ПП – печатная плата;

IMS – insulated metal substrates;

ДВП – древесноволокнистая плита.

## Оглавление

Введение.....	13
Глава 1. Обзор ситуаций по разработке светового прибора для освещения больших площадок.....	15
1.1 Обзор конструкций осветительных приборов на основе светодиода .....	15
1.2 Обзор оптической части светодиодного осветительного прибора .....	22
1.3 Обзор охладителей светодиодных источников света .....	25
1.4 Выводы.....	34
Глава 2. Объект и способы проектирование .....	36
2.1 Объект проектирование.....	36
2.2 Способ проектирование и обзор используемых программных комплексов.....	39
2.3 Выводы.....	40
Глава 3. Проектирование светового прибора для освещения спортивного зала	42
3.1 Расчет оптической части светового прибора .....	42
3.2 Расчет и анализ охлаждения осветительного прибора.....	62
3.3 Электрическая часть светового прибора .....	76
3.4 Компоновка светового прибора и отражающей поверхности.....	81
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	84
Введение.....	84
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	84
4.2 Иерархическая структура работ .....	86
4.3 SWOT-анализ НТИ .....	86
4.4 Планирование этапов и выполнения работ проводимого научного исследования.....	89
4.5 Расчет бюджета для научно-технического исследования .....	93

4.6 Оценка рисков НТИ .....	97
4.7 Анализ и оценка научно-технического уровня исследования .....	98
4.8 Оценка ресурсоэффективности проекта .....	100
Глава 5. Социальная ответственность.....	101
Введение.....	101
5.1 Производственная безопасность .....	101
5.2 Экологическая безопасность.....	105
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	106
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	108
Заключение .....	111
Список использованной литературы.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	138

## **Введение**

**Актуальность работы.** Многие современные источники света хорошо модернизировались и по разным характеристикам они не уступают друг другу. Например, одни светильники имеют хорошую световую отдачу, а другие хороший срок службы. Сейчас нету таких световых приборов, которые способны обеспечить хорошую работу по всем критериям одновременно. Только современные такие как светодиодные источники света имеют ряд преимуществ над остальными.

В залах спортивных игр важным критерием является светотехнические показатели освещения, такие как освещенность, коэффициент пульсаций и показатель дискомфорта по СНиП [1]. Современные источники света отчасти соответствуют по нормам, но качество освещения не у всех на высоком уровне. Например, установленные в спортивном зале “Победа” металлогалогенные прожекторы, обладающие хорошими светотехническими показателями [2], имеют ряд недостатков такие как низкая освещенность, блескость источника света из-за прямого падения света к наблюдателю, которые может неблагоприятно воздействовать на зрение человека, и высокая энергопотребляемость, а также они не имеют мер защиты от попадания мяча по СП 31-112-2004 [3]. Исходя из этого, сейчас многие устаревшие источники света заменяются на светодиодные по энергоэффективностью, надежностью, экологичностью и частым модернизациям светодиодных осветительных приборов. А также иными системами освещения, такие как комбинированная с прямым и отраженным светом. Поэтому разработка энергоэффективных и качественных систем освещения является актуальным.

**Целью работы** является разработка энергоэффективного и качественного светового прибора без эффектов блескости не допускающие ослепление для глаз с отдельной отражающей поверхностью для равномерного освещения. Уникальностью данной разработки является равномерное освещение с диффузно отраженным светом.

**Объектом исследования** является комбинированная система с осветительным прибором на основе светодиода и диффузного отражателя для освещения залов спортивных игр “Победа”.

**Постановка задачи:**

– Если раньше была задача как осветить помещение, потом перешли к задаче чтобы освещенность была нормально, а сейчас большое внимание уделяется качеству освещения. Анализировать конструкцию и освещенность от металлогалогенного светильника установленном в спортивном зале “Победа”, разработать схемы и проекты расположение нового светодиодного светильника.

– Разработать оптическую систему светового прибора с прямым и отраженным светом с точки зрения качества освещения, соответствующему требованиям СП 52.13330.2011 [1], ВСН-1-73 [4].

– Разработать оптимальную систему теплоотвода светового прибора на основе принудительного охлаждения.

– Разработать конструкций для светового прибора и диффузного отражателя, обеспечивающую защиту от попаданий мяча по СП 31-112-2004.

**Научная или практическая новизна** работы заключается в разработке оптической части со светодиодами на основе специальных зеркальных отражателей эллипсоидной/гиперболический цилиндрических форм внутренних двух сторон и использование диффузно отражающей поверхности, которая позволяет освещать равномерно и без эффекта блескости источника света к наблюдателю.

**Практическая значимость результатов ВКР.** Разработанный светодиодный осветительный прибор может использоваться для освещения залов спортивных игр.

## **Глава 1. Обзор ситуаций по разработке светового прибора для освещения больших площадок**

### **1.1 Обзор конструкций осветительных приборов на основе светодиода**

Существует огромное количество световых приборов, прожекторов, кой возможен эксплуатирование в залах спортивных игр.

Существует патент [5], на светодиодной основе, где основным уникальным достижением является его теплоотвод.

Это изобретение, принадлежащий к светотехническому прибору где может использоваться для архитектурной подвески сооружений, спортивных площадок, концертных театральных залов, больших площадок, аэропортов и ЖД объектов.

Отличительной чертой этого патента является улучшенный тепловой режим светодиода, моментальная разборка компонентов, возможность замены светодиодного модуля и простота в использованиях.

Прожектор имеет светодиоды, устанавливающий с возможностью теплового соединений с торцевым лицом в одном из частых помещенных и равно направленных в среде теплоотводящих стержней и открытым воздушным каналом образующим боковыми поверхностями.

На рисунке 1.1 показаны основные компоненты светового прибора, это: 1) теплопроводящие радиаторы; 2) торцевая сторона теплового стержня; 3) боковые поверхности теплового стержня; 6) мощные светодиоды; 8) обдувающий вентилятор; 9) корпус; 10) плата с прикрепленным блоком питания.

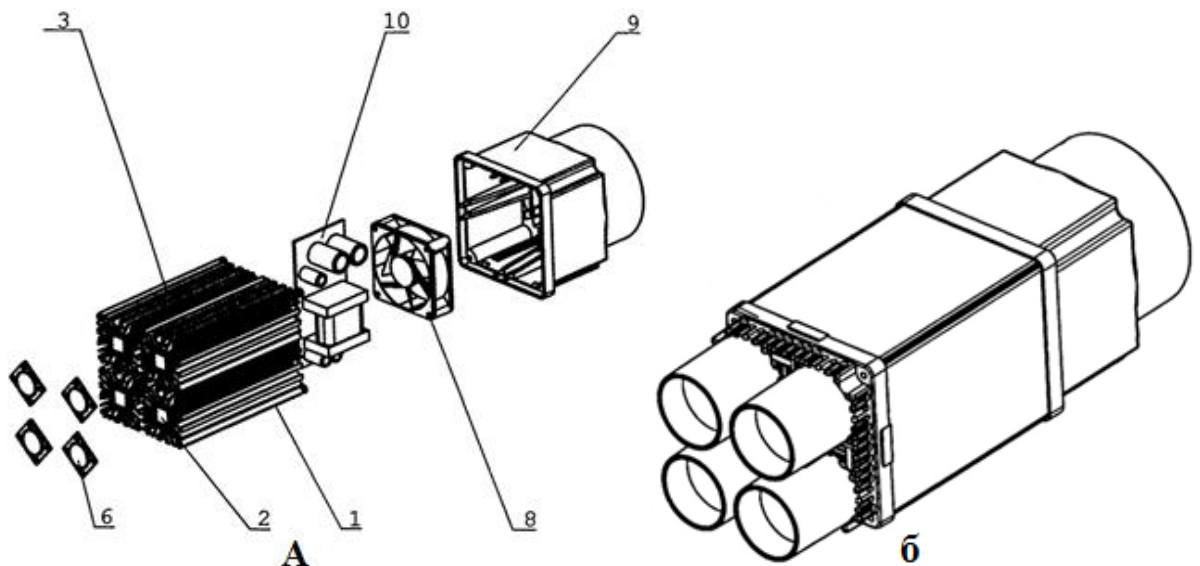


Рисунок 1.1 – а) Компонентные части; б) Внешний вид светодиодного прожектора патента [5]

Теплопроводящий стержень 1 показанный на рисунке 1.2, имеет: торцевую поверхность 2 где будет устанавливаться светодиодные модули, сформированная боковая поверхность 3 реализованный с применением цилиндрических частей к формирующей, который находится к параллельной оси охлаждающего стержня. Укрепляющие элементы 4 образованы на сложной боковой части 3. Боковая сторона охлаждающего стержня создает воздушные каналы потока 5.

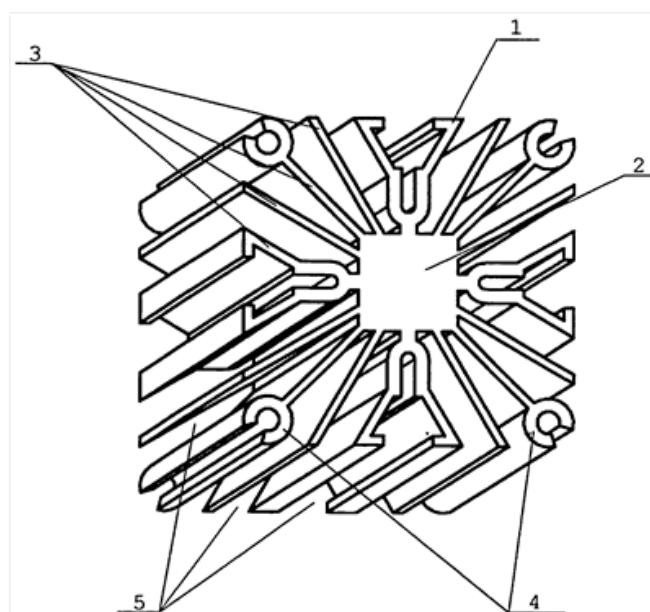


Рисунок 1.2 – Теплопроводящий стержень светодиодного прожектора



Следует обратить внимание на то, что главным достоинством конструкций этого изобретения является уникальная эффективная охлаждающая система, с теплоотводящим радиатором и вентилятором. Эффективность данного решение, это когда светодиод выделяет тепло оно будет рассеиваться в стрержне, а там согретый воздух от стержней и драйверов обдувается при помощи вентилятора. Несущественным недостатком данного решение является достаточно большой вес, создаваемым от металлического корпуса и габаритного стержня.

В сфере общего освещение интересным выглядит патент [6], где в отличия от предыдущего изобретение [5] имеет каркасные схемы, и за счет этого у нее небольшая масса. Технологическим результатом этого патента является: облегчение методов изготовления, уменьшение металл емкости, а еще корректировка теплоотвода, выполняемый с помощью, решений раскроя листовых металлов создается основание ребристого радиатора и в торцевых его частях делается конвекционные дыры, что дает возможность тепло рассеивание. Все эти компоненты будет ввариваться к поверхности, а драйвера будет устанавливаться к основанию с помощью втулки. Светодиоды с помощью поверхностного монтажа будет припаиваться к печатному плату, а плата в свою очередь к радиатору. Из тонкого листа металла еще и делается каркасная рама, с выступами на торцевых местах где соединяется с кронштейном и с отверстиями для винтовых соединений, которых соединяется основание с световой частью и с защитным стеклом. Боковые части кронштейна имеет радиусные пазы, которые за счет фиксирующего винта выбирает необходимую ориентацию светового прибора по зависимости к монтажной поверхности. Все компоненты соединяется посредством каркасной рамы, что дает снижение металлоёмкости светового прибора. Подробная конструкция светильника представлен в рисунке 1.3, это: 1) основание радиатора; 2) ламели; 3) каркасная рама; 4) блок питание; 7) выступная часть; 8) печатная плата; 9) защитное стекло; 10) ввод кабеля; 19) уплотнитель и з силикона.

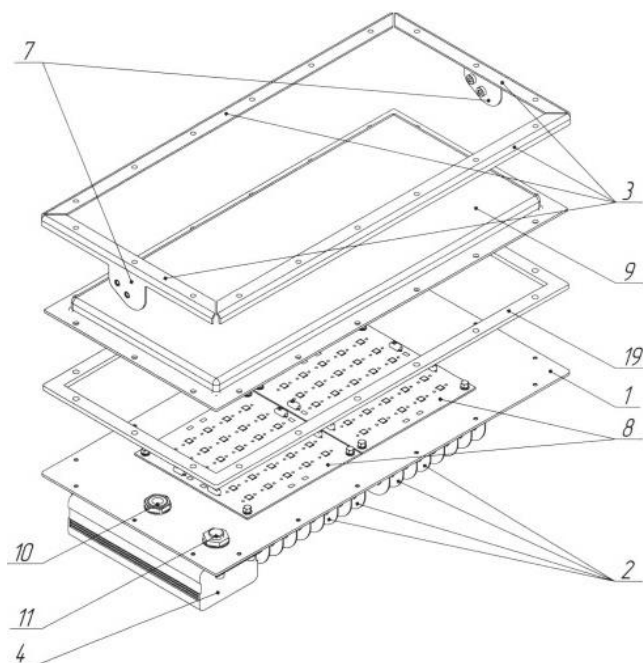


Рисунок 1.3 – Компонентные части светодиодного светильника

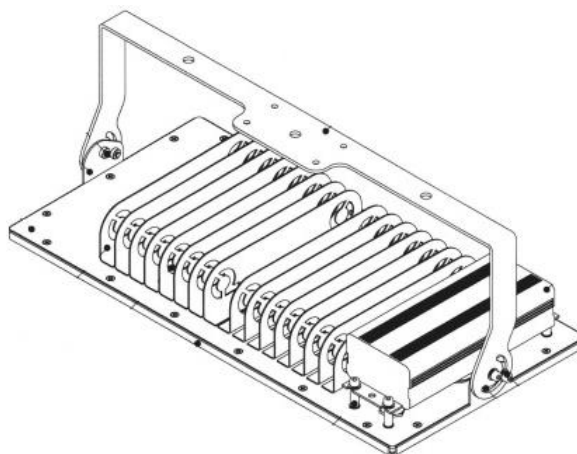


Рисунок 1.4 – Внешний вид светодиодного светильника патента [6]

Преимущество предлагаемой конструкции в изобретениях [6], это наличие каркасной рамы (схемы), который дает возможность разделить конструктивные элементы радиатора с устанавливающими деталями, которые в свою очередь дает снижение металлоемкости и веса светильника.

Светильники с рассеивающим свечением имеет ряд преимуществ от прямого света испускаемым источником света, это равномерность освещения.

Конструктивно эти светильники не отличаются от обычных светильников за исключением оптической части, где обычно используется матовые светопроводящие материалы.

Патент [7] относится к осветительному прибору, где есть светодиодный источник, рассеивающий деталь и задняя сторона с зеркальным отражателем.

Целей патента является применение осветительной системы, которые должны иметь максимальную однородность.

Светильник по изобретению имеет отличительную преимущество в том, что внедрение зеркального отражателя дает управлять отраженным светом, от источника к рассеивателю.

Собственно говоря, диффузное распределение светового потока по рассеивателю можно получить, сформировав особую форму. Рассеивающий деталь преобразует поступающий свет из светового потока в наперед ясное угловое распределение излучения, как, похожего на ламбертовское распределение света от рассеивающего элемента.

В этом решении задний зеркальный отражатель применяется для генерации освещения за счет отраженным излучением. Этот метод отраженного света снижает блеск, еще, изобретение имеет отверстие выхода света, позволяя отраженному свету распределиться в помещениях. Главный минус этого открытого окна состоит в том, что угловое расхождение света, распределяющего в помещениях, целиком зависит от заднего зеркального отражателя, которые имеет форму схожий к параболе.

Еще одним отличительным чертой патента [7] является их зеркальные отражатели, а именно оно представляет собой слой, отличающийся тем, что его угол падения равен углу отражений, в вариациях  $\pm 5^\circ$ .

На рисунке 1.5 представлен полный схема в разрезе светового прибора 17, где основание 22, где находится светодиод 20, имеет наклон относительно рассеивающего компонента 30. В этом рисунке не показан целый светильник, чтобы удобно ориентироваться по принципу действия.

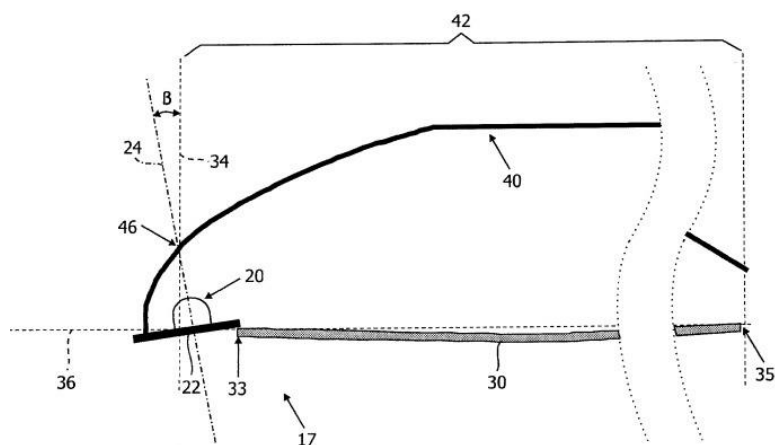


Рисунок 1.5 – Осветительная система освещение с отраженным и рассеянным светом

Еще одним примером с зеркальным отражателем является, решение разработанной от компаний Starguard – led 140w [8]. Достоинством конструкций прибора является отраженный свет, где свет не светит напрямую к приемнику. Такое решение позволяет избежать блескости освещений. Такая конструкция часто применяется в верхнебоковой системе освещений для залов спортивных игр и т.д. В качестве теплоотвода здесь применяется радиаторы, которые еще и выполняет роль крепежного элемента как показано на рисунке 1.6.

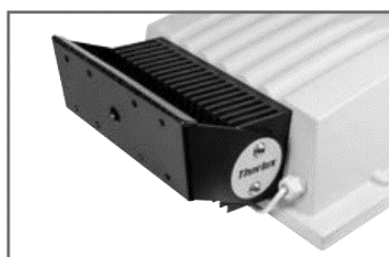


Рисунок 1.6 – Радиатор осветительного прибора starguard led 140w

Таблица 1 – Характеристики осветительного прибора starguard led 140w [8]

Мощность, Вт	62-140
Цветовая температура, К	4000-5700
Светоотдача, лм/Вт	98,3
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	545x400x155
Вес, кг	11,8
Степень защиты	IP65
КСС	полуширокий
Угол наклона от вертикали оптической части, °	55

На рисунке 1.7 показаны внешний вид и схематические чертежи осветительного прибора starguard led 140w.

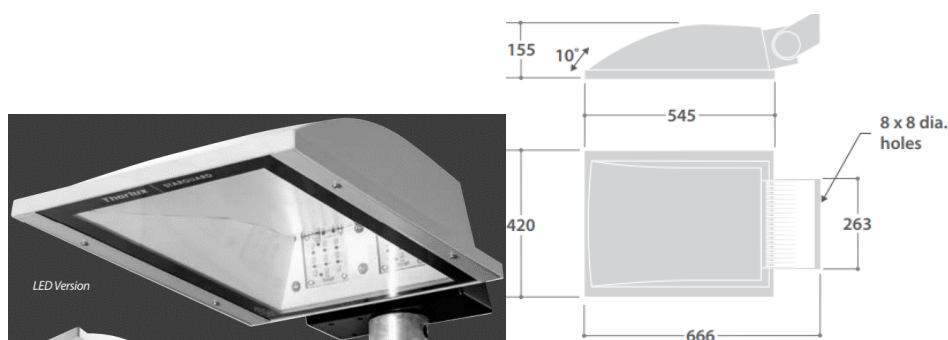


Рисунок 1.7 – а) Внешний вид; б) Схематические чертежи осветительного прибора starguard led 140w

Следует иметь в виду, что оптическая ось прожектора [8] имеет асимметричный полуширокий КСС и имеет наклон  $55^\circ$  от вертикали, это превышает допустимые нормы, которые должны не превышать  $40^\circ$  от вертикали по ВСН-1-73, в случае применений для освещения в спортивном зале.

Одним из самых популярных световых приборов в области освещения больших площадок является ассиметричный металл галогенный прожектор Vivo Luce Luminoso мощностью 250/400 Вт. Уплотнительные прокладки его выполнены из силиконовой резины. Отражатель зеркальный, выполненный из анодированного алюминия. Внутри корпуса расположена металлическая плата с пускорегулирующей аппаратурой. Корпус и рамка из литого под давлением алюминия, покрытые порошковой краской. Чертежные схемы и внешний вид представлен в рисунке 1.8.

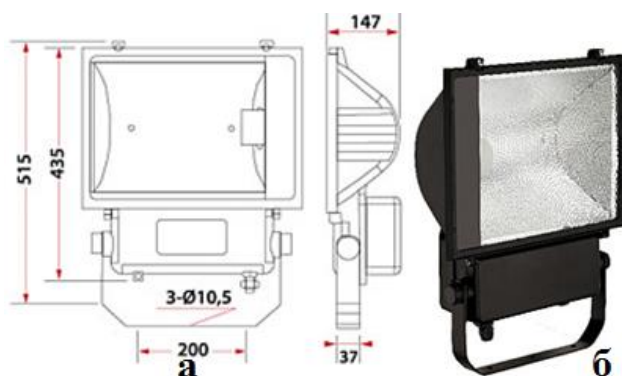


Рисунок 1.8 - Чертежная схема (а) и внешний вид (б) прожектора Vivo Luce Luminoso 400 [2]

Достоинством осветительного прибора [2] является защищенный компактный корпус с надёжно прикрепленными компонентами. К недостатку можно отнести довольно большой вес (8 кг) и блескость источника света, так как в прожекторе установлен зеркальные отражатели с прозрачным стеклом (в залах спортивных игр может неблагоприятно воздействовать на зрение игрока).

## 1.2 Обзор оптической части светодиодного осветительного прибора

Главная задача оптической системы – это формирование необходимого распределений света в среде при одновременном сохранении светового потока, исходящего от источников света. Большинство современные светильники использует рассеивателей и отражателей (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Прожекторы, с отражателем (а), с рассеивателем (б)

Отражатель направляет свет, за счет перераспределения в среде при помощи многократного отражения. Форма может быть разной формы, который зависит от функций светильника (рисунок 1.10). Отражатели бывает зеркальный (направленный), диффузный и смешанный (направленно-диффузный) [9].

Самым важным параметром материалов, отражателей, можно считать коэффициент отражения и кривая распределение отраженного потока света в среде, а в разноцветных отражающих материалах есть еще один важный показатель, это спектральное распределение коэффициента отражение. Но в светильниках такие отражатели в основном не применяется.

В направленных и направленно-диффузных отражателях, материалы, в основном, являются обработанные разными методами, или вовсе покрытия из разного металла на неметаллической основе, в основном из жестких пластиков.

Смешанно отражающими свойствами обладают, необычные силикатные эмали и белые блестящие материалы, такие как силикатные материалы не пропускающий свет.

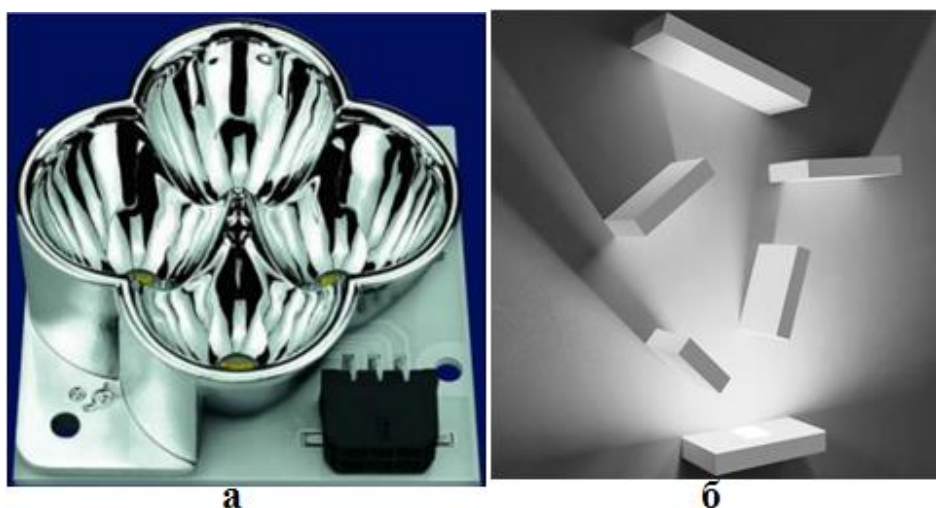


Рисунок 1.10 – а) Зеркальное отражение; б) Рассеянное отражение

Направленное (зеркальное) отражение. Направленное отражение может дать необходимую распределению кривую силы света, так как в диффузных отражениях оно только ламбертовское, а в смешанном отражений оно и диффузное, и направленное. Самую высокую коэффициент отражение из металлов имеет серебро, коэффициент которого равен 0,92 (таблица 2), но оно почти не применяется из-за высокой цены. Самым распространенным металлов в отражениях является алюминий. Его природный коэффициент отражение в чистом виде равен 0,8, но из-за воздуха оно может быстро окисляться.

На сегодняшний день, коэффициент отражение от листов металла с тонким слоем высокоочищенного алюминия равняется 99,99%, если нанести на поверхность защитный слой из  $\text{SiO}_2$  и  $\text{TiO}_2$  – 95%. Максимальный коэффициент отражения луча получает при замене высокоочищенного алюминия на серебро, коэффициент отражение в данном случае достигает максимума равного 98%.

Для защиты от окисления применяется альзакирование и анодирование. Альзакирование – это нанесение тонкой пленки двуокиси кремния на алюминиевую поверхность. Анодирование – это обработка поверхности металла с растворами ортофосфорной кислоты, хромового ангидрида и другими элементами [10].

Таблица 2 – Коэффициенты отражения различных металлов [11]

Металл	Коэффициент отражения, %
Серебро	91,5
Алюминий	73,8
Висмут	71,7
Цинк	56,0
Железо	55,0
Олово	54,0
Медь	47,7

1) По данным Intern. Critical Tables, vol. 5, 1923.  
2)  $\lambda = 10\ 600 \text{ \AA}$ .

У алюминия достаточно хороший коэффициент отражения в ультрафиолетовой области и высокая отражения в видимом и ближнем инфракрасном спектральном диапазоне где показано в рисунке 1.11, также алюминиевые покрытия опережает серебряные по величине коэффициента отражения в УФ диапазоне спектра [12].

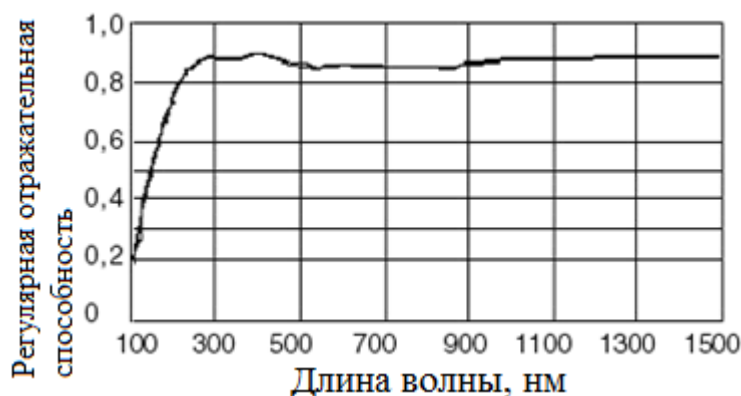


Рисунок 1.11 – Отношение коэффициента отражения алюминия от длины волны

Диффузное отражение. Поверхность, неровности которой столь велики в сравнении с длинами волн падающей радиации, что отраженные ею лучи посылаются по многим направлениям; например, белая бумага [13]. Это



отражение падающего на поверхность светового потока, где его угол отражения отличается от угла падения.

Для изготовления различных материалов с диффузным отражением применяются краски и эмали из белых пигментационных фрагментов, таких как цинковые окиси, титановая двуокись и др. Эмали покрывают поверхность отражателей способом распыления сжатым воздухом. Коэффициент отражения качественных эмалей составляют около 0,85 [14].

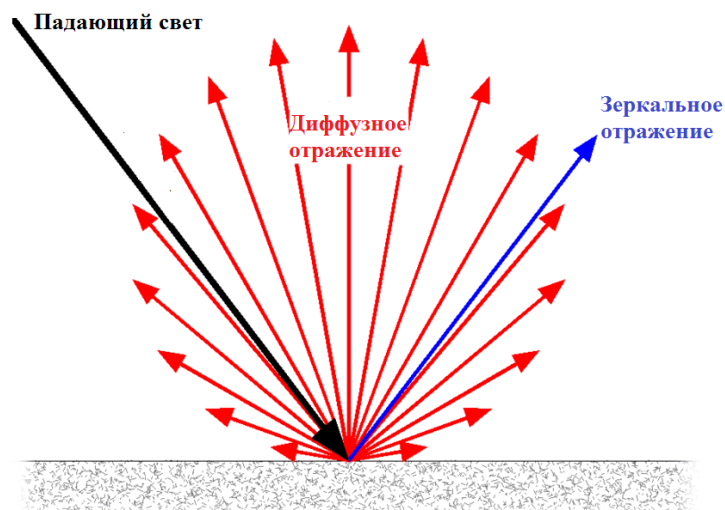


Рисунок 1.12 – Зеркальное и диффузное отражение света [15]

### 1.3 Обзор охладителей светодиодных источников света

Светодиоды являются достаточно эффективным современным источником света, благодаря высокой световой отдаче, долгому сроку службы и благодаря за счет экологической чистоте. Мощность излучения, световой поток, долговечность и эффективность светодиодов очень сильно зависят от температуры в среде p-n перехода. Это означает, что коэффициент полезного действия радикально снижается с ростом температуры. Как и в полупроводниковых устройствах, большая часть (65-80%) преобразуется в тепло. За счет этого, по сравнению с тепловыми излучателями такими как лампы накаливания, светодиодам необходимо обязательное регулирование температурных состояний.

Можно обратить внимание (рисунок 1.13), что при температурах меньше 100°C световой поток снижается немного, а если температура 85°C, то оно

равен 100%. Современное тестирование светодиодов реализуется при температуре 85°C, исходя из этого при температуре меньше 85°C на графиках можно заметить увеличение светового потока. Такая температура считается номинальным для светодиодных фирм таких как CREE.

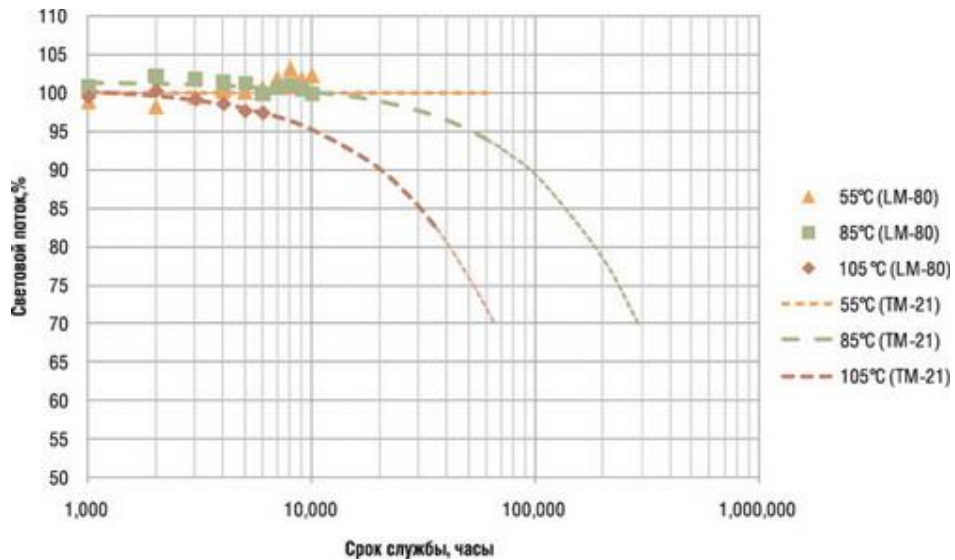


Рисунок 1.13 – Срок службы светодиодов XPG, в зависимости от температуры [16]

Светодиод имеет сложную свойству по отношению к теплоотводу в атмосферу. Этот механизм можно представит в виде схемы последовательности, начиная от светодиода заканчивая окружающей средой.

На рисунке 1.14 можно увидеть какие сопротивление препятствует к теплоотводу.

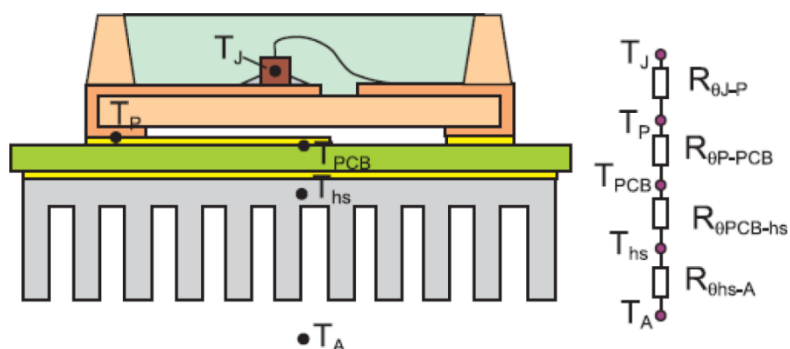


Рисунок 1.14 – Схема теплового сопротивления для единичного светодиода

В рисунке 1.14 тепло отводится за счет физического контакта компонентов с источником тепла, посредством тепловых сопротивлений этих

компонентов: «р-п переход (Температура  $T_j$ ) – корпус», «корпус ( $T_p$ ) – печатная плата», «печатная плата ( $T_{PCB}$ ) – радиатор», «радиатор ( $T_{HS}$ ) – воздух ( $T_A$ )». Тепловое сопротивление всей системы теплоотвода определяется по этой формуле:

$$R_{\theta J-A} = R_{\theta J-P} + R_{\theta P-PCB} + R_{\theta PCB-HS} + R_{\theta HS-A}, \quad (1)$$

Возникающие проблемы в светодиоде, связанные с воздействием высоких температур. Собственная температура кристалла, определяющая свойству светового потока, цвета излучения и напряжение прямого смещения светодиода, зависит от температуры окружающей среды и его нагрева при проходе электрическим током.

Световой поток  $\Phi$ , являющегося функцией температуры, определяется по следующей формуле [17]:

$$\Phi_V(T_j) = \Phi_V(T_2)e^{-k\Delta T_j}, \quad (2)$$

$$\Phi_V(T_1) = \Phi_V(T_2)e^{-k\Delta T_j},$$

где  $T_1$  – световой поток при  $T_j$  1;

$T_2$  – световой пото при  $T_j$  2;

$k$  – температурный коэффициент;

$\Delta T$  – разность температур  $T_j$  ( $T_2 - T_1$ ).

Пример старения от повышения температуры показан на рисунке 1.15. Кривая показывает, что при увеличениях температуры от 25 до 75°C световой поток снижается почти в два раза.

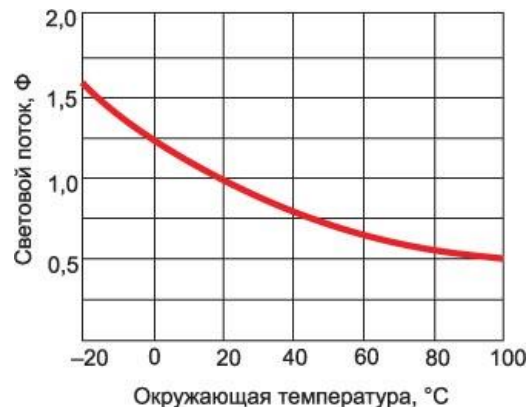


Рисунок 1.15 – Зависимость светового потока от окружающей температуры для красного светодиода при неизменном токе [17]

Существующие формулы теплотехники и экспериментальные исследование за стабилизацию температурных режимов дали глубже понять механизм потерь мощности излучения, обусловленных разностью температур:

$$R_{thja} = \frac{\left(\frac{T_j - T_a}{P} = \Delta T_j - T_a\right) - T_a}{P} = \frac{\Delta T_{ja}}{P}, \quad (3)$$

где  $T_j = \Delta T_j + T$ ;

$R_{thja}$  – потери, обусловленные различием температур между переходом и окружающей средой;

$T_j$  – температура p-n – перехода;

$T_a$  – температура окружающей среды;

$P$  – полная мощность светодиода ( $I_f \times V_f$ ).

На практике реальное значение температуры p-n-перехода определяется следующей формулой [17]:

$$T_j = R_{thja} \times P + T_a \quad (4)$$

Обзор отвода тепла на печатных платах. За счет частого расширения области эксплуатации мощных светодиодов, проблема теплоотвода становится еще актуальнее. Вместе с возможностями охлаждения с помощью радиаторов, где устанавливается вручную после монтажа платы, есть еще и другие методы [18]:

Термопласта: преимущество: дешевизна; недостаток: занимает области печатной платы.

Печатная плата с толстым слоем меди: толщина слоя меди: от 105 мкм; теплопроводность меди: 400 Вт/м·К; преимущество: высокая теплопроводность; недостаток: ограничение по минимальной толщине проводников.

Металлические подложки изолированные (IMS). Теплопроводность описывает способность материала провести тепло (энергия) и зависит от плотности материала, транспортирующую энергию. В таблице 3 приведены

цифры теплопроводящих свойств материалов, использующих при изготовлении печатных плат.

Таблица 3 – Теплопроводность материалов в печатных платах [18]

FR4	~0,2
Воздух	~0,02
Алюминий	~220
Медь	~400
Керамика	~15-180
Проводящие полимеры	~3-20
Нержавеющая сталь	~16
Вода	~0,6
Спец. препреги	≥1

Материалы с теплопроводностью ниже 0,8 Вт/м·К считаются термоизоляторами, печатная плата состоит из разного рода материалов.

Для описания качество теплопроводности обычно используется значение теплового сопротивления  $R_{th}$  (5). Это значение может определяться на основе толщины слоя материала  $d$ , контактной площади  $F$  и теплопроводности:

$$R_{th} = d/(\lambda x A), \quad (5)$$

По этому принципу может быть рассчитано тепловое сопротивление каждого материала платы. Вся сопротивление платы IMS – это сумма всех отдельных сопротивлений:

$$R_{th} = R_{thCu} + R_{thPrepreg} + R_{thSubstrat} + \dots \quad (6)$$

Из этого уравнений, можно сделать вывод что чем тоньше слой материала чем высокая теплопроводность.

Отвод тепла с помощью платы с металлическим основанием. В таких печатных платах вместо базового материала используется металлическое основание, сердцевина из алюминия или меди. Для этого с помощью прегрега (прегрег – это готовые для переработки продукты преждевременной пропитки связывающих упрочняющих материалов со тканой или нетканой структурой) закрепляется медная фольга. Это металлическое основание является неотъемлемой частью платы. На рисунке 1.16 показаны примеры печатных плат.

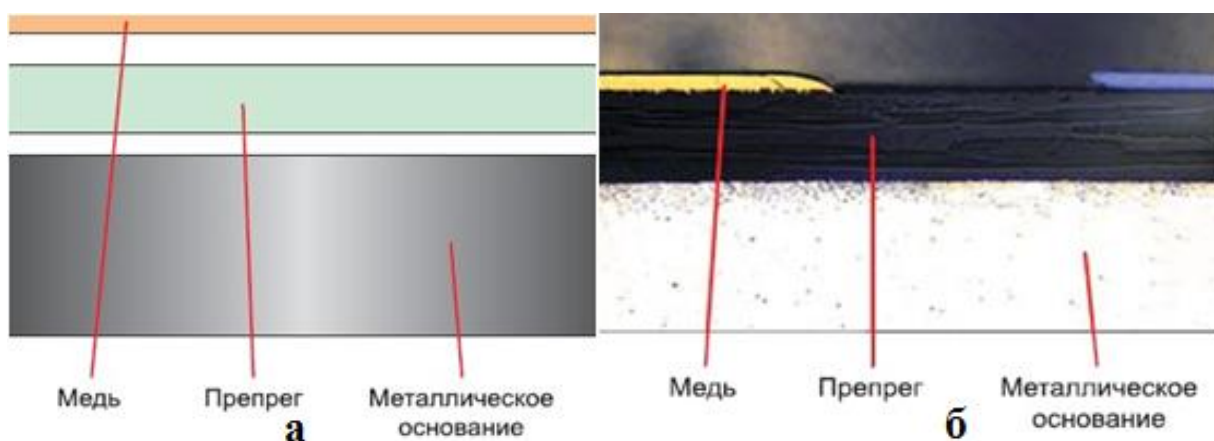


Рисунок 1.16 – IMS печатная плата [18]:

а) Конструкция односторонней платы; б) Шлиф

Теплоотвод через металлическую подложку. При теплоотводе через металлическую подложку печатные платы разрабатывается обычным образом, после чего они крепятся к подложке при помощи препрегов. Поэтому подложка на основе металла, является основной частью платы (рисунок 1.17).

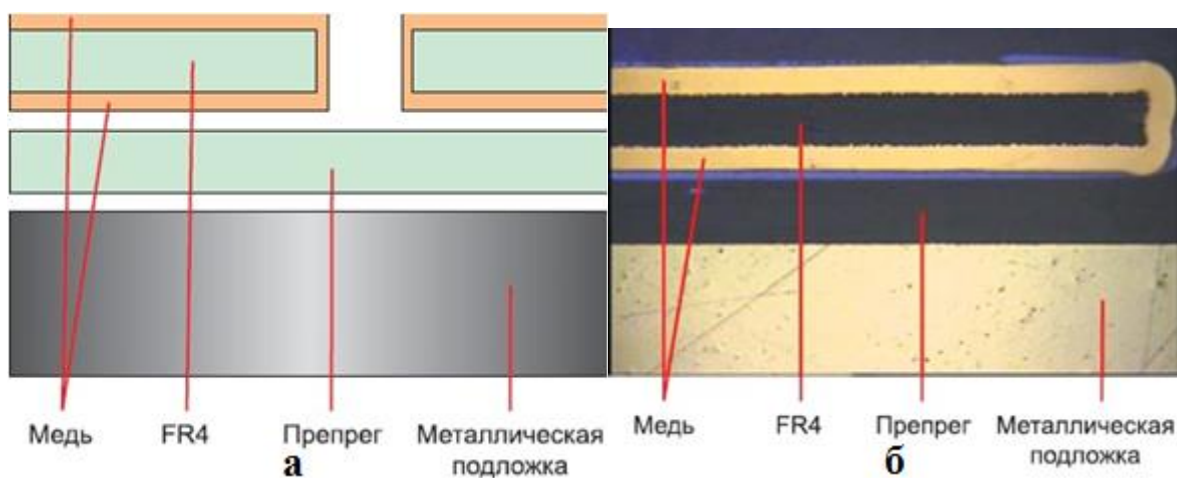


Рисунок 1.17 – печатная плата с металлической подложкой:

а) Конструкция; б) Шлиф

Структура платы, приведенной в рисунке 1.17 состоит из FR4 (стеклотекстолит) покрытой медью которые с помощью препрега соединяется с металлической подложкой.

Правила проектирование платы с металлической подложкой показаны в таблице 1.17 и на рисунке 1.18.

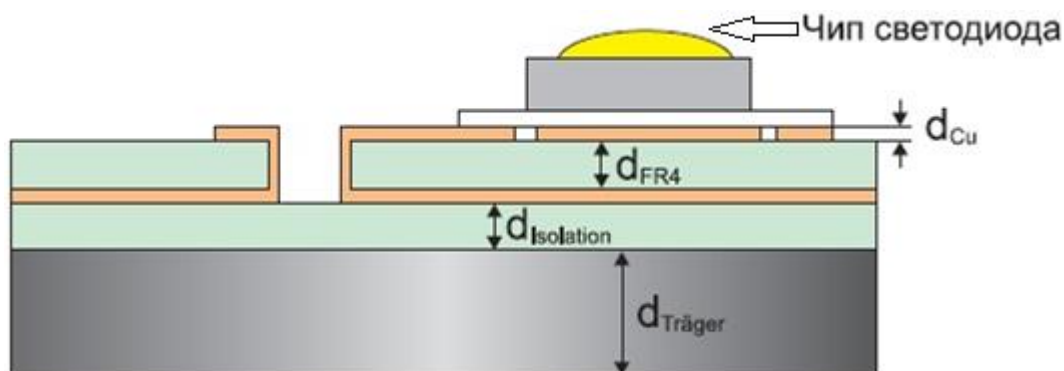


Рисунок 1.18 – Схема конструкции платы с металлической подложкой [18]

Таблица 4 – Параметры для проектирования плат с металлической подложкой [18]

Толщина МП, мм	$d_{Träger}=0,5-2$
Толщина медной фольги, мкм	$D_{Cu}=35-105$
Толщина препрега, мм	$D_{Isolation}\sim 0,06-0,15$
Толщина печатной платы, мм	$d_{FR4}$ как можно тоньше (0,1-0,3)
Минимальный диаметр отверстия в металлической подложке, мм*	$d_{min}\geq 1$
Минимальная фреза, мм*	$d_f\geq 1,6$
Цвет паяльной маски	Без ограничения
Финишные покрытия	Без ограничения

Радиаторы. При компоновке светодиодного светового прибора имеет важное значение правильно выбрать, сконструировать и установить систему для его теплоотвода – это радиаторы для светодиодов. Если тепловой режим для работы светодиода выбран неверно – это впоследствии приведет к его перегреву и выходу из строя.

Для охлаждения используются радиаторы, с помощью которых тепло передается в атмосферу двумя способами. Первый способ – пассивное охлаждения, где одна часть тепловых инфракрасных волн излучается в атмосферу, а вторая благодаря конвекции теплого воздуха уходит от радиатора (рисунок 1.19). Минусом пассивного охлаждения является большой размер, вес и стоимость устанавливаемого теплопроводника.

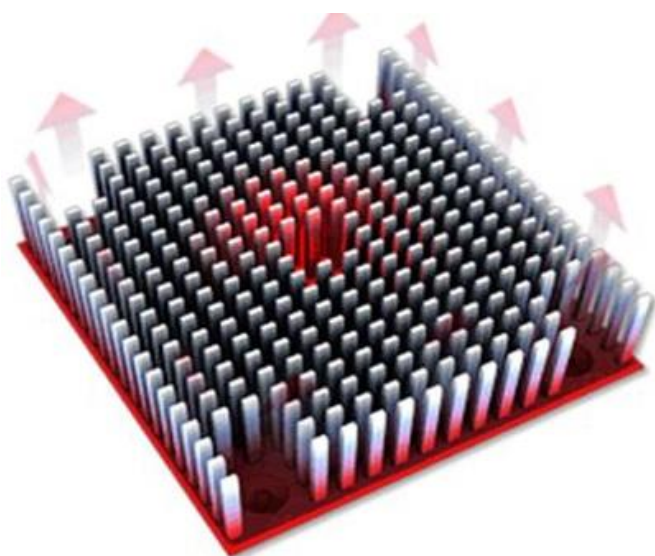


Рисунок 1.19 – Пассивный способ тепловой конвекции [19]

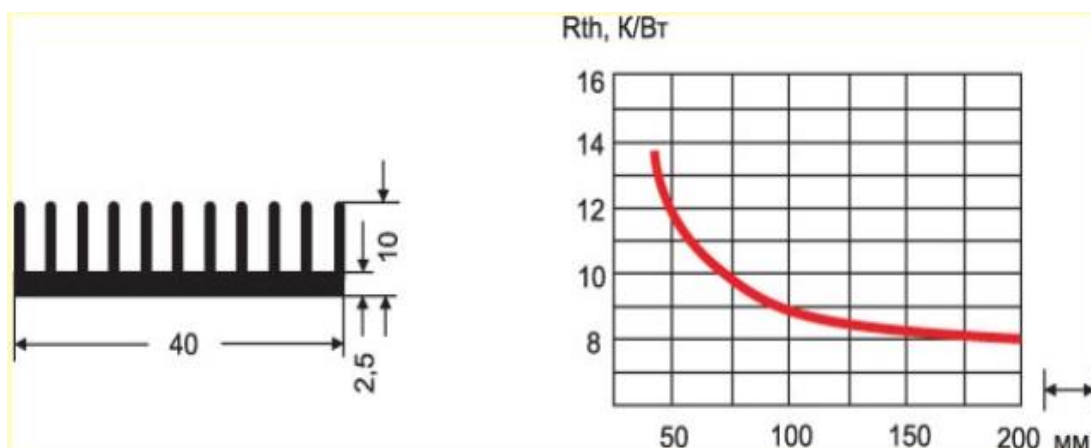


Рисунок 1.20 – График зависимости теплового сопротивления радиатора от его размеров [17]

На рисунке 1.20 видно, что с увеличением форм, размеров и количество ребер радиатора его тепловое сопротивление снижается.

Турбулентная конвекция относится к активному способу охлаждения. Для отвода тепла из мощных светодиодных приборов, на радиатор закрепляется смонтированный на подложке кристалл, и в систему внедряется механическое устройство и кулеры, создающие активные воздушные потоки (рисунок 1.21). Для примера, источник света мощностью 20 ватт в фарах машин принудительно обдувается установленными вентиляторами. Этот метод



намного производительный, но применяется только тогда, когда хорошая погода и отсутствует большие запыленности помещений.



Рисунок 1.21 – Вентиляторы для активного охлаждения [19]

Полезность теплоотвода можно увеличить, используя принудительную вентиляцию. Вентилятор на радиаторе, от способа использования, увеличивает охлаждение на 40%. Для выбора необходимого охлаждающего прибора в схеме с принудительной вентиляцией рекомендуется графики зависимости теплового сопротивления от скорости потока воздуха (рисунок 1.22).

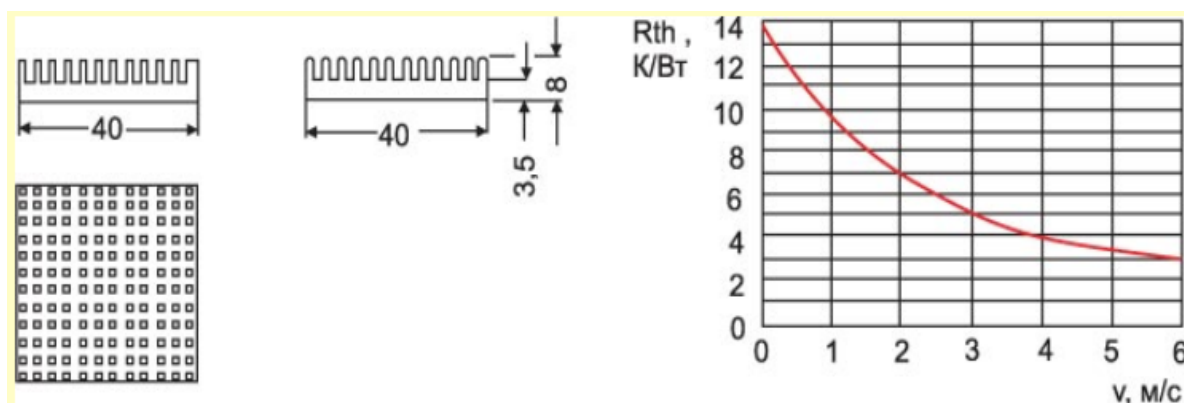


Рисунок 1.22 – График зависимости теплового сопротивления радиатора от скорости потока воздуха [17]

Таблица 5 – Виды активного охлаждения [20]

Тип	Рассеиваемая тепловая мощность, Вт	Описание
Кулер	<170	Монтируется непосредственно на радиатор. Необходимо дополнительное питание.

Тепловые трубки	<140	Тепловые трубки не рассеивают тепло, они переносят его в другое место, так что радиатор все равно необходим.
Жидкостное охлаждение	<200	Предназначено для отвода большого количества тепла, довольно дорогое решение, примерно в 10 раз дороже, чем тепловые трубки.
Модули Пельтье	<80	Неэффективны, ограниченное охлаждение, дороговизна. Необходимо дополнительное питание.
Струйное охлаждение	<80	Сравнимо с кулером, но работает более тихо и обладает высокой надежностью. Требуется специальный дизайн радиатора.
Системы охлаждения SynJet	<240	Меньшие габариты по сравнению с обычными радиаторами. Тише по сравнению с кулерами. Долгий срок службы. К минусам можно отнести необходимость отдельного источника питания.

Материалы для радиаторов. Чаще всего для охлаждения применяется радиаторы на основе из пресованного алюминия, так как он сравнительное лучше отводит тепло и имеет весьма небольшую массу. Самым теплопроводящим металлом является медь, которого теплопроводность в два раза больше чем из алюминиевых (400 Вт/м·К), но главным недостатком считается его тяжелый вес и низкая податливость металла, подробнее по теплопроводности металлов приведены в таблице 3. Есть еще и вариант с охлаждением подложек из керамики. К его токоведущим трассам припаивается источники света, которое позволяет увеличить его теплопроводность.

#### 1.4 Выводы

1. Мощные осветительные приборы применяемые в общем освещений реализованы с обязательным применением пассивных и активных охлаждений где источником света является светодиод, которые в свою очередь воздействует на габаритные размеры и массы.

2. Самыми оптимальными материалами для рефлекторов является – слой из алюминия в качестве зеркального отражения, коэффициент отражение, которого может достигать 0,95 и жесткий ПК пластик в качестве основного материала для снижения стоимости и веса отражателя. Самым наилучшим материалом в диффузных отражениях является эмали из белых

пигментационных фрагментов (цинковые окиси и др.), коэффициент отражения которого достигает 0,85.

3. Все светотехнические параметры, такие как световой поток и тд. светодиодных излучателей напрямую зависит от температуры в кристалле, в частности в области р-п-перехода. Исходя из этого, регулирование тепловой работы излучения является одним из самых важных работ в проектированиях осветительного прибора на основе светодиода.

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

### **2.1 Объект проектирование**

Объектом проектирование является светодиодный световой прибор для освещения залов спортивных игр с размером 28 x 14 x 6,5 м (Д x Ш x В) в спорткомплексе “Победа” находящегося в городе Томск.

На сегодняшний день существует два способа светотехнической арматуры для световых приборов на основе светодиодов. Это линзы с полным внутренним отражением и отражатели. В данном осветительном приборе целесообразно использовать отражатели. Поскольку, такое решение обладает надёжностью, лёгкостью обслуживания и дешёвизной.

Необходимо проектировать и конструировать осветительный прибор на основе светодиодного излучателя, с применением зеркальных отражателей для формирования пучка с необходимым КСС и диффузных отражателей для равномерного распределения освещённости по площадке.

#### **2.1.1 Нормы требование по освещению залов спортивных игр**

По освещению залов спортивных игр существует требований по светотехнической части и по безопасности. Для световых приборов по освещению залов спортивных игр важным светотехническим нормируемым требованием является значение минимального уровня горизонтального и вертикального освещённости по своду правил СП 52.13330.2011 приведенной в таблице 6.

При освещении с системой верхнебокового света оптическая ось его светильника не должна иметь наклон более 40° от вертикали по ведомственным строительным нормам ВСН-1-73 и светильники должны быть обеспечены защитой от попадания мяча по своду правил по проектированию и строительств СП 31-112-2004 [3].

Таблица 6 – Нормативные показатели освещения основных помещений общественных, жилых, вспомогательных зданий [1]

Помещения	Плоскость (Г - горизонтальная, В - вертикальная), высота плоскости над полом, м	Разряд и под разряд зрительной работы	Искусственное освещение
			Освещённость рабочих поверхностей, лк
Физкультурно-оздоровительные учреждения			
Залы спортивных игр	Г-0,0 – на полу	Б-2	200
	В-2,0 с обеих сторон на продоль. оси помещения	-	75

### 2.1.2 Анализ существующего освещение в спортивном зале “Победа”

Для освещение спортивного зала “Победа” на сегодняшний день установлены 24 металл галогенных прожекторов, из них 10 прожекторов мощностью 400 Вт и 14 мощностью 250 Вт. Подробный план расположение осветительных приборов показан на рисунке 2.1.

Было измерено горизонтальная освещенность на уровне пола, результаты которого приведены в рисунке 2.1.

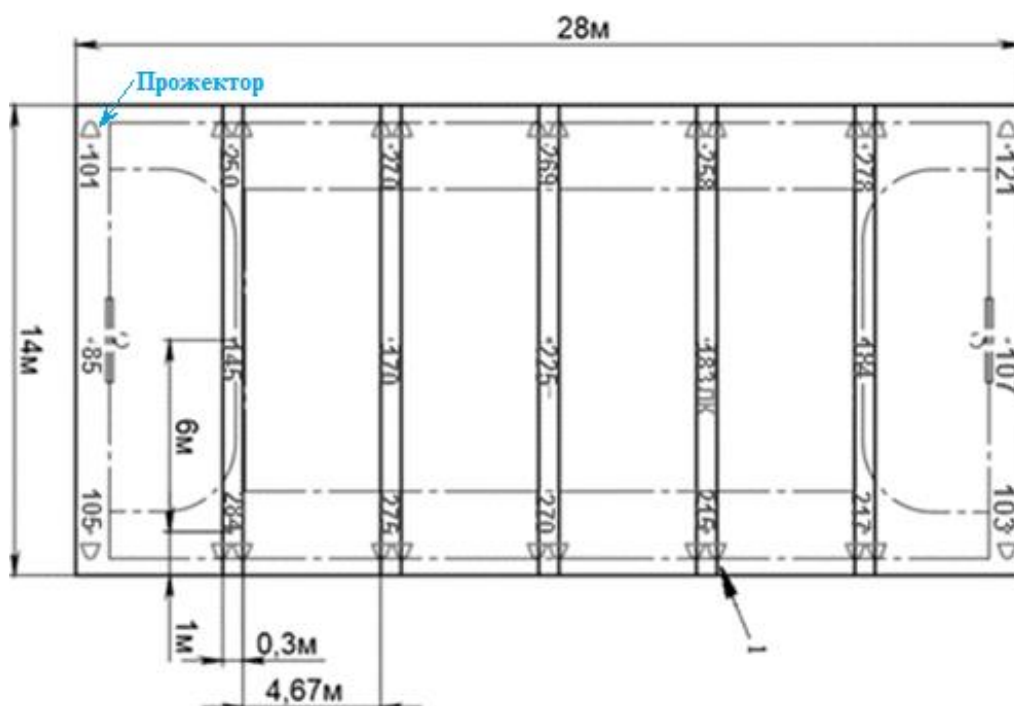


Рисунок 2.1 – Измеренные точки освещенности в площадке на уровне пола

По значению освещенности, приведенные в рисунке 2.1, средняя освещенность всех 21 измеренных точек составило  $E_{CP} = 196$  лк, самая минимальная точка  $E_{МИН} = 85$  лк, максимальная  $E_{МАКС} = 284$  лк.

На рисунке 2.2 приведены фотографии внутри игровой площадки со включенным осветительным приборами.



Рисунок 2.2 – Игровая площадка со существующими включенными прожекторами МГЛ-400/200 Вт

Можно сделать вывод по результатам освещенности приведенный в рисунке 2.1, что горизонтальная освещенность на уровне пола фактически не соответствует по нормам требований СП 52.13330.2011, где говорится минимальная освещённость должен быть не менее 200 лк. А сама освещенность распределен неравномерно, так как угловые зоны мало освещен по сравнению с центральной частью, а центральная часть в свою очередь слабо освещен чем сильно освещенные две крайние зоны. Светильники не защищены от попадания мяча по своду правил проектированию и строительству СП 31-112-2004. Наблюдается блескость от прямого падение луча света осветительного прибора на площадку как показано на рисунке 2.2, это неблагоприятно воздействует на зрение игрока во время важных соревнований.

## **2.2 Способ проектирование и обзор используемых программных комплексов**

Оптические компоненты светового прибора были проектированы в программной среде LightTools 5.1.0. Оно включает в себя источников света, отражателей, печатных плат, диффузных отражателей и приемников, в качестве освещаемой площадки.

Данная программа от американской компаний Synopsys позволяет сконструировать источник света, сформировать КСС, позволяет рассмотреть ход лучей от источника света, посмотреть результатов освещенности, а также при помощи LightTools можно создать ies-файл, который в дальнейшем можно использовать в таких программах, как Dialux, Lightscape и т.д. LightTools представляет мощные современные функции для конструирование, визуализации и совершенствование трудных оптических деталей, применяемых в системах общего освещения, оптике простой формы, световодах и дисплеях с подсветкой, а еще программный комплекс точно вычисляет все фотометрические и радиометрические величины, необходимые для полного анализа освещённости [21].

В данную программу можно импортировать файлы из AvtoCad, SolidWorks [22].

LightTools имеет полный командный язык, который вы можете использовать, чтобы писать макросы или для использования с Visual Basic (или других COM) программы для управления операциями в LightTools. Тем не менее, навыки программирования не нужны для большинства стандартных операций проектирования и анализа [22].

Твердотельная часть, а это все компоненты осветительного прибора были конструированы в программной среде SolidWorks. SolidWorks – это программный комплекс на основе САПР (система автоматизированного проектирование) для автоматизаций задач промышленного предприятия на фазе конструкторской и технологической реализаций производство [23]. Может реализовать детали разной степени сложности и задачи, обладает обширной

базой материаловедений. Основная работающая платформа Windows от корпораций Microsoft.

Программа был разработан компанией SolidWorks Corporation, а именно Джон Хирштик создал с нуля, в 1997 году стал независимым подразделением компаний Dassault Systemes (Франция). Разрабатывать программу начали в 1993 году, и оно стала первой САПР программой, поддерживающей трехмерное твердотельное моделирование для платформы Windows [23]. Основными конкурентами программного комплекса является AutoCAD, SDRC I-DEAS и Pro/ENGINEER.

Возможности. Тепловой анализ тепловыделяющих частей в сборке всех деталей были выполнены в под семействе SW Simulation – SW Flow Simulation, являющегося дополнительными модулями по газо/гидродинамическим расчетам, который еще включающийся в себя [24]:

SW Flow simulation – моделирование течение газов, жидкостей, управление расчищаемой сеткой, применение образцовых физических моделей газов и жидкостей, полный термический расчет, модели газо/гидродинамических и тепловых технических деталей;

SW FS Electronic Cooling Module Add-In – вспомогательный модуль для теплового расчета электронных установок. Имеет: обширная база по условным вентиляторам; материалы с техническим свойством; слоистых печатных плат охладителем по термоэлектрической части (Пельте элементы), деталями из двух резисторов. Умеет имитировать прохождение постоянного тока и джоулева нагрева;

SW FS HVAC Module Add-In – альтернативных режим FS для расчета и анализа вентиляционных систем, систем кондиционирование и отопления. Имеется: базы данных по стройматериалам и кулерам; расчет теплообмен излучения с учетом преломления и отражения и др.

### **2.3 Выводы**

1. Объектом проектирование является светодиодный световой прибор для освещения зала спортивных игр в спорткомплексе “Победа”. По



результатам анализа, приведенного в разделе 2.1.2, горизонтальная освещенность на уровне пола не соответствует по нормам требований СП 52.13330.2011, а сама освещенность распределена неравномерно.

Наблюдается блескость от прямого падение луча света осветительного прибора на площадку. Это неблагоприятно воздействует на зрение игрока во время важных соревнований.

Светильники не защищены от попадания мяча по СП 31-112-2004.

2. Для расчета светотехнической части использовалась программа LightTools версий 5.1.0. Трехмерные твердотельные детали конструировались с использованием программного комплекса SolidWorks 2015 года. Тепловой расчет и анализ производился в Flow Simulation входящего в подсемейство SolidWorks.

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

### **Введение**

Темой магистерской выпускной квалификационной работы является разработка светового прибора для освещения спортивного зала. В этом разделе будет рассматриваться финансовые данные от проектируемого светильника со светодиодными источниками света и диффузного отражателя, предназначенные для освещения спортивного зала спорткомплекса “Победа”.

Целью раздела «Ресурсоэффективность и финансовый менеджмент» является оценка эффективности и возможности проведения данного исследования, оценки рисков и затрат, а также решение задач [44].

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 [44].

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 спортивные комплексы, спортивные и обычные закрытые площадки.

Таблица 23 – 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 и диффузного отражателя	x		x	
	Освоение новых методов создания светового прибора на основе светодиода и диффузного отражателя	x	x		x
	Изучение свойств светодиода	x		x	
	Анализ характеристик светодиода и диффузных поверхностей	x	x		
	Продажа светового прибора и диффузного отражателя	x	x	x	
	Продажа результатов исследований и анализов светового прибора диффузного отражателя	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 и диффузного

отражателя, 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.

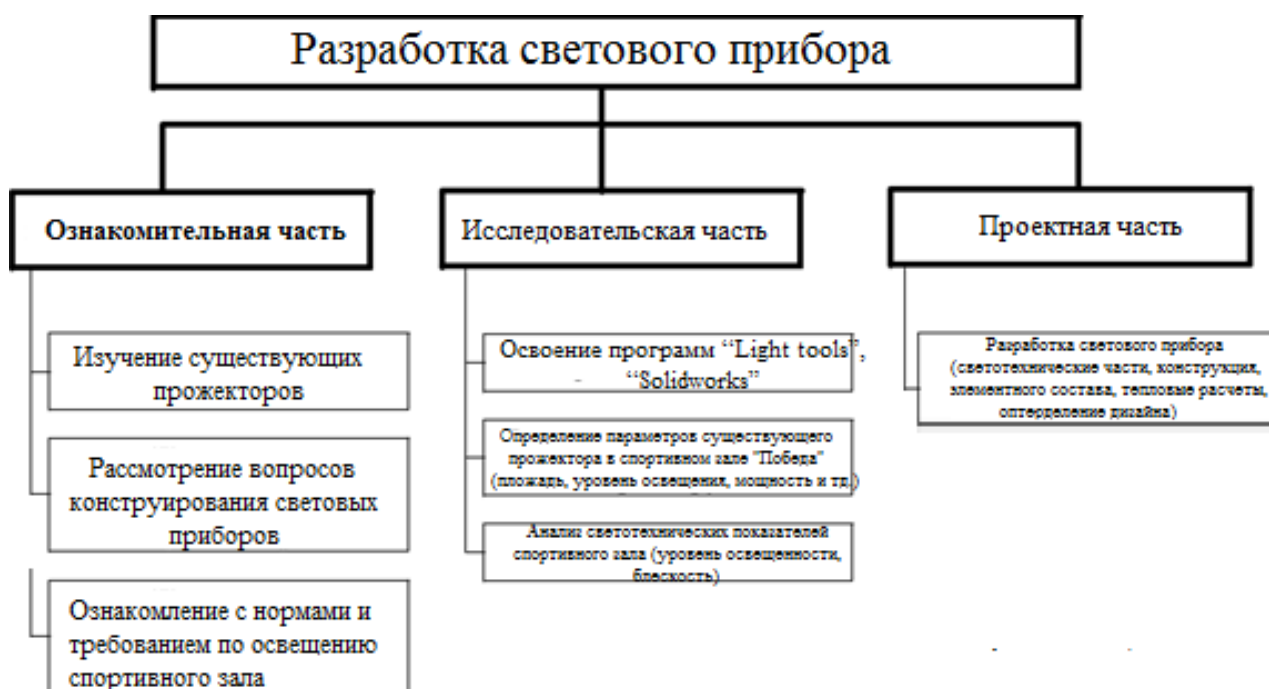


Рисунок 4.1 – Иерархическая структура работ

## 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 24.

Таблица 24 – Матрица SWOT

<b>Сильные стороны</b>	<b>Возможности во внешней среде</b>
С1.Актуальность проводимого исследования С2.Уникальность исследования С3.Обширная сфера применения С4.Освоение продвинутых проектирующих программ	В1.Анализ существующих приборов и разработка новых систем освещения для потребителей В2.Применение диффузного отражателя в новых направлениях В3.Развитие отношений с зарубежными производителями и потребителями и укрепление конкурентности
<b>Слабые стороны</b>	<b>Угрозы внешней среды</b>
Сл1.Большие финансовые, производственные затраты на реализации проекта Сл2.Требует деталей и материалов сложных форм, разрешаемым за счет приобретения у других стран Сл3. Техническая сложность в эксплуатации	У1.Развитие конкуренции в сфере исследований комбинированных светильников с отражателями У2.Продукция мало востребована У3.Слабые стороны проекта может стать преимуществом для конкурентов, обладающих более развитыми технологиями и низкими издержками

Следующий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Результаты анализа SWOT – матрицы проекта представлены в таблице 25.

При анализе сильных сторон проекта можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: В1С1С2С3С4, В2С1С2С3, В3С1С3, также можно выявить следующие корреляции сильных сторон и угроз: У1С1С2.

При анализе слабых сторон можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: В1Сл1Сл2, В2Сл2Сл3 Сл3, также можно выявить следующие корреляции слабых сторон и угроз: У1Сл2, У2Сл3, У3Сл1Сл2Сл3.

Таблица 25 – SWOT-анализ итоговой матрицы

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Актуальность проводимого исследования</li> <li>2. Уникальность исследования</li> <li>3. Обширная сфера применения</li> <li>4. Освоение продвинутых проектирующих программ</li> </ol>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Большие финансовые, производственные затраты на реализации проекта</li> <li>2. Требуется деталей и материалов сложных форм, разрешаемым за счет приобретения у других стран</li> <li>3. Техническая сложность в эксплуатации</li> </ol>
<p><b>Возможности:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ существующих приборов и разработка новых систем освещения для потребителей</li> <li>2. Применение диффузного отражателя в новых направлениях</li> <li>3. Развитие отношений с зарубежными производителями и потребителями и укрепление конкурентности</li> </ol>	<p>Проект реализуется в условиях развитой производственной и научной инфраструктуры, который будет развивать и разработать системы освещения такого рода.</p> <p>Уникальность и неоднородность проекта может дать толчок в развитии отношений другими производителями</p>	<p>Возможность наличия партнерских отношений с зарубежными производителями с целью создания и развития систем освещения подобного типа;</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Развитие конкуренции в сфере исследований комбинированных светильников с отражателями</li> <li>2. Прибор мало востребована</li> <li>3. Слабые стороны проекта может стать преимуществом для конкурентов, обладающих более развитыми технологиями и низкими издержками</li> </ol>	<p>С развитием партнерских отношений с другими производителями, издержки на реализации проекта минимизируются и дает возможность снизить стоимость, увеличить доступность, устранить слабые стороны разработки который повышает конкурентоспособность проекта.</p>	

Таким образом, самой большой угрозой для проекта является мало востребованность 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**

Планирование работ выполняется поэтапно:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

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 26.

Таблица 26 – 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 конструирования 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 “Lighttools”, “Solidworks”	Обзор методических указаний по светотехническому расчету и проектированию деталей в 3д форме.	Магистрант
	5	Определение параметров существующего прожектора в спортивном зале “Победа” (площадь, уровень освещения, мощность и т.д.)	Измерение освещенности с помощью люксметра в спортивном зале “Победа”, измерение площади, выявление мощности световых приборов по модели светильника.	Магистрант
Проектная часть	6	Разработка оптической части светильника	Моделирование и расчет зеркальных, диффузных отражателей в программе “Lighttools”	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 27 – 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 “lighttools”, “solidworks”	12	30.10.17	11.11.17	Магистрант
5	Определение параметров существующего прожектора в спортивном зале “Победа” (площадь, уровень освещения, мощность и т.д.)	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 28 – Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работ	Исполнители	Дни	Продолжительность выполнения работ										
				Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май		
1	Изучение существующих прожекторов	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 прожектора в спортивном зале	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

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 Специальное оборудование для научных работ**

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а

в ряде случаев по договорной цене. Наименование оборудование и его цены указаны в таблице 29.

Таблица 29 – Спецоборудование для научных работ

№ п/п	Наименование	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб
1	ПК	1	45000	45000
2	Люксметр "ТКА-ЛЮКС"	1	13000	13000
3	Цифровой фотоаппарат	1	6500	6500

#### 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:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (8)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

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, рабочих дней.

Таблица 30 – 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 31 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{гс}$ руб.	$Z_{дв}$ руб.	$T_r$ раб.дн.	$Z_{осн}$ 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 [45].

#### 4.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (10)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 32.

#### 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:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (11)$$

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 32.

Таблица 32 – 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:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (11)$$

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. 33.

Таблица 33 – Расчет бюджета затрат НИИ

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
<b>Бюджет затрат НИИ</b>	<b>218210</b>	

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 НТИ

При оценке рисков НТИ 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 34.

Таблица 34 – 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 35 – 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 36 – Научно-технические риски

№	Риски	P <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>	P <sub>i</sub> *w <sub>i</sub>
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 отриц. результата при внедрении в произв.	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 37 – Общая оценка риска проекта

Виды рисков в группе	P <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	P <sub>i</sub> *W <sub>i</sub>
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:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_i, \quad (12)$$

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

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

Таблица 38 – Весовые коэффициенты НТУ

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



Таблица 39 – Шкала оценки новизны

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

Таблица 40 – 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 41 - 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 (освещение закрытых больших площадок). 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:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (13)$$

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 42.

Таблица 42 – 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.

Высокое значение интегрального показателя 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 современном, технологически развитом мире, где изобретаются новые техники и технологий с быстро растущими производствами и значимости в них человека, его социальной значимости важность вопросов сохранности жизнедеятельности сильно увеличивается. В социальной значимости имеется в виду безопасность условий труда.

На этом этапе будут рассматриваться характеристики и свойства экологических и производственных опасностей, исполнение 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 спортивного зала. Разработанный световой прибор будет устанавливаться подвесном виде на потолке спортивной площадки.

Целью раздела является установление недопустимых опасных и неблагоприятных факторов для человека на площадке 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 43 – Вредные и опасные факторы при эксплуатации световых приборов на спортивной площадке

Источник фактора, Наименование видов работ	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Система с 24 осветительным устройством принудительного охлаждения с вентилятором	Повышенный уровень шума	Электрический ток	СП 51.13330.2011 [46] СП 31-112-2004 [3] ГОСТ Р МЭК 61140-2000 [47]
	Показатель дискомфорта		СП 52.13330.2011 [1]
	Пульсация освещенности		СП 52.13330.2011

### 5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов

#### Повышенный уровень шума

Шум — это хаотические колебания разных явлений (частиц воздуха), выделяющийся сложностью временной, спектральной структуры и вызываемым от вибрирующих тел.

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, повергает к нарушению органов слуха, ухудшает выносливость и способен вызвать разного рода болезненные состояния, такие как глухота и тугоухость.

Допустимые уровни звукового давления, эквивалентного уровня звука в спортивных залах приведены в таблице 44.

Таблица 44 – Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки [46]

Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Уровни звукового давления (эквивалентные уровни звукового давления), дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровень звука $L_A$ (эквивалентный уровень звука $L_{A экв}$ ), дБА	Максимальный уровень звука $L_{A макс}$ , дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Спортивный зал	-	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60	

В данном случае источником шума является охлаждающий вентилятор светового прибора. Для охлаждения светового прибора два вентилятора Suson

PMD1238PKB1-A. Уровень шума, создаваемого вентилятором PMD1238PKB1-A, составляет 44 дБ [35] и соответствует требуемым нормам.

### **Показатель дискомфорта**

Показатель дискомфорта является критерием оценки дискомфорта блескости, который вызывает неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения. Максимальное допустимое значение показателя дискомфорта осветительной установки на спортивных залах составляет 21 по СП 52.13330.2011. Если показатель дискомфорта осветительного устройства превышает пороговое значение, то принимаются необходимые меры по снижению значения данного показателя.

Чтобы избежать таких последствий разработанный световой прибор не допускает прямого попадания светящей части в поле зрения, так как луч света направлен на  $45^\circ$  к диффузному отражателю в верхней сфере площадки. Прямой от светильника и отраженный от диффузного отражателя свет не может вызвать дискомфортную блескость, так как диффузно отраженный дает рассеянный свет. Расположения светового прибора представлен в рисунке 5.1.

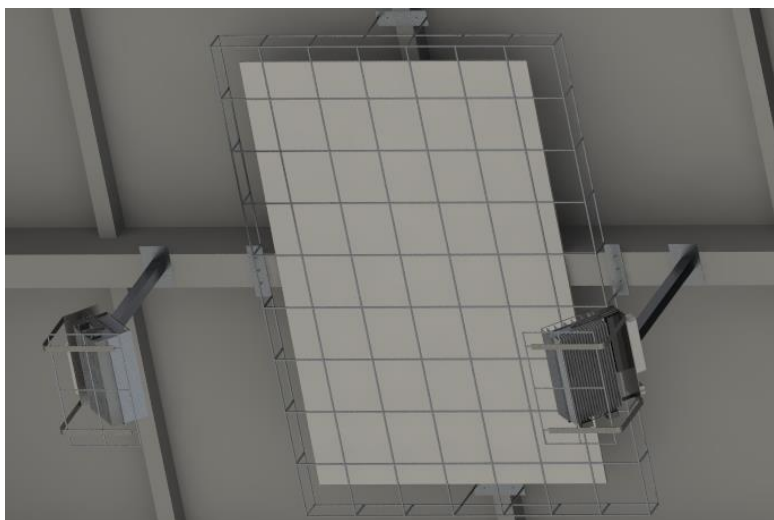


Рисунок 5.1 – Расположение светового прибора и диффузного отражателя

### **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 СП 52.13330.2011. Коэффициент пульсаций общего освещения не должен превышать 20%. Уровень пульсаций освещенности, создаваемой световым прибором со светодиодными источниками света, зависит от качества используемого блока питания. В предлагаемом светильнике будет использоваться высококачественные блоки питания ARPJ-LE1071400 и диммируемый ARJ-DALI-100, который преобразует переменное напряжение электрической сети в постоянный стабилизированный ток.

### **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 [47]. 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.

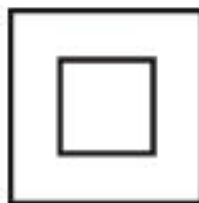


Рисунок 5.2 – Графический знак класса защиты II

Блок питания располагается отдельно, в поверхности кронштейна и имеет входное напряжение от 110 до 240 вольт. Используемый блок питания ARPJ-LE1071400, ARJ-DALI-100 и ARPV-12010-B 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 жабими. Благодаря такой встроенной защите практически полностью исключается риск короткого замыкания.

Зал спортивных игр в отношении опасности поражения людей электрическим током относится к помещениям без повышенной опасности, так как питающее переменное напряжение электрических приборов не превышает 380 В по ПУЭ [53], имеется пыль в малом количестве, относительная влажность в площадке 40% с разрешенным отклонением выше или ниже на пять процентов, температура воздуха в пределе 17-20 °С по СанПиН [30]. В современных залах спортивных игр обязаны быть защитные аппараты, такие как автоматы, которые отключают сеть при появлении токов короткого замыкания.

Игроки обязаны соблюдать правила электрической, пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

Игроки должны знать место нахождения аптечки и уметь оказывать первую доврачебную помощь. О каждом несчастном случае пострадавший или очевидец обязан немедленно сообщить работнику, проводящему занятия в спортивном зале [48].

## **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, а также пластик вентиляторов отправятся на переработку вторсырья. 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. Блоки питания, вышедшие 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» [49]. 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 [50]. Мощность используемого блока питания



составляет 150 Вт [37]. Чтобы не перегрузить блок питания к нему подключается группа светодиодов с общей мощностью 104 Вт.

Есть основные нормативные документы, в которых предъявляются противопожарные требования к конкретному производимому оборудованию. Для светотехнического оборудования таким нормативным документом является НПБ 249-97 [51].

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.

Несущие кронштейны и линейка, несущая вентиляторов, выполнены из легированной стали. Материал применяемого вентилятора – ПВХ пластик, а также зеркальный отражатель сделан из жесткого пластика ПВХ. Блок питания располагается в отдельности, в поверхности кронштейна и находится в удалении не менее 40 мм от ближайшего края ПВХ пластика и вентиляторов. 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 [51].

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.

Спортивный зал обязательно должен быть оснащен первичными средствами пожаротушения. Ручные огнетушители должны размещаться согласно требованиям ГОСТ Р 51017-2009 [52]:

- путем навески на вертикальные конструкции на высоте не более 1,5 м от уровня пола до нижнего торца огнетушителя;
- путем установки в пожарные шкафы совместно с пожарными кранами в специальные тумбы или на пожарные стенды.

Огнетушители должны устанавливаться таким образом, чтобы был виден имеющийся на его корпусе текст инструкции по использованию. Конструкции и внешнее оформление тумб и шкафов для размещения огнетушителей должны позволять визуально определить тип установленных в них огнетушителей.

Огнетушители должны размещаться в легкодоступных местах, где исключено повреждение попаданием на них прямых лучей и атмосферных осадков, непосредственное воздействие отопительных и нагревательных приборов.

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

Световой прибор должен быть установлен к центральной продольной оси от половины потолка.

При эксплуатации должна быть обеспечена защитная мера от попадания мяча к светильнику по своду правил СП 31-112-2004, при освещении с

системой верхнего – бокового света оптическая ось его светильника не должна иметь наклон более  $40^\circ$  от вертикали по ВСН-1-73 [4].

Для обеспечения требований по мере защиты от попадания мяча, для светильника и диффузного отражателя будет использоваться защитные сетки (рисунок 5.3). Для обеспечения требования светильника по углу наклона не более  $40^\circ$  от вертикали, разработанная система освещения не относится к верхнебоковой системе, а к системе прямого и отраженного света, то есть световедущая часть светильника направлен в верх на отражатель с углом поворота  $45^\circ$  и будет обеспечиваться рассеянное свечение без эффектов блескости. Расположения светового прибора представлен в рисунке 5.3.

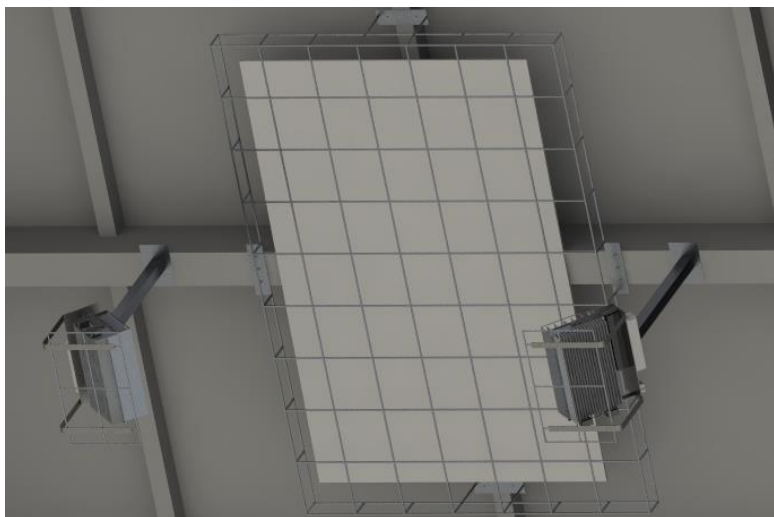


Рисунок 5.3 – Расположение светового прибора и диффузного отражателя

Световой прибор должен быть установлен в подвесном виде с помощью кронштейна на потолок на расстояние 0,7 м, диффузный отражатель устанавливается непосредственно к потолку и крепятся с помощью винтов.

Правила установки и эксплуатации светодиодного светового прибора:

- Монтаж, демонтаж и обслуживание светодиодного светового прибора осуществляется при выключенном питании сети;
- Во время установки и подключения светового прибора руки должны быть сухими;

– При установке светового прибора между корпусом светового прибора и окружающими предметами должно остаться необходимое пространство, которое не препятствует естественной конвекции.

При загрязнении защитного стекла светильника 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 светильника необходимо следить за чистотой поверхностей корпуса и ребер радиатора. Очистка производится сухой или слегка влажной тканью.

## Список использованной литературы

1. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. – Москва: Издательство стандартов, 2011. – 70с.
2. Vivo Luce Luminoso 400 datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vivoluce.ru/sites/all/themes/yango/catalog/catalog.pdf> (дата просмотра) 28.04.2018.
3. СП 31-112-2004. Физкультурно-спортивные залы. Часть 1. – Москва: Издательство стандартов, 2005. – 51с.
4. ВСН-1-73. Ведомственные строительные нормы. – Москва: Издательство стандартов, 1973. – 15с.
5. Светодиодный прожектор: патент РФ № 2531367; заявлен. 14.11.2011; опублик. 20.10.2014, Бюл. №29.
6. Способ изготовления светодиодного светильника и светодиодный светильник: патент РФ № 2608168; заявлен. 23.06.2015; опублик. 17.01.2017, RU2015124723A.
7. Осветительная система, светильник и устройство подсветки: патент РФ № 2480801.
8. Starguard – LED 140W datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://madinlight.com/wp-content/uploads/2014/12/starguard.pdf> (дата просмотра) 28.04.2018.
9. Ахманов, С.А. Физическая оптика: Учебник. 2-е изд. / С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. – М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. – 654 с.
10. Световые отражатели для прожекторов, светильников [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.svetpro.ru/htm/informations/info\\_54.html](http://www.svetpro.ru/htm/informations/info_54.html) (дата просмотра) 28.04.2018.
11. Кана, Р. Фазовые превращения. Металлография 2-й вып: Физическое металловедение / Р. Кана; под. ред. И.И. Новикова. – Москва: Мир, 1968. – 371 с.

12. Зависимость коэффициента отражения алюминия от длины волны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.elektrosteklo.ru/Al\\_rus.htm](http://www.elektrosteklo.ru/Al_rus.htm) (дата просмотра) 29.04.2018.
13. Хромов, С.П. Метеорологический словарь / С.П. Хромов, Л.И. Мамонтова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. – 568 с.
14. Беленький, Е.Ф. Химия и технология пигментов / Е.Ф. Беленький, И.В. Рискин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Ленгосхимиздат, 1949. – 624 с.
15. Scott M. J. Photoelectric sensors and controls: selection and application / M.J. Scott. – CRC Press, 1988. – 29 с.
16. Optimizing PCB Thermal Performance for Cree Xlamp LEDs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.cree.com/led-components/media/documents/XLamp\\_PCB\\_Thermal.pdf](http://www.cree.com/led-components/media/documents/XLamp_PCB_Thermal.pdf) (дата просмотра) 29.04.2018.
17. Охлаждение и регулирование температурных режимов светодиодов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.led-e.ru/articles/led-cooling/2010\\_3\\_13.php](http://www.led-e.ru/articles/led-cooling/2010_3_13.php) (дата просмотра) 29.04.2018.
18. Теплоотводящие печатные платы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.led-e.ru/assets/files/pdf/2012\\_1\\_32.pdf](http://www.led-e.ru/assets/files/pdf/2012_1_32.pdf) (дата просмотра) 29.04.2018.
19. Все о радиаторах для светодиодов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ledno.ru/svetodiody/radiator-dlya-led.html#i-4> (дата просмотра) 29.04.2018.
20. Thermal Management of Cree Xlamp LEDs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampThermalManagement.pdf> (дата просмотра) 29.04.2018.

21. Функций LightTools [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.synopsys.com/optical-solutions/lighttools/feature-details.html> (дата просмотра) 29.04.2018.
22. Гурин, С.Ю. Тепловой расчет светодиодного светильника в программной среде SolidWorks Flow Simulation: метод. Пособие // С.Ю. Гурин; Том. пол. -тех. ун-т. – Томск, 2016. – 28С.
23. Портал машиностроения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mashportal.ru> (дата просмотра) 29.04.2018.
24. SolidWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> (дата просмотра) 29.04.2018.
25. Cree представляет новое семейство XLamp MHD по технологии SC5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://led-displays.ru/story\\_60.html](https://led-displays.ru/story_60.html) (дата просмотра) 29.04.2018.
26. Cree XLamp MHD-E LEDs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cree.com/led-components/media/documents/ds-MHDE.pdf> (дата просмотра) 29.04.2018.
27. Cree XLamp CXA2 Studio LED [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cree.com/led-components/media/documents/ds-CXA2.pdf> (дата просмотра) 29.04.2018.
28. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 21с.
29. Характеристика сплава АД 31 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://metallcheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/alu/AD31](http://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/alu/AD31) (дата просмотра) 29.04.2018.
30. СанПиН 2.4.2.2821-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях. – Москва: Издательство Рид Групп, 2011. – 46с.
31. EBM Papst 414Н лист данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.mouser.com/datasheet/2/120/400-275995.pdf> (дата просмотра) 29.04.2018.

32. EBM Papst 255H лист данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.mouser.com/datasheet/2/120/250-275971.pdf> (дата просмотра) 29.04.2018.
33. SUNON PMD1238PKB2A [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tme.eu/ru/details/pmd1238pkb2a/ventiliatory-dc-12v/sunon> (дата просмотра) 29.04.2018.
34. Профиль АВМ-076 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://virtumech.ru/products/heatsink-profile-avm-076-analogue-lg-av0093-width-172mm> (дата просмотра) 29.04.2018.
35. Вентилятор Sunon PMD1238PKB1-A [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sunon.ru/catalog/ventilyatory-sunon-pmd1238pkb1a/> (дата просмотра) 29.04.2018.
36. ГОСТ 29322-92. Стандартные напряжения. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 7с.
37. Блок питания ARPJ-LE1071400 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arlight.ru/upload/iblock/950/95032f75355cf89f445730bc5a959a01.pdf> (дата просмотра) 29.04.2018.
38. Блок питания ARJ-DALI-100 [Электронный ресурс]. – Режим доступ: <http://arlight-led.ru/catalog/bloki-pitaniya/dimmiruemyie-istochniki-toka/upravlenie-dali/blok-pitaniya-arj-dali-100-100w-900-2100ma-dali-pfc> (дата просмотра) 29.04.2018.
39. Блок питания ARJ-DALI-60 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arlight.ru/upload/iblock/0e7/0e7eab4b6cc4fbbb3112754d7c0c8406.pdf> (дата просмотра) 29.04.2018.
40. Блок питания ARJ-KE361400 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arlight.ru/upload/iblock/d7b/d7b64ccf37431bf139508d92f394e96a.pdf> (дата просмотра) 29.04.2018.



41. Блок питания ARPV-12010-B [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://arlight.ru/upload/iblock/828/828dc108b3b67eaa5dc63e2c17224905.pdf> (дата просмотра) 29.04.2018.

42. ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. – Москва: ИУС Издательство стандартов, 2007. – 75с.

43. ГОСТ 4598-86. Плиты древесноволокнистые. Технические условия (с Изменением N 1). – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 12с.

44. 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.

45. Регламентирующие документы планово-финансового отдела ТПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portal.tpu.ru/departments/otdel/peo/documents/> (Дата просмотра) 29.04.2018.

46. СП 51.13330.2011 Защита от шума: Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1). – Москва: ФАУ ФЦС, 2011. – 40с.

47. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. – Москва: Госстандарт России, 2003. – 32с.

48. Инструкция № ТБу-03. «Инструкция № ТБу-03 по технике безопасности учащихся в спортивном зале».

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

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

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

52. ГОСТ Р 51017-2009. Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний (с Поправкой). – Москва: Стандартинформ, 2009. – 44с.

53. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. 6-е издание. – Москва: ГОСЭНЕРГОНАДЗОР, 2000. – 507с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### **Chapter 1. The review of situations on the development of a lighting device for the illumination of large areas**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ6А	Максымов М.С.		

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			

## Chapter 1. The review of situations on the development of a lighting device for the illumination of large areas

### 1.1 Overview of constructions of lighting devices based on LED

There is a huge amount of lights, searchlights, which can be use in sport halls.

There is a patent [5], based on the LED, in which the main unique achievement is its heat sink.

This invention belongs to a lighting device, which can used for architectural suspension, objects, sports grounds, concert theatrical halls, large areas, airports and railway facilities.

A distinctive feature of this patent is the improved thermal mode of the LED, instant dismantling of the components, the ability to replace the LED module and ease of use.

The projector has LEDs that install with the possibility of thermal connections with the face in one of the frequently placed and equally directed in the medium heat-removing rods and the open-air channel forming lateral surfaces.

Figure 1.1 shows the main components of the light device, these are: 1) heat-conducting radiators; 2) the end face of the thermal rod; 3) lateral surfaces of the thermal rod; 6) powerful LEDs; 8) blowing fan; 9) body; 10) board with attached power supply.

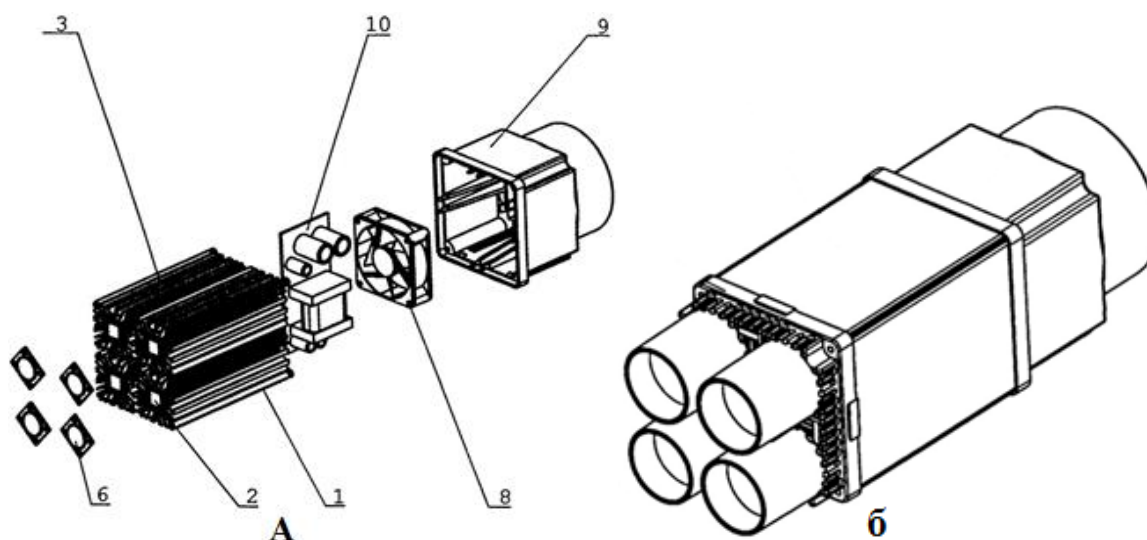


Figure 1.1 – a) Assembly parts; b) Appearance of LED searchlight patent [5]

The thermal conductor rod 1 shown in Figure 1.2 has: an end surface 2 where the LED modules will be installed, the formed side surface 3 realized using the cylindrical parts to the forming part that is located parallel to the axis of the cooling rod. The reinforcing elements 4 formed on the complex lateral part 3. The side of the cooling rod creates airflow channels 5.

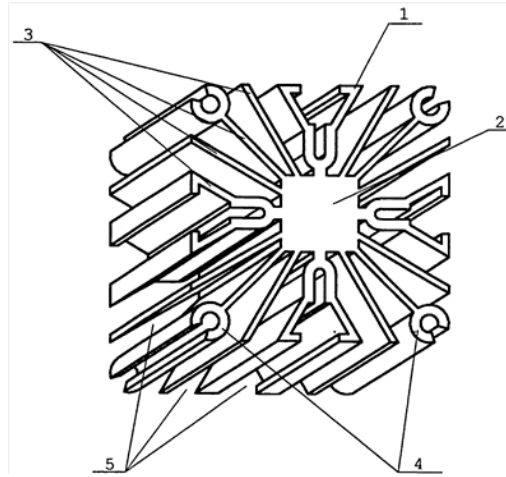


Figure 1.2 – Thermal conductive rod of LED searchlight

It should be noted that the main advantage of the constructions of the invention is a unique effective cooling system, with a heat sink and a fan. The efficiency of this solution is when the LED emits heat, it will dissipate in the rod, and the fan blows the warmed air from the rods and drivers. An insignificant disadvantage of this solution is a rather large weight, created from a metal casing and a dimensional rod.

In the field of general lighting, the patent [6] looks interesting, where unlike the previous invention [5] has wireframe schemes, and due to this, it has a small mass. The technological result of this patent is: facilitating the manufacturing methods, reducing the metal capacity, and also adjusting the heat dissipation performed with the help of sheet metal cutting solutions, the base of the ribbed radiator is created and convection holes are made in its end parts, which allows heat dissipation. All these components will be welded to the surface, and the driver will be installed to the base with a bushing. LEDs by dint of surface mounting will be soldered to the printed circuit board, and the board to the radiator. A cascade frame made from a thin sheet of metal, with protrusions at the end places where it connected to the

bracket and to the holes for the screw joints, which connect the base with the light part and the protective glass. The lateral parts of the bracket have radial grooves, which, due to the locking screw, select the necessary orientation of the light device as a function of the mounting surface. All components connected through a cascade frame, which reduces the metal capacity of the light device. The detailed luminaire design is shown in Figure 1.3, this is: 1) the base of the radiator; 2) lamellas; 3) cascade frame; 4) power supply unit; 5) the bush; 6) brackets; 7) the protruding part; 8) printed circuit board; 9) protective glass; 10) cable entry; 19) silicone sealant.

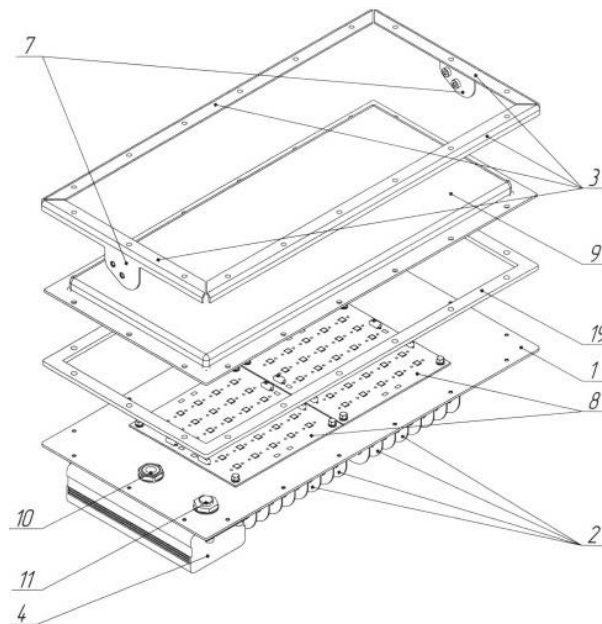


Figure 1.3 – Assembly parts of the LED lighting device

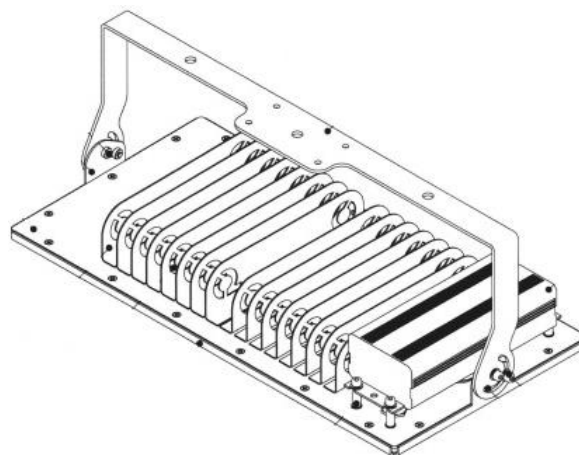


Figure 1.4 – Configuration of the LED lighting device patent [6]

The advantage of the proposed constructions in the inventions [6] is the presence of a cascade frame (scheme), which makes it possible to divide the structural elements of the radiator with the mounting parts, which in turn gives a reduction in metal consumption and weight of the luminaire.

Luminaires with diffuse luminescence have a number of advantages from direct light emitted by a light source, such as uniform lighting.

Structurally, these lamps do not differ from conventional lamps except for the optical part, where matte light-conducting materials are usually used. The patent [7] refers to a lighting device where there is an LED source, a scattering part and a backside with a mirror reflector. The purpose of the patent is to use a lighting system that must have the maximum uniformity. The luminaire of this invention has the distinctive advantage that the introduction of a mirror reflector allows controlling the reflected light from the source to the diffuser. Strictly speaking, the diffuse distribution of the light flux over the diffuser can be obtained by forming a special shape. The scattering element converts the incoming light from the light flux into the anteriorly angular distribution of radiation, similar to the Lambertian distribution of light from the scattering element.

In this solution, the rear mirror reflector is used to generate illumination due to reflected radiation. This method of reflected light reduces gloss, and the invention has a light output opening, allowing reflected light to distribute in rooms. The main disadvantage of this open window is that the angular divergence of the light distributing in the rooms depends entirely on the rear mirror reflector, which has a shape similar to the parabola.

Another distinguishing feature of the patent [7] is the mirror reflectors, namely it is a layer distinguished by the fact that its angle of incidence is equal to the angle of reflections, in variations of  $\pm 5^\circ$ .

Figure 1.5 shows the complete circuit in the section of the light device 17, where the base 22, where the LED 20 is located, has a slope with respect to the scattering component 30. This figure does not show the whole luminaire in order to navigate by the principle of action.

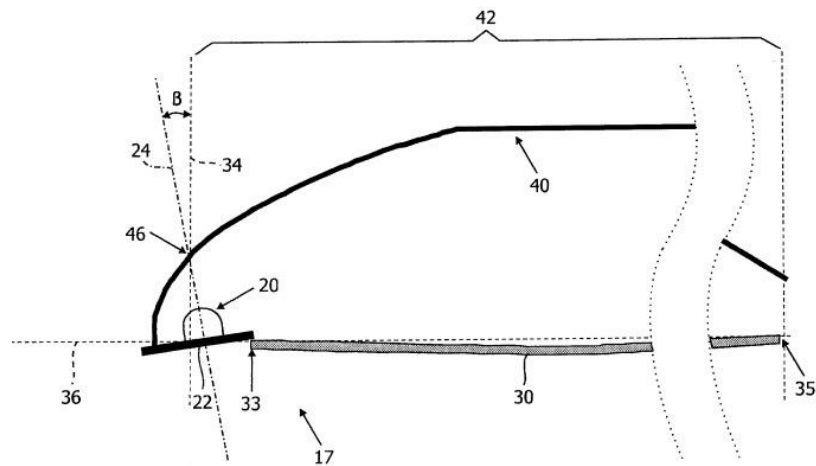


Figure 1.5 – Lighting system with reflected and diffused light

Another example with a mirror reflector is a solution developed from Starguard – LED-140w [8]. The advantage of the device is reflected light, where the light does not shine directly to the receiver. This solution avoids the brilliance of lighting. This design is often used in the upper lighting system for sports halls, etc. Radiators are used here as a heat sink, which also fulfills as a fastening element as shown in Figure 1.6.



Figure 1.6 – Radiator of the lighting device Starguard LED-140w

Table 1 – Characteristics of the Starguard LED 140w lighting device [8]

Power, W	62-140
Colorful temperature, K	4000-5700
Light output, lm/W	98,3
Dimensions (LxWxH), mm	545x400x155
Weight, kg	11,8
Degree of protection	IP65
CLI	half-wide
Angle of inclination from the vertical of the optical part, °	55



Figure 1.7 shows the configuration and schematic drawings of the Starguard LED-140w.

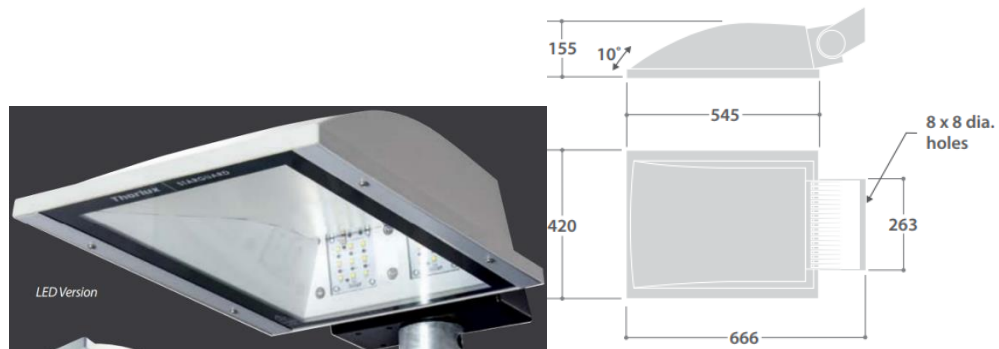


Figure 1.7 – a) Configuration; b) Schematic drawing of lighting device Starguard LED-140w.

It should be borne in mind that the optical axis of the projector [8] has an asymmetric semi-broad CLI and has a slope of  $55^\circ$  from the vertical, this exceeds the permissible standards, which should not exceed  $40^\circ$  from the vertical in VSN-1-73 [4], in the case of lighting applications in the sport halls.

One of the most popular lighting devices in the field of illumination of large areas is the asymmetric metal halide spotlight Vivo Luce Luminoso with a capacity of 250/400 W. Sealing gaskets are made of silicone rubber. Reflector is a mirror, made of anodized aluminum. Inside the case, there is a metal board with ballasts. Body and frame made of die-cast aluminum, powder coated. Drawing charts and appearance presented in Figure 1.8.

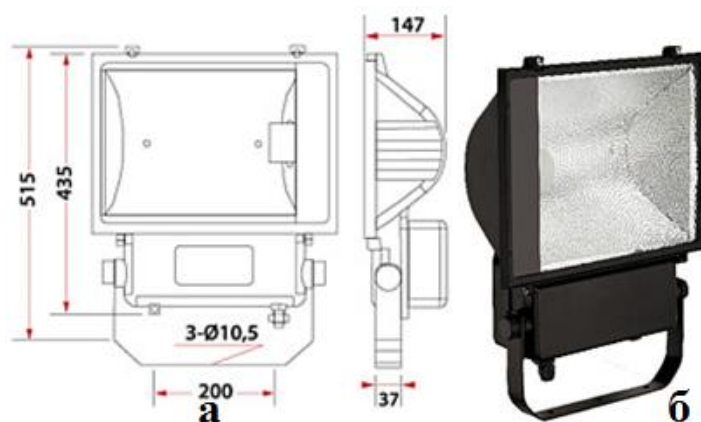


Figure 1.8 – Schematic drawing (a) and configuration of searchlight Vivo Luce Luminoso 400 [2]

The advantage of the lighting device [2] is a protected compact body with securely attached components. The disadvantage can be attributed quite a lot of weight (8 kg) and the glare of the light source, since in the searchlight there are mirror reflectors with transparent glass (in the sports games can adversely affect the player's vision).

## 1.2 Overview of the optical parts of the LED lighting device

The main task of the optical system is the formation of the necessary distributions of light in the medium while maintaining the light flux emanating from the light sources. Most modern fixtures use diffusers and reflectors (Figure 1.9).



Figure 1.9 – Searchlights with reflector (a), with diffuser (b)

The reflector directs light, due to redistribution in the medium by means of multiple reflection. The shape can be of different shapes, which depends on the functions of the fixture (Figure 1.10). Reflectors are specular (directional), diffuse and mixed (directional-diffuse) [9].

The most important parameter of reflector materials is the reflection coefficient and the distribution curve of the reflected light flux in the medium, and there is one more important indicator in the multi-colored reflective materials, this is the spectral distribution of the reflection coefficient. However, in luminaires such reflectors are not generally used.

In directional and diffuse directional reflectors, the materials are mainly processed by different methods, or completely coatings of different metals on a non-metallic basis, mainly of rigid plastics.

Mixed reflective properties have unusual silicate enamels and white shiny materials, such as silicate materials that do not transmit light.

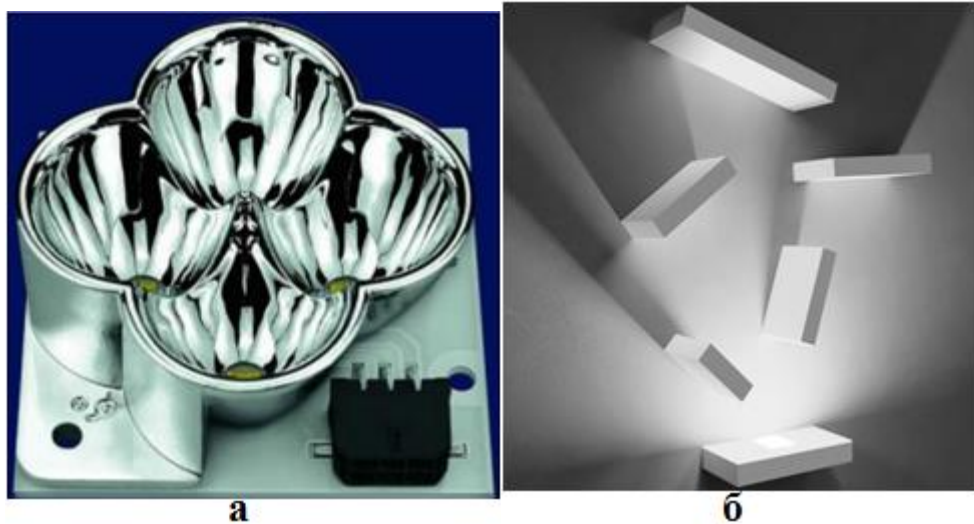


Figure 1.10 – a) Mirror reflection; b) Diffuse reflection

Directional (mirror) reflection. Directional reflection can give the necessary distribution of the light intensity curve, since diffuse reflections are only Lambertian, and in mixed reflections, it is diffuse and directional. The highest coefficient of reflection from metals is silver, whose coefficient is 0.92 (Table 2), but it is almost not applied because of the high price. The most common metal in the reflections is aluminum. Its natural coefficient of reflection in pure form is 0.8, but because of air, it can quickly oxidize.

To date, the coefficient of reflection from sheets of metal with a thin layer of high-purity aluminum is 99.99%, if a protective layer of SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> applied to the surface - 95%. The maximum reflection coefficient of the beam is obtain by replacing high purity aluminum with silver, the reflection coefficient in this case reaches a maximum of 98%.

For protection against oxidation, the application of a silica film onto the aluminum surface and anodizing is applied. Anodization is the treatment of the metal surface with solutions of orthophosphoric acid, chromic anhydride and other elements [10].

Table 2 – Reflection coefficients of various metals [11]

Metal	Reflection coefficient, %
Silver	91,5
Aluminum	73,8
Bismuth	71,7
Zinc	56,0
Iron	55,0
Tin	54,0
Copper	47,7

1) According to Intern. Critical Tables, vol. 5, 1923.  
 2)  $\lambda = 10\ 600\ \text{\AA}$ .

Aluminum has a good reflection coefficient in the ultraviolet region and high reflections in the visible and near infrared spectral range where it shown in Figure 1.11, also aluminum coatings outperforms the silver reflectance values in the UV range of the spectrum [12].

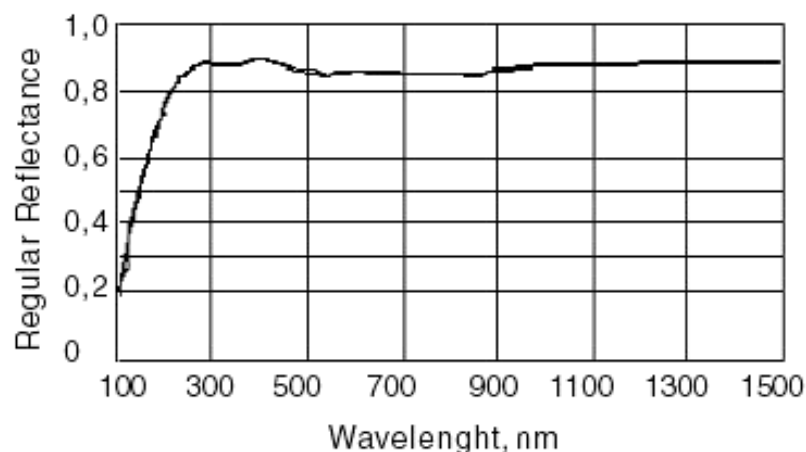


Figure 1.11 – The ratio of the reflection coefficient of aluminum from the wavelength

Diffuse reflection. The surface, the irregularities of which are so great in comparison with the wavelengths of the incident radiation, that the rays reflected by it are sent in many directions; for example, white paper [13]. This is the reflection of the light flux incident on the surface, where its angle of reflection differs from the angle of incidence.

For the production of various materials with diffuse reflection, paints and enamels made of white pigmentation fragments, such as zinc oxide, titanium dioxide,

etc., are used. Enamels cover the surface of reflectors by spraying with compressed air. The coefficient of reflection of qualitative enamels is about 0.85 [14].

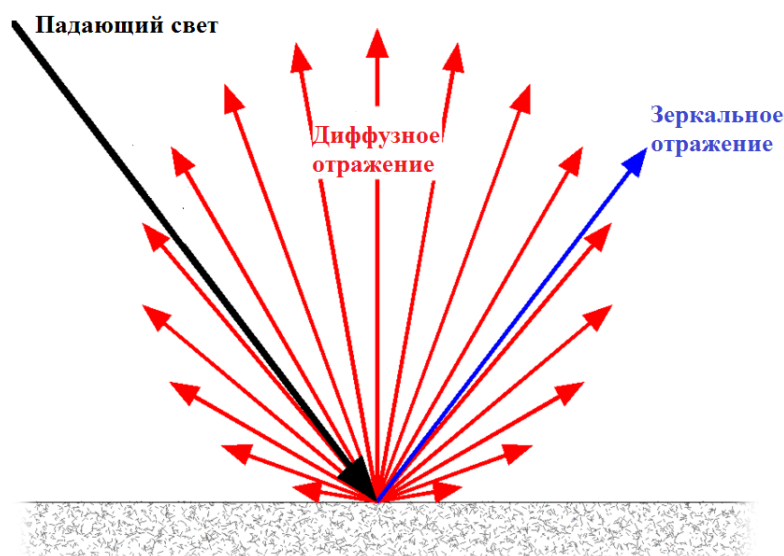


Figure 1.12 – Mirror and diffuse reflection of light [15]

### 1.3 Overview of cooling LED light sources

LEDs are effective modern light source, due to high light output, long service life and environmental cleanliness. The radiation power, luminous flux, durability and efficiency of the LEDs depend very strongly on the temperature in the p-n junction environment. This means that the efficiency drastically reduced with increasing temperature. As in semiconductor devices, the majority (65-80%) converted to heat. Due to this, in comparison with thermal radiators such as incandescent lamps, LEDs require mandatory regulation of temperature states.

You can pay attention (Figure 1.13) that at temperatures below 100 ° C the light flux decreases a little, and if the temperature is 85 ° C, then it is equal to 100%. Modern LED testing is carried out at a temperature of 85 ° C, based on this at a temperature of less than 85 ° C, the graphs show an increase in the light flux. This temperature considered nominal for LED firms, such as CREE.

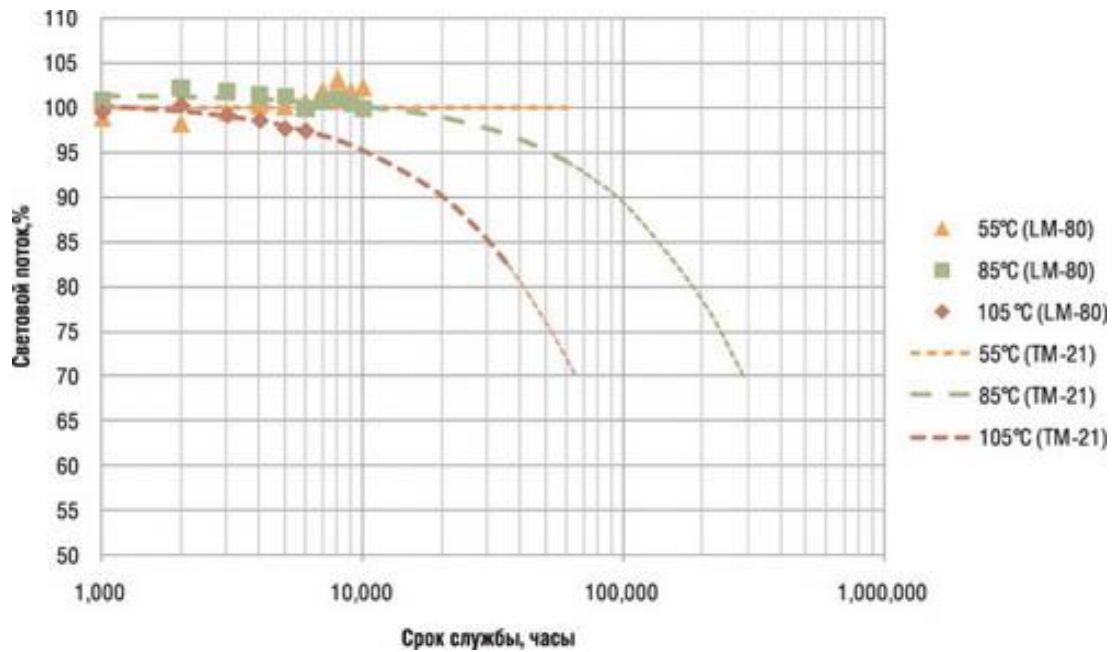


Figure 1.13 – The service life of XPG LEDs, with relation to temperature [16]

The LED has a complex property in relation to the heat sink to the atmosphere. This mechanism can be represent in the form of a sequence diagram, starting from the LED to the environment.

In Figure 1.14, you can see what resistance impedes the heat sink.

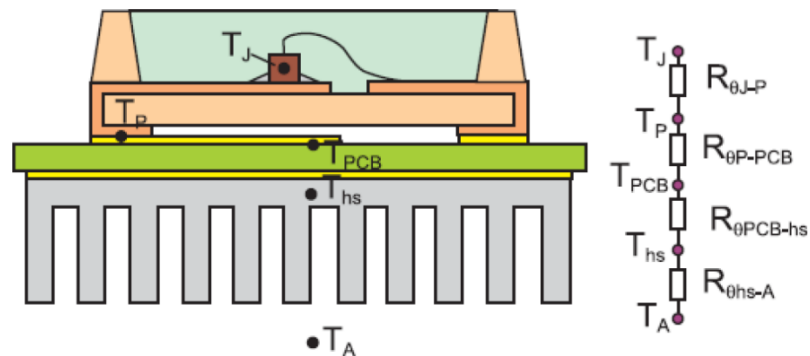


Figure 1.14 – Thermal resistance layout for a single LED

In Figure 1.14, heat is remove by physical contact of the components with the heat source, by means of the thermal resistances of these components: «p-n junction (Temperature  $T_J$ ) – housing», «housing ( $T_P$ ) – printed circuit board», «PCB ( $T_{PCB}$ ) – radiator», «radiator ( $T_{HS}$ ) – air ( $T_A$ ) ». Thermal resistance of the whole heat sink system is determine by this formula:

$$R_{\theta J-A} = R_{\theta J-P} + R_{\theta P-PCB} + R_{\theta PCB-HS} + R_{\theta HS-A} \quad (1)$$

Emerging problems in the LED, associated with exposure to high temperatures. The intrinsic temperature of the crystal, which determines the properties of the light flux, the color of the radiation, and the voltage of the direct displacement of the LED, depends on the temperature of the surrounding medium and it is heating with the passage of an electric current.

The light flux  $\Phi$ , which is a parameter of the temperature, is determine by the following formula:

$$\Phi_V(T_j) = \Phi_V(T_2)e^{-k\Delta T_j}, \quad (2)$$

$$\Phi_V(T_1) = \Phi_V(T_2)e^{-k\Delta T_j},$$

Where  $T_1$  is the light flux at  $T_j$  1;

$T_2$  Is the light flux at  $T_j$  2;

$k$  – Temperature coefficient;

$\Delta T$  – is the temperature difference  $T_j$  ( $T_2 - T_1$ ) [17].

An example of aging from a temperature increase shown in Figure 1.15. The curve shows that when the temperature increases from 25 to 75 ° C, the luminous flux decreases almost twofold.

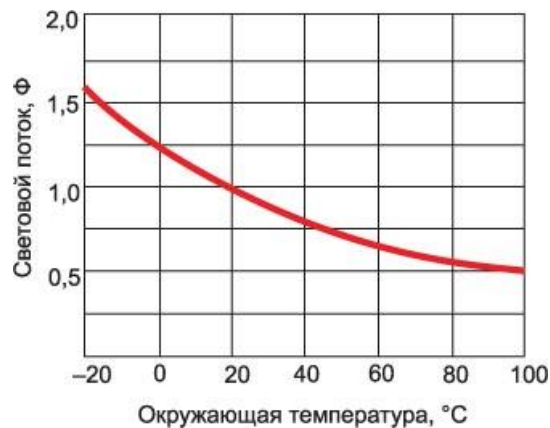


Figure 1.15 – The dependence of the luminous flux from the ambient temperature for a red LED with an unchanged current [17]

The existing heat engineering formulas and experimental research for stabilizing the temperature regimes provided a deeper understanding of the mechanism of the radiation power losses due to the temperature difference:

$$R_{thja} = \frac{\left(\frac{T_j - T_a}{P} = \Delta T_j - T_a\right) - T_a}{P} = \frac{\Delta T_{ja}}{P}, \quad (3)$$

Where  $T_j = \Delta T_j + T$ ;

$R_{thja}$  – Losses due to the temperature difference between the transition and the environment;

$T_j$  – Temperature of p-n junction;

$T_a$  – Ambient temperature;

$P$  – Full power of LED ( $I_f \times V_f$ ).

In practice, the real value of the temperature of the p-n junction is determine by the following formula [17]:

$$T_j = R_{thja} \times P + T_a \quad (4)$$

Overview of heat dissipation on printed-circuit boards. Due to the frequent expansion of the field of operation of high-power LEDs, the problem of heat sink has become even more urgent. Together with the cooling capabilities with the help of radiators, where it installed manually after installing the board, there are also other methods [18]:

Thermoplast: advantage: cheap; disadvantage: it occupies the area of the printed circuit board.

PCB with a thick layer of copper: the thickness of the copper layer: from 105  $\mu\text{m}$ ; thermal conductivity of copper: 400 W / m · K; advantage: high thermal conductivity; disadvantage: the minimum thickness of the conductors.

Metal insulated substrates (IMS). Thermal conductivity describes the ability of a material to conduct heat (energy) and depends on the density of the material, transporting energy. Table 3 shows the figures for the thermal conductivity of materials used in the manufacture of printed circuit boards.

Table 3 – Thermal conductivity of printed circuit board materials [18]

FR4	~0,2
Air	~0,02
Aluminum	~220
Copper	~400
Ceramic	~15-180
Conductive polymers	~3-20



Stainless steel	~16
Water	~0,6
Special prepregs	≥1

Materials with thermal conductivity below 0.8 W / m · K are considered thermal insulators, the printed circuit board consists of various materials.

To describe the quality of thermal conductivity, the thermal resistance value  $R_{th}$  (1) is usually used. This value can be determined based on the thickness of the material layer  $d$ , the contact area  $F$  and the thermal conductivity:

$$R_{th} = d/(\lambda x A), \quad (5)$$

By this principle, the thermal resistance of each board material can be calculated. The impedance of the IMS board is the sum of all individual resistances:

$$R_{th} = R_{thCu} + R_{thPrepreg} + R_{thSubstrat} + \dots \quad (6)$$

From this equation, it can be concluded that the thinner the layer of material with the high thermal conductivity.

Heat dissipation using a board with a metal base. In such printed circuit boards, instead of the base material, a metal base, an aluminum or copper core, is used. To do this, copper foil fixed with the help of a prepreg (prepreg are ready-to-process products for premature impregnation of bonding reinforcing materials with a woven or non-woven structure). This metal base is an integral part of the board. Figure 1.16 shows examples of printed circuit boards [18].

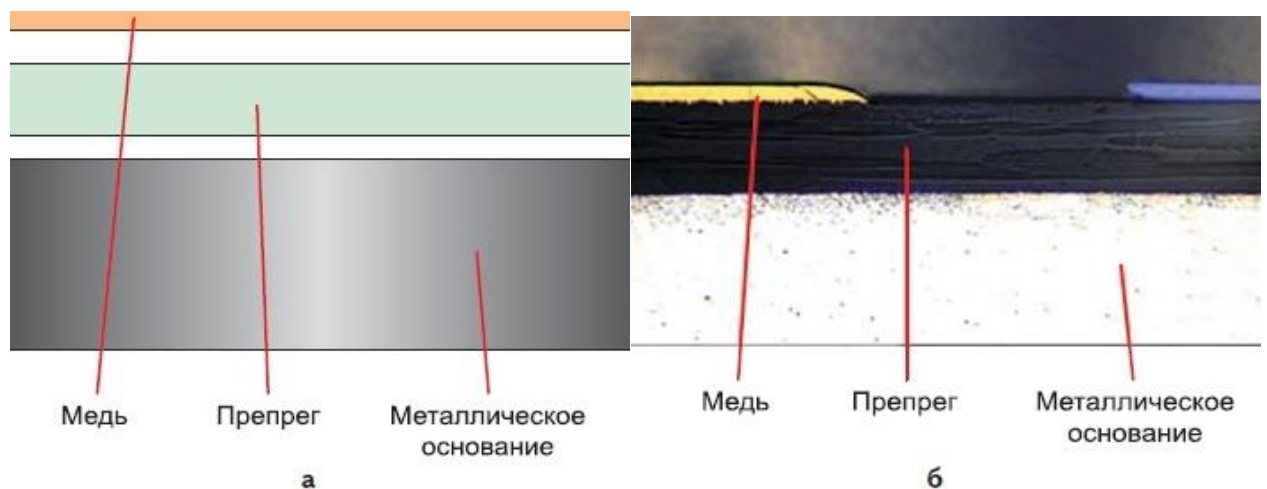


Figure 1.16 – Printed circuit board IMS:

a) Single-sided board design; b) Thin section

Heat sink through a metal substrate. With heat removal through a metal substrate, printed circuit boards developed in the usual way, after which they fixed to the substrate using prepregs. Therefore, a metal-based substrate is the main part of the board (Figure 1.17).

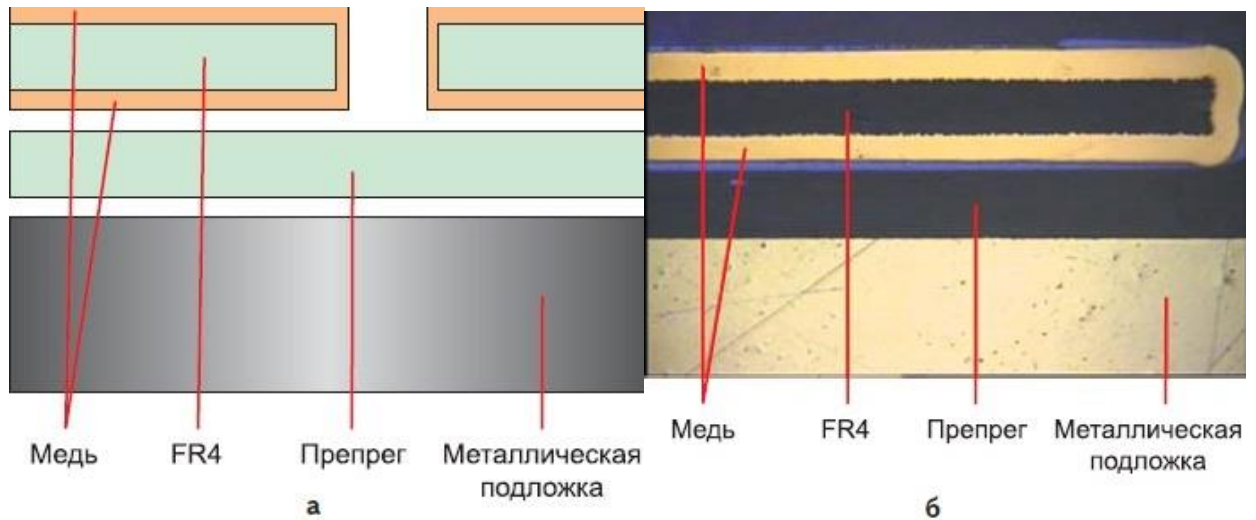


Figure 1.17 – Printed circuit board with metal substrate: a) Construction; b) Thin section relation graph of heat resistance of the radiator on its dimensions

The structure of the board shown in Figure 1.17 consists of FR4 (fiberglass) coated with copper, which is connected with a metal substrate with a prepreg.

The rules for designing a board with a metal substrate shown in Table 1.17 and in Figure 1.18.

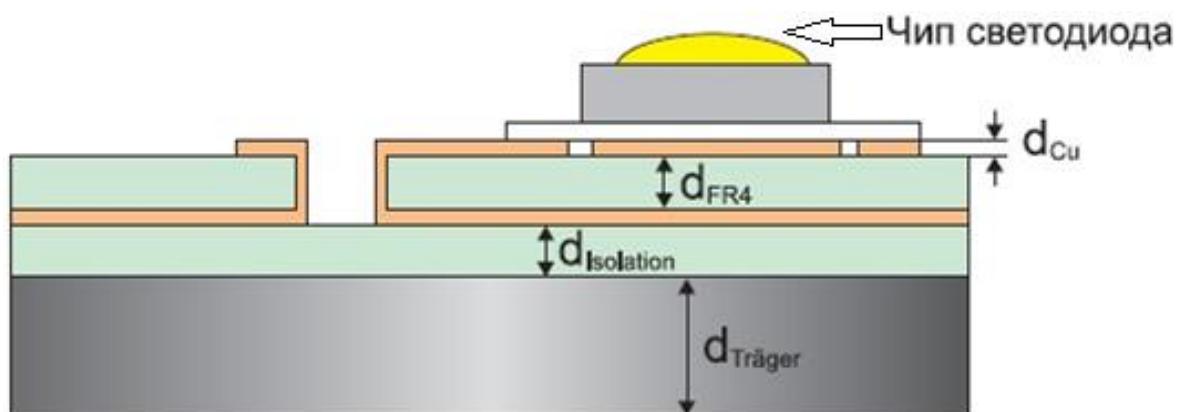


Figure 1.18 - The layout design of the board with a metal substrate [18]

Table 4 – Parameters for designing boards with a metal substrate [18]

Thickness of MS, mm	$d_{Träger}=0,5-2$
Thickness of copper foil, $\mu\text{m}$	$D_{Cu}=35-105$

Thickness of copper foil, mm	$D_{\text{Isolation}} \sim 0,06-0,15$
Thickness of PCB, mm	$d_{\text{FR4}}$ as thin as possible (0,1-0,3)
The minimum diameter of the hole in the metal substrate, mm*	$d_{\text{min}} \geq 1$
Minimal milling cutter, mm*	$d_f \geq 1,6$
Solder mask color	Without limitation
Finishing coatings	Without limitation

Radiators. When assembling a LED light fixture, it is important to choose a design and install a system for its heat sink - these are radiators for LEDs. If the thermal mode for the operation of the LED is incorrect, it will subsequently lead to its overheating and failure.

For cooling, radiators used, through which heat is transferred to the atmosphere in two ways. The first method is passive cooling, where one part of the thermal infrared waves emitted into the atmosphere, and the second due to convection of warm air escapes from the radiator (Figure 1.19). The minus of passive cooling is the large size, weight and cost of the installing heat conductor.

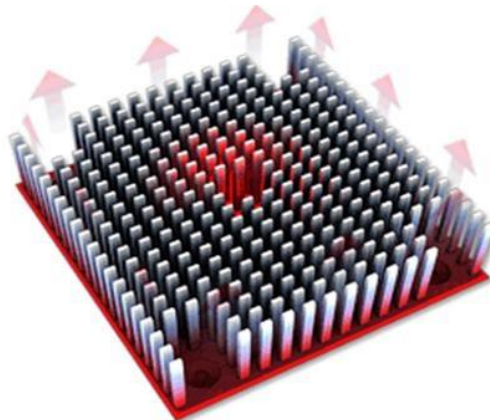


Figure 1.19 – Passive method of thermal convection [19]

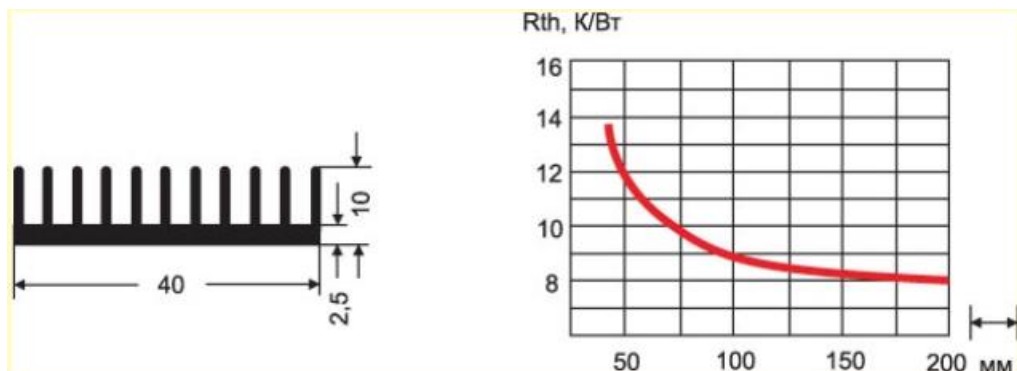


Figure 1.20 – Relation graph of heat resistance of the radiator on its dimensions [17]

Figure 1.20 shows that with the increase in the shape, size and number of fins of the radiator, its thermal resistance reduced.

Turbulent convection refers to the active method of cooling. To remove heat from powerful LED devices, a crystal mounted on the substrate is fix to the radiator, and mechanical devices and coolers that create active air currents are introduce into the system (Figure 1.21). For example, installed fans forcedly blow a light source with a power of 20 watts in the headlights of cars. This method is much more productive, but it is only use when there is good weather and there is not a lot of dusty premises.



Figure 1.21 – Fans for active cooling [19]

The usefulness of the heat sink can be increased using forced ventilation. The fan on the radiator, from the mode of use, it is possible to increase the cooling by 40%. For the selection of the required cooling device in the forced ventilation scheme, it recommended that the graphs show the dependence of the thermal resistance on the airflow velocity (Figure 1.22).

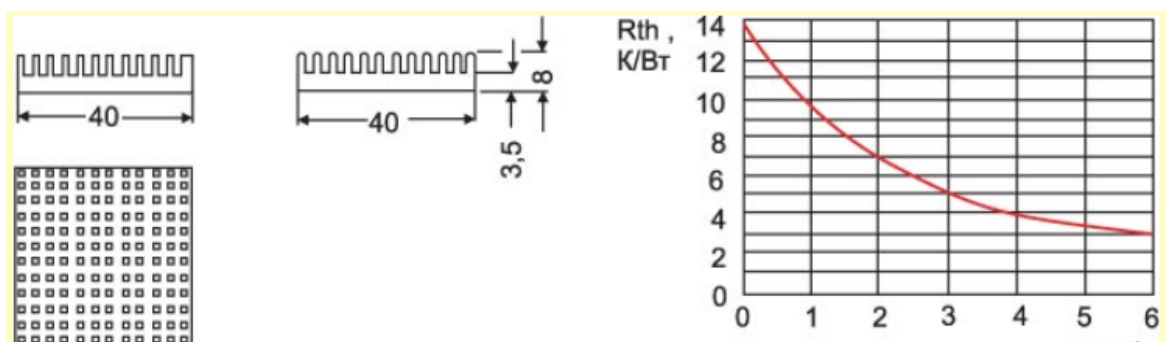


Figure 1.22 – Relation graph of heat resistance of the radiator on its air flow [17]

Table 5 – Active cooling types [20]

Type	Dissipated thermal power, W	Description
Cooler	<170	It mounted directly on the radiator. Need extra food.
Heat pipes	<140	Heat pipes do not dissipate heat, they transfer it to another place, so the radiator is still necessary.
Liquid cooling	<200	Designed to divert large amounts of heat, expensive solution, about 10 times more expensive than heat pipes.
Peltier Modules	<80	Ineffective, limited cooling, high cost. Need extra food.
Jet Cooling	<80	It is comparable with the cooler, but it works more quietly and has high reliability. A special design of the radiator is required.
SynJet cooling systems	<240	Smaller dimensions compared to conventional radiators. Quiet compared to coolers. Long service life. The disadvantages include the need for a separate power source.

Materials for radiators. Most often for cooling, radiators 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 ( $400 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$ ), but its main disadvantage is its heavy weight and low compliance of the metal, for details on the thermal conductivity of metals, see Table 3. There is also a variant with cooling of ceramic substrates. To its current-carrying routes, light sources soldered, which makes it possible to increase its thermal conductivity.

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
(чертежи светового прибора)