

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки: 54.04.01 “Дизайн”  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Разработка противотуманного стационарного светильника для автомагистралей</b>

УДК 004.925.84:628.94:625.7

#### Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ91	Волков Игорь Алексеевич		

#### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта М.С.	д.ф.н., профессор		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко О.Ю.	д.м.н., профессор		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта М.С.	д.ф.н., профессор		

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
54.04.01 «ДИЗАЙН»**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий;
<b>УК(У)-2</b>	Управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;
<b>УК(У)-3</b>	Организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели;
<b>УК(У)-4</b>	Применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия;
<b>УК(У)-5</b>	Анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия;
<b>УК(У)-6</b>	Определять и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки.
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень;
<b>ОПК(У)-2</b>	Самостоятельно обучаться новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности;
<b>ОПК(У)-3</b>	Использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ;
<b>ОПК(У)-4</b>	Вести научную и профессиональную дискуссию;
<b>ОПК(У)-5</b>	Проявлять творческую инициативу, брать на себя всю полноту профессиональной ответственности;
<b>ОПК(У)-6</b>	Самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, непосредственно не связанных со сферой деятельности;
<b>ОПК(У)-7</b>	Эксплуатировать современное оборудование и приборы (в соответствии с направленностью (профилем) программы);
<b>ОПК(У)-8</b>	Следить за предотвращением экологических нарушений;
<b>ОПК(У)-9</b>	Демонстрировать способность социального взаимодействия, самоорганизации и самоуправления системно-деятельностного характера, к активному общению в творческой, научной, производственной и художественной жизни;
<b>ОПК(У)-10</b>	Участвовать в творческих мероприятиях (художественных выставках, дизайнерских конкурсах).
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-5</b>	Синтезировать набор возможных решений задач или подходов к выполнению проекта, обосновывать свои предложения, составлять подробную спецификацию требований к проекту и реализовывать проектную идею, основанную на концептуальном, творческом подходе, на практике;
<b>ПК(У)-1</b>	Демонстрировать навыки научно-исследовательской деятельности (планирование научного исследования, сбор информации и ее обработки, фиксирования и обобщения полученных результатов), представлять итоги проделанной работы в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с имеющимися требованиями, с привлечением современных художественных средств редактирования и печати, а также владеть опытом публичных выступлений с научными докладами и сообщениями;
<b>ПК(У)-2</b>	Определять цели, отбирать содержания, организовывать образовательную деятельность, выбирать образовательные технологии, оценивать результаты, ориентироваться на разработку и внедрение инновационных форм обучения с помощью компьютерной техники, создавать авторские программы и курсы.

ДПК(У)-1	Демонстрировать наличие комплекса информационно-технологических знаний для оценки технологичности проектно-конструкторских решений, проведения опытно-конструкторских работ и продвижения творческого продукта на рынке товаров и услуг;
ДПК(У)-2	Трансформировать творческие идеи, результаты научных исследований и внедрять их в практику за счет организации работы творческого коллектива при определении оптимальных решений производственного процесса в условиях обеспечения безопасности труда.
ДПК(У)-3	Демонстрировать системное понимание художественно-творческих задач проекта, владеть навыками линейно-конструктивного построения и основами академической живописи и скульптуры для проявления своей творческой индивидуальности.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки (специальность): 54.04.01 “Дизайн”  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники

**УТВЕРЖДАЮ:**  
 Руководитель ООП  
 Кухта М.С.  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

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

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
8ДМ91	Волкову Игорю Алексеевичу

Тема работы:

Разработка противотуманного стационарного светильника для автомагистралей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	15.02.2021, №46-22/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2021
------------------------------------------	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<p><b>Объект исследования:</b> противотуманный магистральный светильник.</p> <p><b>Предмет исследования:</b> дизайн противотуманного магистрального светильника, позволяющий использовать светильник в сибирских регионах.</p> <p><b>Цель работы:</b> разработать светильник для освещения автомобильных дорог, эффективный в экстремальных погодных условиях и способный заменить</p>
---------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	традиционную систему освещения в холодных регионах России.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<p><b>Аналитический обзор по литературным источникам:</b> обзор научной литературы по магистральным светильникам, их использовании в условиях тумана и смога, проведение патентного поиска и анализа аналогов.</p> <p><b>Основная задача проектирования:</b> создание и визуализация концепта дизайна противотуманного светильника.</p> <p><b>Содержание процедуры проектирования:</b> анализ пользовательских требований, разработка и отбор концептов, визуализация концепта и художественная подача, разработка технической документации.</p>
<b>Перечень графического материала</b>	Два демонстрационных планшета формата А0; презентация; видеоролик.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В., доцент ОСГН ШБИП, к.ф.н.
Социальная ответственность	Федоренко О.Ю., профессор ООД ШБИП, д.м.н.
Раздел на иностранном языке	Бекишева Т.Г., ст. преподаватель ОИЯ ШБИП, к.ф.н.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

Введение; аналитический обзор; патентный поиск и анализ аналогов; разработка концептуальной модели; разработка дизайна светильника; заключение

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.03.2021
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта М.С.	д.ф.н., профессор		01.03.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ91	Волков Игорь Алексеевич		01.03.2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки (специальность): 54.04.01 “Дизайн”

Уровень образования: магистратура

Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения: весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2021
------------------------------------------	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
09.11.20	Утверждение плана-графика, формулировка и уточнение темы, проведение патентного поиска и выявление аналогов.	5
02.12.20	Формулировка научной проблемы. Научно-исследовательская часть – первый и второй раздел ВКР	20
25.03.21	Проектно-художественная часть – третий раздел ВКР	15
09.11.20	Раздел “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение”	10
11.05.21	Раздел на иностранном языке	10
14.05.21	Раздел “Социальная ответственность”	10
03.06.21	Оформление графического материала	20
10.06.21	Нормоконтроль текста	10
<b>ИТОГО</b>		<b>100</b>

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта М.С.	д.ф.н., профессор		01.03.2021

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта М.С.	д.ф.н., профессор		01.03.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ДМ91	Волков Игорь Алексеевич

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	54.04.01 “Дизайн”

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материальные затраты - 3737 руб. Затраты на заработную плату с учетом отчислений – 42265,77 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Разработка имеет много сильных сторон в сравнении с конкурентами, которые отражены в SWOT-анализе. Слабые стороны не создают значительных препятствий успешности проекта.
2. Разработка устава научно-технического проекта	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Бюджет проекта – 234279,47 руб.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Наиболее эффективное исполнение – исполнение 1 с интегральным показателем эффективности, равным 5,97.

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
------------------------------------------------------	------------

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.э.н.		01.03.2021

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ91	Волков И.А.		01.03.2021

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ДМ91	Волков Игорь Алексеевич

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОАР</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	54.04.01 “Дизайн”

Тема ВКР:

<b>Разработка противотуманного стационарного светильника для автомагистралей</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Объект исследования:</i> противотуманный стационарный магистральный светильник. <i>Область применения:</i> осветительные приборы.</p> <p>Характеристики помещения: назначение – офисное помещение, площадь – 35 м<sup>2</sup>, отопление – водяное, температура помещения – 26,6 градусов по Цельсию, вентиляция – общеобменная естественная организованная (канальная с помощью воздуховодов), освещение – светодиодными лампами дневного света естественное боковое в светлое время суток, искусственное комбинированное в темное время суток, оборудование – оргтехника.</p> <p>Рабочее место – стол с ПЭВМ (ноутбуком). Высота стола 78 см. Расстояние от глаз до монитора – 60 см. На рабочем столе располагаются мышь, клавиатура и кронштейн для ноутбука. Работа выполняется сидя на стуле со спинкой, высота стула – 42 см.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.0.003-2015 “Опасные и вредные производственные факторы. Классификация”</li> <li>– СанПиН 2.2.4.548-96 “Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений”</li> <li>– СП 52.13330.2016 “Естественное и искусственное освещение.”</li> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)</li> <li>– СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– СН 2.2.4/2.1.8.562-96. “Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки”</li> <li>– ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. “Шум. Общие требования безопасности”</li> <li>– ГОСТ 12.1.003-83 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности”</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> <li>– ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования</li> <li>– ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.</li> <li>– ГОСТ Р ИСО 9241-4-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 4. Требования к клавиатуре</li> <li>– ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 5. Требования к расположению рабочей станции и осанке оператора.</li> <li>– ГОСТ 12.1.038-82 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов”</li> <li>– ГОСТ 12.1.030-81 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление”</li> <li>– ГОСТ 26522-85 “Короткие замыкания в электроустановках”</li> <li>– ГОСТ 12.1.004-91 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования”</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b>  2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов  2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Отсутствие или недостаток необходимого освещения;</li> <li>– Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей среды;</li> <li>– Повышенный уровень шума;</li> <li>– Психофизиологические факторы (монотонность труда, нервно-психические перегрузки, перенапряжение зрительных анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой).</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Статические перегрузки, связанные с рабочей позой.</li> <li>Опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Вероятность поражения электрическим током.</li> <li>– Короткое замыкание;</li> <li>– Статическое электричество.</li> </ul> </li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<p>Литосфера:</p> <p>Загрязнение при утилизации: компьютера и периферийных устройств (принтеры, МФУ, веб-камеры, наушники, колонки, телефоны), материалов и химических веществ, используемых в макетировании, макулатуры.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<p><b>Возможные ЧС:</b> пожар, задымление среды в результате лесных пожаров, возгорания, техногенные катастрофы, грозы, ураганы, оползни.</p> <p><b>Наиболее типичные ЧС:</b> пожар</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.03.2021
-------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко Ольга Юрьевна	д.м.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ91	Волков Игорь Алексеевич		01.03.2021

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 167 страниц, 27 рисунков, 29 таблиц, 63 источника, 8 приложений.

Ключевые слова: магистральное освещение, магистральный светильник, светотехника, освещение в тумане, освещение дорог в Сибири.

Объектом исследования является противотуманный стационарный магистральный светильник.

Цель работы – разработать светильник для освещения автомобильных дорог, эффективный в экстремальных погодных условиях и способный заменить традиционную систему освещения в холодных регионах России.

В процессе исследования проводились: обзор научной литературы по магистральным светильникам, их использованию в условиях тумана и смога, проведение патентного поиска и анализ аналогов, анализ пользовательских требований, разработка и отбор концептов, визуализация концепта и художественная подача, разработка технической документации.

В результате исследования был разработан дизайн стационарного противотуманного светильника для автомагистралей.

Область применения: магистральное освещение, освещение городских дорог.

Экономическая эффективность/значимость работы: внедрение данной разработки поможет сократить расходы на ремонт и эксплуатацию магистрального освещения, а также снизить частоту дорожно-транспортных происшествий.

В будущем планируется разработка макета и его тестирование в реальных условиях.

## Содержание

Введение .....	16
1 Аналитический обзор.....	19
1.1 Историко-культурный анализ.....	19
1.2 Инженерно-конструкторское обеспечение .....	25
1.3 Формообразование и композиция светильника .....	35
1.4 Условия использования светильников и нормируемые параметры .....	42
1.5 Исследование проблемы освещения в тумане .....	46
2 патентный поиск и анализ аналогов.....	53
2.1 Многомерная система дорожного освещения.....	53
2.2 Лампа низкого позиционирования с острым углом падения света .....	59
2.3 Светильник “Orus” .....	61
2.4 Светильник с параболическим отражателем .....	64
2.5 Антибликовый дорожный светильник встроенного типа.....	65
3 разработка концептуальной модели .....	68
3.1 Описание методологии проектирования .....	68
3.2 Разбор пользовательских требований и спецификаций.....	71
3.3 Генерация концепта .....	75
4 Разработка дизайна светильника .....	86
4.1 Эскизное проектирование .....	86
4.2 Техническое обеспечение конструкции .....	89
4.3 Разработка дизайн-решения.....	92
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	97
5.1 Технология QuaD .....	98
5.2 SWOT-анализ .....	103
5.3 Структура работ в рамках научного исследования .....	107
5.4 Определение трудоемкости выполнения работ .....	109

5.5	Разработка графика проведения научного исследования .....	110
5.6	Расчет материальных затрат НТИ .....	113
5.6.1	Затраты на сырье, материалы и покупные изделия .....	114
5.6.2	Основная заработная плата исполнителей темы.....	115
5.6.3	Дополнительная заработная плата .....	116
5.6.4	Отчисления во внебюджетные фонды .....	117
5.6.5	Накладные расходы .....	118
5.7	Определение эффективности исследования.....	118
5.7.1	Финансовая эффективность проекта.....	119
5.7.2	Ресурсоэффективность проекта.....	120
5.7.3	Интегральная эффективность разработки .....	121
5.8	Выводы по разделу .....	123
6	Социальная ответственность.....	124
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	124
6.2	Производственная безопасность .....	127
6.2.1	Отсутствие или недостаток необходимого освещения .....	128
6.2.2	Отклонение параметров микроклимата .....	132
6.2.3	Повышенный уровень шума .....	132
6.2.4	Психофизиологические факторы .....	133
6.2.5	Статические перегрузки, связанные с рабочей позой .....	134
6.2.6	Электрический ток .....	135
6.3	Экологическая безопасность .....	135
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	136
6.5	Заключение по разделу.....	138
	Заключение.....	139
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141
	Приложение А.....	148
	Приложение Б .....	161

Приложение В.....	162
Приложение Г.....	163
Приложение Д.....	164
Приложение Е.....	165
Приложение Ж.....	166
Приложение З.....	167

## **ВВЕДЕНИЕ**

Современное дорожное освещение имеет ряд проблем, которые невозможно решить, используя традиционные схемы освещения. Низкая эффективность в условиях тумана, возникновение бликов от фонарей, световое загрязнение окружающих районов и высокие энергозатраты делают текущую систему освещения неэффективной. Улучшение освещенности на автомагистралях, особенно в экстремальных условиях, позволит увеличить пропускную способность дорог, снизить вероятность ДТП и усталость водителей.

Низкая видимость сказывается на безопасности вождения, так как водитель не успевает среагировать на появление препятствий на дороге. Туман усугубляет ситуацию, снижая видимость в ночное время суток. Это обусловлено рассеиванием и отражением света, слепящим действием фонарей, низкой дальностью освещения в тумане, снижением контраста между фоном и препятствием как при использовании автомобильных фар, так и при стационарном освещении. Все это в совокупности создает опасные условия, которые могут привести к ДТП.

Множество экспериментов показывают низкую эффективность освещения, используемого на наших дорогах, в условиях тумана. Осветительные столбы на автомагистралях не способны обеспечить достаточную видимость в тумане, а противотуманные фары не решают в полной мере проблему низкой дальности видимости.

Кроме низкой эффективности в условиях тумана имеются и другие проблемы традиционного освещения:

- слепящее действие в нормальных погодных условиях;
- неэффективное распределение световой энергии при установке фонарей на высоком уровне от дороги;
- неравномерность освещения дороги;
- недостаточное вертикальное освещение;

- перекрытие фонарей другими объектами;
- невозможность установки фонарей на некоторых участках, например, вблизи аэропортов и на мостах;
- световое загрязнение городов;
- сложность и стоимость установки и обслуживания.

Эти недостатки можно исправить, но для этого потребуется внедрение альтернативной системы, основанной на низкоуровневом расположении источников света. Предложенный осветительный прибор должен полностью заменить существующую систему освещения, так как добавление отдельного компонента лишь увеличит энергозатраты и не исправит другие проблемы стандартной системы освещения.

Существует множество разработок, затрагивающих данный вопрос, среди которых - лишь один коммерчески успешный продукт. Все разработки реализуют концепцию низкоуровневого освещения с целью решить обозначенные выше недостатки традиционного освещения. Однако ни одна разработка не подходит для использования в условиях Сибири, где наблюдается крайне низкая температура и большое количество снега. Проблема освещения в экстремальных погодных условиях как нигде актуальна в этих регионах, так как при низкой температуре образование тумана от промышленных выбросов и дыма печного отопления частных секторов города возникает наиболее часто. Исходя из этого, появляется необходимость создания новой разработки, способной стать полноценной заменой стандартному освещению для холодных регионов России.

**Актуальность разработки:** текущая система освещения, основанная на высокоуровневом расположении ламп, имеет ряд недостатков, в следствие чего она неэффективна в тумане и в нормальных условиях в ночное время суток. Система низкоуровневого освещения может решить многие проблемы освещения автомобильных дорог включая низкую энергоэффективность, недостаточную освещенность дороги и препятствий в условиях тумана и ряд

других проблем. Это позволит повысить безопасность передвижения по дорогам в условиях пониженной видимости и снизить вероятность ДТП.

**Научная новизна:** на данный момент существуют разработки системы освещения дорог, основанные на низкоуровневом расположении светильников, однако, представленные варианты имеют множество недостатков, которые делают их неактуальными для использования в климатических условиях холодных регионов России. Основные недостатки: отсутствие защиты от механических повреждений и антивандальной защиты, плохая равномерность освещения, низкая освещенность дороги и препятствий, низкая дальность освещения в тумане, невозможность использования в зимних условиях. В регионах с холодным климатом может возникнуть риск выхода из строя светильников в результате работы снегоуборочной техники или снежных заносов. Разрабатываемый светильник станет устойчивой и эффективной заменой фонарям благодаря внедрению средств защиты от механических повреждений и дизайн-решению, повышающему равномерность и эргономичность освещения.

**Цель работы:** разработать светильник для освещения автомобильных дорог, эффективный в экстремальных погодных условиях и способный заменить традиционную систему освещения в холодных регионах России.

**Задачи:**

- провести обзор литературы и патентный поиск;
- выявить достоинства и недостатки существующих разработок;
- разработать концептуальное решение;
- разработать дизайн светильника, представить визуализацию наиболее перспективного концепта и обосновать выбранное решение.

# 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

## 1.1 Историко-культурный анализ

Потребность в уличном освещении появилась с момента зарождения цивилизации. Известно, что еще в Древнем Риме обеспеченные жители использовали масляные лампы, которые размещались напротив входа в жилище. Следить за лампами назначалось рабам “лантернариусам”, которые отвечали также за их зажигание и тушение. В Древней Греции для освещения улицы существовали специальные люди, которые при наступлении ночи с лампами и факелами в руках провожали народ в нужное место. Освещение в античность и средние века служило средством обеспечения безопасности, однако нередко были случаи разбоя со стороны самих сопровождающих – в ночное время появляться на темных улицах все равно было опасно [1]. Экземпляр используемой в средневековье лампы, используемой для освещения, показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Римская масляная лампа

Первая попытка организовать централизованное освещение была предпринята мэром Лондона в 1417 году, сером генри Бартоном. Закон, вышедший в то время, гласил, что все дома должны были быть освещены в ночное время суток в зимнее время. Аналогичная попытка была сделана в 16 веке парижским парламентом, указом которого, в зимний период, на первом

этаже каждого дома должен был висеть фонарь, чтобы обеспечивать улицу достаточным освещением. Так появилось пространственное освещение на улицах, которое обезопасило перемещение ночью [1].

Следующий век принес более конкретизированный вариант освещения: фонари были наконец стандартизированы и развешены на специальных кабелях. Эта система освещения получила широкое распространение, например, ко второй половине 18 века количество фонарей на улицах Парижа достигло 8000. Светильники висели по центру улицы или крепились на скобах там, где повесить их было невозможно. Были созданы расписания освещения в зависимости от времени рассвета, заката и лунных фаз. До этой поры в уличных фонарях крупных европейских городов в основном использовались свечи, однако, распространение публичного освещения привело к его усовершенствованию. Была придумана конструкция масляного фонаря для уличного освещения, системы отражателей и более эффективные виды топлива, такие как рапсовое масло и керосин. Однако сильный запах от горения топлива, проблема большого расхода ресурсов и ненадежность таких ламп принесли потребность в инновациях [2]. На рисунке 2 показан уличный фонарь со свечей и керосиновые лампы.

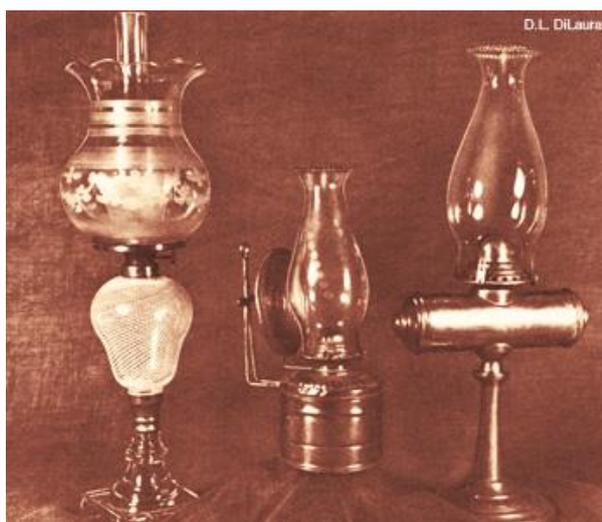


Рисунок 2 – Викторианский светильник со свечой и керосиновая лампа

Следующим этапом развитие было внедрение газовой лампы, изобретенной Вильямом Мурдочем в 1792 году. Это событие было ознаменовано демонстрацией новых светильников перед заводом SoHo Foundry в Лондоне. Газ добывался путем дистилляции угля, что в то время было крайне новаторской идеей. Спустя 20 лет газовыми лампами была освещена первая улица в Лондоне и позднее, Вестминстерский мост. Разработки спонсировались парламентом Лондона, на средства которого была организована первая в мире компания по организации газового освещения “Westminster Gas Light and Coke Company”. Благодаря изобретенным позднее устройствам автоматического поджигания, процесс освещения улиц стал проще. В 1830 году появились канделябры, которые могли доходить до середины улицы и доставлять газ прямо к фонарю [2]. Один из таких газовых фонарей сохранился во Вроцлаве, Польша (рисунок 3).



Рисунок 3 – Газовая лампа в г. Вроцлав, Польша

Электрические лампы вошли в пользование с начала 19 века. Первым изобретением такого рода была дуговая (газоразрядная) лампа Хамфри Дейви. Такие лампы использовались в прожекторах и с конца 18-го века устанавливались в Европе на башнях, освещающих большие территории,

иногда в дополнение к уже существующим газовым лампам. Свет от башен был слишком ярким и недостаточно практичным с точки зрения энергозатрат. Примером может служить башня в г. Сан Хозе, США, построенная в начале 1880-х годов (рисунок 4) [3].



Рисунок 4 – Башня в г. Сан Хозе, США

Газоразрядные лампы в уличных фонарях начали использоваться после изобретения “свечи Яблочкова” в 1875 году. Первые экземпляры свечей Яблочкова освещали бутики Лувра, из-за чего Париж приобрел название “город огней”. Лампа Яблочкова и пример ее применения для освещения улицы в Париже продемонстрированы на рисунке 5. Газоразрядные лампы не смогли стать заменой газовым из-за высокого потребления ресурса и менее мощного освещения, однако следующее поколение электрических ламп оказалось более успешным [4].

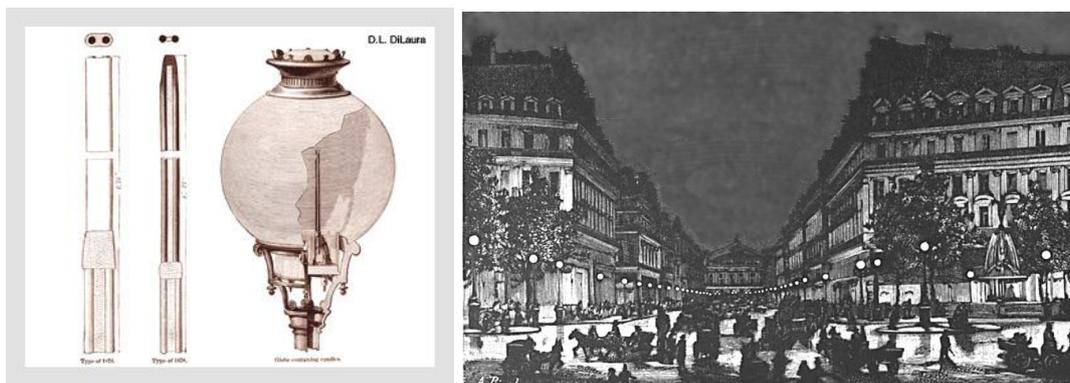


Рисунок 5 – Лампа Яблочкова и ее применение на Avenue de l'Opera в Париже

В начале 20-го века была разработана и запатентована Томасом Эдисоном лампочка накаливания – она была более экономична и давала достаточную яркость для освещения улиц. Разработка была настолько успешна, что в середине века фонари с лампой накаливания заменили все газовые фонари в Париже. Однако более успешным вариантом лампы для уличного освещения оказалась флуоресцентные лампы, изобретенные в 1930-х годах: ртутная газоразрядная лампа со стенками, покрытыми флуоресцентным порошком и натриевая газоразрядная лампа, которые некоторое время сосуществовали. Флуоресцентная лампа обладала более высоким индексом цветового распознавания, а натриевая давала монохромное освещение. Поскольку натриевые лампы были более энергоэффективны и имели более низкое световое рассеивание в тумане, они устанавливались в магистральных и промышленных светильниках. Позже в 1965 году компанией General Electric была изобретена натриевая лампа высокого давления, более энергоэффективная, чем предшественники, с длительным сроком службы и более безопасная по сравнению с ртутными лампами. В это же время на рынке появилась металлогалогенная лампа, дающая более высокий коэффициент цветового распознавания. Оба типа ламп были названы лампами высоко-интенсивного разряда (HID). В 1959 году компанией General Electric также была запатентована галогенная лампа – модифицированная

лампа накаливания с увеличенным сроком службы. Данные типы ламп можно увидеть на рисунке 6, а их применение в уличных светильниках – на рисунке 7 [5].



а – лампочка накаливания, б – газоразрядная лампа, в – натриевая лампа высокого давления, г – металлогалогенная лампа, д – галогенная лампа

Рисунок 6 – Виды ламп



а – светильник с газоразрядной лампой, б – светильник с галогенной лампой высокого давления и в – светильник с лампочками накаливания

Рисунок 7 – Виды светильников

В этот период начинается распространение идеи эстетического оформления осветительных приборов. Изготовители фонарей вдохновлялись дизайном предыдущих эпох и адаптировали его под электрическое освещение [2].

В начале 21-го века начинается массовое производство и распространение светодиодных ламп, принцип работы которых был впервые открыт Олегом Лесевым в 1927 году. Светодиодные лампы позволили создать

более долговечные, мощные, энергоэффективные и компактные фонари, по сравнению с использованными ранее [6]. Пример светодиодного фонаря показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – Светодиодный фонарь

## 1.2 Инженерно-конструкторское обеспечение

Для того, чтобы понять особенности конструкции современного магистрального светильника, с которыми нам предстоит работать во время проектирования, необходимо провести исследование элементов инженерного обеспечения светильника.

При конструировании промышленного продукта, учитываются следующие инженерно-конструкторские аспекты [7]:

- конструкция предмета и ее элементы;
- материалы и процесс изготовления;
- технологичность конструкции.

Во время разработки необходимо также обратить внимание на показатели качества продукта, указанные на рисунке 9, на которые будут оказывать влияние описанные выше аспекты. Например, характеристики лампы светильника и его формы влияют на технический эффект освещения, а соответствие совокупности стандартов влаго- и ударостойкости на его надежность, продуманная конструкция, исключая возникновение слепящего действия – на эргономичность и т.д.



Рисунок 9 – Показатели качества изделия [7]

Разберем подробнее указанные выше инженерно-конструкторские характеристики магистрального светильника.

Конструкция – это соединение узлов и деталей. Совокупность деталей светильника определяется его назначением и требуемыми характеристиками. Существует три типа фонарей в зависимости от назначения: светильники для прямых участков дороги (в соответствии с ГОСТ 55706-2013, используются фонари высотой не ниже 6,5 м, для дорог с троллейбусными маршрутами – не ниже 9 м от уровня земли), фонари для транспортных развязок и площадей (располагаются на высоте 20 м и более, на мостах или эстакадах, возможна установка светильников на высоте (0,9-1,3) м над проезжей частью, если нет других вариантов установки) и фонари для использования в тоннелях [8]. В данной работе будем рассматривать только светильники первого типа.

Фонари на средней высоте устанавливаются с одним или двумя светильниками, на большой высоте – максимальное количество светильников может достигать (12-16) ед. – они устанавливаются на специальное кольцо. Кольцо обладает механизмом изменения высоты для облегчения ремонта [9].

Также светильники разделяются по мощности в зависимости от категорий дорог: наиболее мощные светильники устанавливаются на загородных автомагистралях и шоссе, а также городских улицах и дорогах со средней интенсивностью движения.

Элементы стандартного газоразрядного магистрального светильника представлены на рисунке 10. Светильник состоит из корпуса, в котором

находится оптический элемент и балласт. Оптическая часть состоит из лампы, рефлектора и линзы. Лампа излучает свет, а рефлектор, установленный над лампой, перенаправляет его на линзу, которая собирает свет [9].

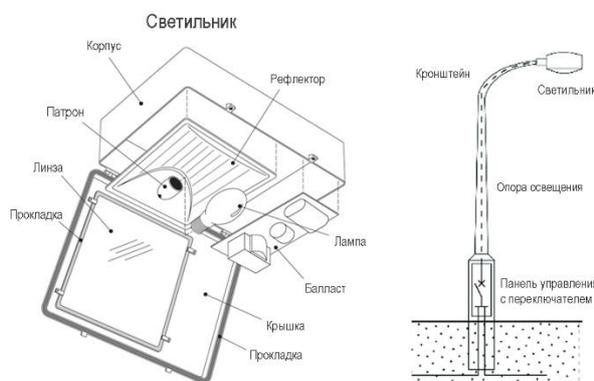


Рисунок 10 – Схема элементов магистрального светильника

Опора освещения фиксирует светильник на земле. На опоре должен быть предусмотрен механизм срыва, который роняет светильник при ударе, если он не защищен дорожным ограждением – это обеспечивает безопасность во время ДТП. Таким механизмом могут быть пластиковые крючки, ломающиеся или скользящие элементы [9].

Кронштейн удерживает светильник на определенной высоте и расстоянии от опоры. В качестве кронштейна может быть как единая балка, так и состоящая нескольких элементов или тросовая подвеска. Длина кронштейна устанавливается на этапе проектирования освещения [9].

Некоторые светильники имеют элементы перекрытия света, которые устанавливаются для уменьшения слепящего действия – это плафоны или специальные детали.

Балласт предназначен для обеспечения высокого стартового напряжения и регулировки тока с целью уменьшить световую пульсацию и шум, а также для управления интенсивностью света. Балласт обязателен для

газоразрядных ламп, так как для них требуется высокое стартовое напряжение. Некоторые лампы имеют встроенный балласт [11].

Лампа, установленная в светильнике, оказывает влияние на все показатели его качества. Энергоэффективность лампы, долговечность, экологичность, способность функционировать в определенных условиях среды и коэффициент цветового распознавания (Color Rendering Index - CRI) зависят от типа лампы. Различают 3 типа ламп, используемые в светильниках: накаливания, газоразрядные и светодиодные [10].

Лампы накаливания считаются наименее энергоэффективными (5-12) Лм/Вт, поскольку большая часть потребляемой ими энергии затрачивается на инфракрасное излучение, не видимое человеческому глазу, и всего 5 % - на видимое излучение. Эти лампы, наподобие естественным источникам света, излучают видимый свет путем создания свечения от нагретого материала, поэтому имеют самый высокий коэффициент цветового распознавания (около 100 CRI). Стандартные лампы накаливания служат недолго – от 750 до 1000 часов. Более энергоэффективные лампы накаливания – галогеновые лампы (около 20 Лм/Вт). В таких лампах нить накаливания заключена в капсулу с галогеном, смешанным с инертным газом. Они имеют индекс цветового распознавания – от 98 до 100 CRI, и срок службы от 1000 до 3000 часов, отличаются более компактным размером, но имеют относительно высокую цену [11].

Самый распространенный тип газоразрядных ламп – флуоресцентные лампы. Они более энергоэффективны ((30-110) Лм/Вт), чем лампы накаливания и имеют более долгий срок службы (от 7000 до 24000 часов). Принцип работы – проводимость тока через среду ртутного газа, который излучает ультрафиолет. Под воздействием ультрафиолета, фосфорное покрытие стенок лампы начинает давать видимый свет. Флуоресцентные лампы имеют высокий коэффициент цветового распознавания, сравнимый с лампами накаливания, и менее интенсивное слепящее действие.

Промышленные флуоресцентные лампы имеют форму трубки больших габаритов, однако существуют и компактные флуоресцентные лампы форм-фактора лампы накаливания. Такие лампы имеют более высокую стоимость по сравнению с первыми. Компактные флуоресцентные лампы требуют времени на разогрев, поэтому рекомендованная температура внешней среды при использовании таких ламп от минус 17 до 37 градусов цельсия [12].

Другие газоразрядные лампы используют благородные газы. Натриевые лампы низкого давления считаются наиболее энергоэффективными среди газоразрядных (200 Лм/Вт), однако они имеют очень низкий коэффициент цветового распознавания. Натриевые лампы имеют достаточно долгий срок службы (около 18000 часов).

Существуют также газоразрядные: лампы высокого давления, ртутные, металлогалогенные и натриевые. Из них ртутные являются самыми долговечными (срок службы от 16000 до 24000 часов) с коэффициентом цветового распознавания 50 CRI и небольшой энергоэффективностью (25-60) Лм/Вт, а металлогалогенные – наиболее энергоэффективными (50-140) Лм/Вт с лучшим цветовым распознаванием (около 70 CRI), и сроком службы от 5000 до 20000 часов.

Наиболее популярными из газоразрядных ламп на данный момент становятся натриевые лампы высокого давления, обладающие наибольшей энергоэффективностью. Они имеют более низкий коэффициент цветового распознавания (около 25 CRI), чем металлогалогенные лампы, но более продолжительный срок службы (от 16000 до 24000 часов). Газоразрядные лампы опасны для окружающей среды, особенно содержащие большое количество ртути, однако они могут быть подвергнуты переработке для вторичного использования ртути и других химических составляющих [13].

Светодиодные лампы наиболее энергоэффективны (70-120) Лм/Вт и долговечны. Кроме этого, они самые компактные, ударопрочные, могут работать даже при низких температурах внешней среды, имеют высокий

индекс цветового распознавания (до 92 %) и экологичны, так как не содержат химикатов. Такие лампы работают на принципе движения электронов в полупроводнике. Недостатки светодиодных ламп – их высокая стоимость и повышенное теплоотведение: при высоких температурах светодиодный модуль может испытывать перегрев, что приведет к вероятности вывода модуля из строя. Светодиоды холодных температур приводят к большому световому загрязнению, поэтому для магистрального освещения важно выбрать светодиодный модуль теплого света [14].

Магистральный светильник является статичной конструкцией с неподвижными соединениями, однако некоторые модели допускают подвижные соединения для регулировки угла наклона. Светильник фиксируется на кронштейн винтовыми соединениями, угол наклона регулируется шарниром, если таковой присутствует. Детали осветительного прибора соединяются винтами. Опора освещения фиксируется на основании методом сварки, основание закрепляется в земле с помощью болтов [15].

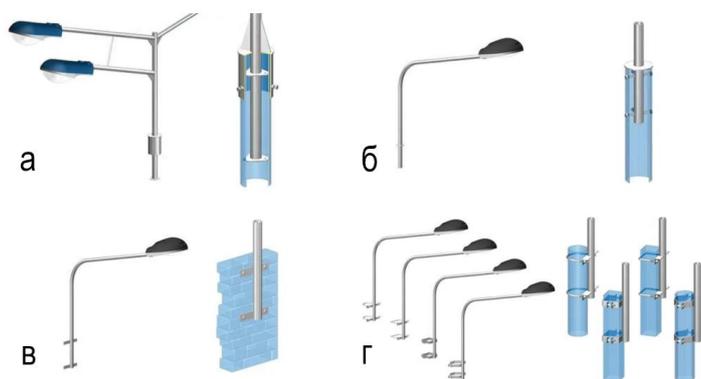
Существует несколько видов крепления магистрального светильника: консольное, на скобах и встраиванием (рисунок 11). Монтаж на скобы чаще всего используется для прожекторных установок. Метод встраивания предполагает монтаж светильника в элемент инфраструктуры [16]. Встроенные светильники также называются интегрированными. По определению ГОСТ ИЕС 60598-2-3-2017, встроенный светильник – это осветительная система, в которой светильник составляет единое целое с опорой, закапываемой в землю или другую основу [24].



а – встроенный, б – консольный, в – на скобах

Рисунок 11 – Виды светильников

Наиболее используемое в магистральных светильниках крепление – консольное. Данный вид крепления предполагает установку осветительного прибора на кронштейн (консоль), который крепится к опоре освещения. Осветительный прибор устанавливается на кронштейн винтовым соединением. Кронштейн фиксируется на опоре с помощью саморезов, обечайки, на фланец, боковым креплением (на плоские вертикальные поверхности, например, фасад зданий) и накладным способом [17]. На рисунке 12 изображены обозначенные методы консольного крепления.



а – на обечайку, б – на фланец, в – боковым креплением, г – накладным способом

Рисунок 12 – Виды крепления кронштейна

Кронштейны могут быть: радиусные (изготовленные из трубопроката), угловые (две трубы, соединенные под углом), торшерные (вертикальная труба для торшеров или подвесных светильников) и Т-образные (используются для установки нескольких светильников) [17].

Процесс разработки светильника включает следующие стадии: сбор информации от заказчика, проектирование и конструирование, прототипирование и тестирование.

Необходимая информация, предоставляемая заказчиком, включает [18]:

- тип светильника, назначение, условия применения;
- размеры, параметры установки;
- требования по дизайну, критерии оценки дизайна;
- материал корпуса, оптики, способы соединений и дополнительная информация о материалах;
- спецификации лампы, требуемая мощность и энергоэффективность системы, световой поток, требования к температуре и индексу цветопередачи, а также к оптике и эффективности освещения;
- каким стандартам должен отвечать светильник: рейтинги IP, IK, ATEX, сопротивление ветру, осадкам, температурные условия эксплуатации, требования к долговечности и надежности;
- требования к себестоимости: рыночная цена, количество экземпляров, упаковка;
- требования ко времени производства.

Проектирование и конструирование светильника проходит следующие стадии: промышленный дизайн (где разрабатываются 3D-модели в САПР), дизайн оптики (разработка оптики в соответствии с требованиями к освещению, энергоэффективности и эффективности), проектирование теплоотведения (оптимизация материалов и размеров радиаторов),

проектирование электроники (разработка печатных плат и электронных компонентов, элементов управления) и разработка механической конструкции (подготовка чертежей, пресс-форм, листового металла и т.д.) [18].

Следующая стадия – прототипирование традиционными инструментами для резки, гибки, сварки т.д. или методами 3D-печати. Прототипирование позволяет определить недостатки дизайна на раннем этапе разработки. Этот этап необходим для экономии времени на последующем исправлении недочетов дизайна [18].

Изготовление оснастки и деталей – третий этап разработки, который включает проектирование и производство пресс-форм, инструментов для экструзии, ковку, изготовление литых моделей и штамповку. Экструзия используется для производства светильников, радиаторов, пластиковых линз, крышек. Корпуса производятся совокупностью перечисленных методов в зависимости от формы корпуса [18].

После производства финального прототипа, выполняется тестирование на соответствие сертификатам ENEC, UL, CE и т.д. в оптической лаборатории, термолаборатории и электронной лаборатории. Тесты могут проводиться дополнительно компанией-разработчиком, но сертификационный тест всегда выполняется сертифицированной организацией. По завершению тестирования и после получения сертификации, финальный прототип и техническая документация проходит проверку на соответствие. После успешной проверки, светильник готов к запуску массового производства [18].

Уличные светильники изготавливаются из стали, сплавов алюминия или полимерных материалов, например полиэстера, усиленного стекловолокном, ABS-пластика, SAN-пластика, акрила или поликарбоната. Нержавеющая сталь обладает лучшим из этих материалов сопротивлением к химической и электрохимической коррозии, также этот материал обладает высоким сопротивлением к экстремальным температурам [19].

Для сокращения расходов на производство и ремонт важно учитывать технологичность конструкции изделия – совокупность свойств, определяющих приспособленность конструкции к минимизации затрат ресурсов при производстве и эксплуатации. Технологичность оценивается рядом показателей [7]:

- материалоемкость изделия – затраты материальных ресурсов на производство, эксплуатацию и ремонт;
- энергоемкость изделия – затраты топливно-энергетических ресурсов на производство, эксплуатацию и ремонт изделия;
- трудоемкость – суммарные затраты труда на выполнение технологических процессов изготовления и ремонта изделия.

Применительно к производству магистральных светильников, должны выполняться рекомендации по технологичности конструкции деталей в зависимости от используемого материала и технологии производстве. Эти факторы устанавливают то, какие аспекты стоит учитывать при проектировании детали. Учет этих условий позволит сократить материалоемкость и энергоемкость изделия на этапе производства [7]. Также важно рассмотреть конструкцию на технологичность сборочных операций, так как сложность сборки отражается на трудоемкости. При проектировании светильника необходимо учесть:

- взаимозаменяемость и регулировку деталей (использовать как можно больше стандартизированных и универсальных деталей)
- рациональное членение конструкции на самостоятельные сборочные единицы (например: осветительный прибор, кронштейн, опору освещения)
- рациональные способы соединения;
- сокращение крепежных элементов и элементов конструкции;
- упрощение сборочных операций.

При проектировании освещения обязательно нужно продумать энергоемкость изделия в процессе эксплуатации, так как это один из ключевых критериев выбора прибора освещения для автодорог. Стоит рассмотреть варианты ламп и конструкций осветительного прибора и выбрать наиболее энергоэффективное решение.

### **1.3 Формообразование и композиция светильника**

Промышленный дизайн опирается на формообразование и композицию. Формообразование – это процесс создания формы промышленного изделия в соответствии с требованиями эстетической выразительности, функции, конструкции предмета, используемым материалам и технологиям обработки. Гармоничная форма предмета промышленного дизайна должна отвечать следующим требованиям [7]:

- техническим и технологическим;
- антропометрическим и эргономическим;
- эстетико-художественным.

Форма предмета способствует решению задачи, для которой создан предмет. Функции устройства описываются в ходе функционального анализа, где они представляются в формальном виде как набор функциональных характеристик.

На примере уличных светильников на рисунке 13 видно, что форма плафона влияет на распределение света: магистральный светильник (б) имеет выпуклую форму для более равномерного рассеивания света и не использует элементы перекрытия, а тротуарный светильник (г) имеет источник света в углублении и небольшую площадь выреза для создания менее равномерного декоративного света.

Форма также служит для упрощения взаимодействия с предметом. Уличный светильник обычно не является интерактивным предметом и часто

становится незаметной частью среды, однако монтажник должен интуитивно понимать расположение компонентов и порядок их сборки.

Разберем функциональные характеристики магистрального светильника (таблица 1). При анализе важно учитывать опыт всех пользователей, включая пешеходов, автомобилистов, рабочих-электриков и операторов.

Таблица 1 – Функциональные характеристики магистрального светильника

Операции	Функциональные характеристики
Освещение дороги	Должно быть равномерным, не создавать бликов, должно быть достаточной интенсивности, в соответствии с ГОСТ, быть энергоэффективным и эффективным в условии тумана и в нормальных условиях.
Установка	Должна быть простой, быстрой, наименее ресурсо- и трудоемкой, а последовательность действий – понятной интуитивно.
Настройка и запуск	Настройка и запуск должны быть простыми, быстрыми и интуитивно понятными для оператора.
Ремонт	Должен быть простым, быстрым, наименее ресурсо- и трудоемким, а последовательность действий – понятной интуитивно. Критические компоненты должны быть заменяемы с возможностью подбора нового аналогичного компонента.
Безопасность	Не должен вредить водителю во время ДТП.
Надежность	Светильник должен отвечать стандартам влаго-, электрозащиты, ударопрочности и безопасности. Должна быть предусмотрена антивандальная защита. Светильник должен функционировать в условиях крайне низких и высоких температур. Должен функционировать в условии снежных заносов и не повреждаться во время очистки снега.
Влияние на окружающую среду	Детали должны быть выполнены из экологичного материала, лампа должна быть энергоэффективной.
Производство	Форма не должна затруднять процесс изготовления.

Еще один функциональный аспект формообразования – эргономика. Эргономика это научная дисциплина, которая изучает взаимодействие между

человеком и элементами систем. При взаимодействии человека и предмета нужно учитывать строение человеческого тела, визуальное восприятие, реакцию и т.д. – этим и занимается данная наука, поэтому она тесно связана с промышленным дизайном и архитектурой. Факторы, влияющие на удобство использования предмета человеком называются эргономическими показателями. Существуют следующие группы эргономических показателей [7]:

- гигиенические показатели (соответствие изделия санитарным нормам);
- антропометрические показатели (соответствие элементов изделия особенностям строения тела человека);
- физиологические и психофизиологические показатели (соответствие конструкции изделия силовым, зрительным, слуховым, осязательным, обонятельным и физиологическим возможностям человека);
- психологические показатели (соответствие рабочих навыков человека, возможностям восприятия и переработки информации).

Гигиенические показатели освещения будут учитывать требования нормативов к освещенности дороги и равномерности освещения, а также безопасность конструкции.

Существует ряд антропометрических задач, которые решаются посредством учета антропометрических показателей. Основными задачами в нашем исследовании будет изучение параметров границ обзорности и параметров моторного пространства, так как магистральный светильник воздействует только на зрение водителя и должен иметь безопасные габариты с учетом границ пространства движения автомобиля. Данные параметры влияют в том числе на взаимодействие пешехода и светильника.

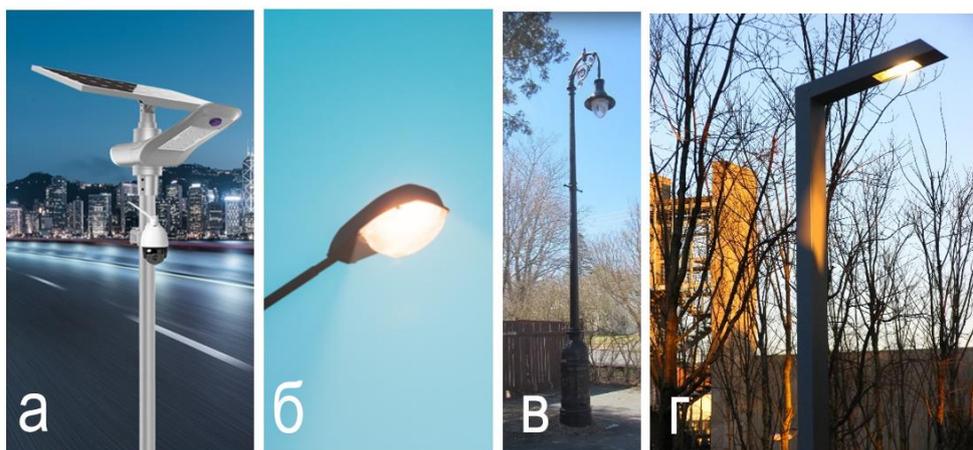
Физиологическими и психофизиологическими показателями взаимодействия в системе человек – светильник будут показатели видимости

в тумане при использовании освещения, а также влияние отклонений равномерности освещения на психофизиологическое состояние водителя.

В качестве психологических показателей в данном исследовании будут выступать показатели эффективности освещения по отношению к навыкам водителя: внимательности и реакции.

Существуют также и художественные методы формообразования, задачей которых стоит создание эстетичного продукта. Один из таких методов – стилизация. Стил – это единство морфологических элементов, отличающее совокупность особенностей, таких как: творческую манеру автора, национальную традицию, искусство цивилизации или эпохи и т.д. В промышленном дизайне, как и в искусстве, стил воплощается в характерных признаках и общности композиционных приемов. Определенные направления дизайна, такие как хай-тек, функционализм, модерн, минимализм и т.д. присутствуют в том числе и в дизайне светильников. Корпоративные и авторские стили также находят место в промышленном дизайне [7].

Стилизация светильника помогает интегрировать светильник в среду в соответствии со стилем ее элементов. На рисунке 13 изображены светильники в разных стилях.



а – хай-тек, б – функционализм, в – модерн, г – минимализм

Рисунок 13 – Уличные фонари в разных стилях

Хай-тек светильник “а” имеет плавные формы, отражающие поверхности, воплощенные в металле и стеклянных элементах. Светильник оборудован множеством сложных технологических устройств: камерой и солнечной панелью. Он подходит для оформления дорог высокотехнологичных предприятий и городов.

Светильник “б” имеет форму, основанную на принципе утилитарности. Все компоненты служат определенной цели, отсутствуют декоративные элементы и формы. Данный светильник подошел бы для освещения междугородних трасс, так как в этом контексте эстетические качества светильника отходят на второй план.

Светильник “в” выполнен в стиле модерн. Присутствуют декоративные элементы в виде органических узоров. Плафон выполнен в форме колокола. Такой светильник подошел бы для освещения украшения парковых дорог.

Минималистичный светильник “г” выполнен с использованием простейших геометрических форм. Форма светильника отражает направленность современного дизайна в сторону незаметной интеграции технологических элементов в окружающее пространство. Простая геометрическая форма практически не привлекает внимания. Светильник подошел бы для освещения городских улиц и парковых дорог.

При проектировании светильника необходимо учесть пространство в котором он будет находиться. Его форма также должна отражать современные тенденции в промышленном дизайне и дизайне среды. Хорошим вариантом может стать организация простой формы для незаметной интеграции светильника в инфраструктуру дороги.

Отдельное внимание следует уделить композиции как ключевому элементу дизайна, без проработки которого невозможно создать эстетически привлекательный продукт. Композиция – это организация формы изделия в соответствии с его функцией, содержанием и назначением путем сочетания составляющих в единую закономерную целостность с позиции определенной

идеи [7]. Основные категории композиции: объемно-пространственная структура и тектоника.

Объемно-пространственная структура предмета промышленного дизайна определяет соотношение форм между собой и с пространством. Образование объемно-пространственной структуры зависит от функции изделия, его связи с человеком и средой, свойств материалов и т.д. Светильник является объектом с цельным объемом, внутреннее пространство которого не взаимодействует с человеком. Внутри светильника находится электроника и оптика, человеку видна только внешняя форма.

Тектоника с другой стороны это зримое отражение в форме изделия существа его конструкции и организации в нем материала. Правильная тектоника будет служить подсказкой для использования функций предмета. Хорошо продуманная форма с точки зрения тектоники сократит время ремонта, так как последовательность действий будет заранее понятна обслуживающему персоналу. Тектоника влияет на визуальный вес предмета, его визуальную устойчивость, так как отражает свойства материала и конструкции в пластике изделия, что немаловажно для создания гармоничной формы [7].

Единство формы и содержания изделия складывается из функциональной, эксплуатационной и эмоциональной составляющих. Через функциональную составляющую форма раскрывает функциональное назначение, эксплуатационная – отражает влияние окружающей обстановки на форму, а эмоциональная составляющая позволяет сформировать эмоциональный отклик и нужный психологический настрой при использовании изделия. Форма также должна подчиняться правилам композиции. Для решения композиционных задач существуют такие средства как симметрия, асимметрия, статика, динамика, метро-ритмические соотношения, пропорционирование, модульность, масштабность, контрасты, нюансы, тождества. Важным аспектом в композиции является колористика с

ее цветами и контрастами, которые также могут служить средствами композиционного построения [7]. Данные средства построения композиции будут использованы для проработки формы магистрального светильника.

На форму промышленного изделия, его тектонику и пластику оказывает большое влияние материал исполнения в совокупности с технологией производства. Данные элементы оказывают определяющую роль в формировании формы через конструкцию. Так как все время появляются новые материалы и методы производства, меняется и конструкция изделия. Например,ковка позволила создавать декоративные органические элементы для украшения светильников, а промышленное производство трубопроката позволило организовать наименее затратное производство функциональных осветительных приборов с опорами круглого сечения.

При проектировании формы светильника стоит обратить внимание на конструкцию, которая будет определена используемыми инженерными решениями, такими как тип лампы, форма отражателя, оптимальный форм-фактор, размеры и т.д. Так как проектируемое решение делает упор на эффективность освещения во время тумана, форма светильника может сильно отличаться от привычной, которая не позволяет достичь требуемых параметров эффективности.

Учет используемой в производстве технологии при проектировании изделия позволит определить [7]:

- трудоемкость изготовления изделия;
- возможность унификации деталей, минимизации их количества выбора оптимального размера для производства;
- возможность использования уже разработанных и протестированных элементов;
- способ обеспечения наивысшего качества соединений и деталей.

#### 1.4 Условия использования светильников и нормируемые параметры

Классы автомобильных дорог описаны в ГОСТ Р 52398-2005 “Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования” [20]. Документ определяет автомагистраль как автомобильную дорогу, имеющую на всем протяжении многополосную проезжую часть с центральной разделительной полосой, не имеющую пересечений в одном уровне с автомобильными, железными дорогами, трамвайными путями, велосипедными и пешеходными дорожками, доступ на которую возможен только через пересечения в разных уровнях, устроенных не чаще, чем через 5 км друг от друга. По техническим характеристикам, автомагистраль должна иметь 4 и более полосы движения с шириной полосы 3,75 м. Автомагистраль относится к категории дороги IА.

Нормируемые параметры освещения и их значения указаны в ГОСТ Р 58107.1-2018 “Освещение автомобильных дорог общего пользования. Нормы и методы расчета”. Для дорог со стандартной геометрией и асфальтобетонным покрытием нормируется: средняя яркость  $\bar{L}$ , общая  $U_0$  и продольная  $U_l$  равномерность яркости дорожного покрытия, средняя освещенность  $\bar{E}_h$  и равномерность освещенности  $U_h$ . Для дорог с нестандартной геометрией или расположенных в северной строительно-климатической зоне азиатской части России или выше 66 градусов северной широты европейской части России нормируются только средняя освещенность и равномерность освещенности на дорожном покрытии. Независимо от геометрии дороги и покрытия нормируется пороговое приращение яркости TI (мера слепящего действия прямого света осветительного прибора на водителя транспортного средства) и коэффициент периферийного освещения SR (отношение средней освещенности на поверхности обочины дороги к средней освещенности на поверхности примыкающей полосы движения) [21].

При проектировании осветительного прибора мы не будем учитывать использование светильника на транспортных развязках, участках.

прилегающих к железнодорожному полотну, пешеходных переходах, тротуарах и велодорожках, так как там используются другие критерии и требования к освещению. Исходя из того, что требования для освещения автомагистралей наиболее высокие, можно вынести предположение, что светильники, подходящие для автомагистралей, можно будет использовать и для освещения других категорий автомобильных дорог.

Характеристики светильника, такие как сила света, форма, элементы перекрытия и тип лампы оказывают влияние на параметры освещения, но ключевую роль в реализации правильного освещения играет схема расстановки осветительных приборов. В этой работе мы не будем касаться разработки схемы дорожного освещения, поэтому для нас важны только спецификации светильника, влияющие на описанные параметры освещения: равномерность распределения интенсивности света, световой поток светильника и мера слепящего действия при нормальных условиях обзора.

Формулы и методы расчета этого и других параметров представлены в ГОСТ Р 55708-2013 “Освещение наружное утилитарное. Методы расчета нормируемых параметров”. При нормальных условиях обзора глаз наблюдателя должен быть расположен на высоте 1,5 м над уровнем дороги, а линия зрения направлена под углом 1 градус ниже горизонта и должна лежать в вертикальной плоскости, проходящей через центральную линию данной полосы движения [22].

В соответствии с ГОСТ Р 54305-2011 “Горизонтальная освещенность от искусственного освещения. Технические требования”, вводятся такие нормируемые параметры как горизонтальная освещенность, средняя горизонтальная освещенность, максимальная горизонтальная освещенность и коэффициент равномерности [23].

ГОСТ ИЕС 60598-2-3-2017 “Светильники. Часть 2-3. Частные требования. Светильники для освещения улиц и дорог” устанавливает требования к конструкции светильника. В соответствии с документом,

магистральный светильник должен иметь степень защиты не ниже IPX3, интегрированный светильник – не ниже IPX5. Для интегрированных светильников выдвигаются следующие требования: влагозащита не ниже IP3X для частей, расположенных ниже 2,5 м от уровня земли или другой опорной поверхности и IP2X для частей, расположенных выше 2,5 м от уровня земли (если наружные детали не имеют стенок, то защитные стекла или рассеиватели должны обеспечивать степень защиты не ниже IP5X) [24].

Светильники для подвески на несущие тросы должны иметь зажимные устройства. Устройство для крепления светильника или его наружной детали к опоре должно выдерживать без заметной деформации воздействие ветра скоростью 150 км/ч на расчетную площадь светильника и выдерживать массу светильника [24].

Детали крепления, испытывающие воздействие силы тяжести светильника или наружных деталей и внутренней арматуры, должны иметь приспособления, предотвращающие смещение любой части светильника или наружной детали под действием вибрации в процессе эксплуатации и при техническом обслуживании [24].

Части светильников или наружные детали, закрепленные при помощи двух или менее приспособлений, например винтов или аналогичных приспособлений достаточной прочности, должны иметь дополнительную защиту, которая в случае повреждения одного из этих приспособлений при нормальной эксплуатации предотвращает падение указанных частей или деталей [24].

Если использование одного патрона не обеспечивает правильное положение лампы, то должно быть предусмотрено соответствующее поддерживающее устройство. Регулируемые патроны или оптические элементы должны иметь соответствующие контрольные метки [24].

Для снижения опасности травматизма при разрушении стекла применяют следующие рекомендации, зависящие от высоты установки светильников [24]:

- если светильники устанавливаются на высоте менее 5 м, то к стеклянным оболочкам не предъявляются никаких дополнительных требований;
- если светильники устанавливаются на высоте более 5 м, то стеклянная оболочка должна быть:
  - а) изготовлена из стекла, которое рассыпается на мелкие осколки; или
  - б) из стекла, имеющего высокую стойкость к ударным нагрузкам; или
  - в) защищена любым способом, обеспечивающим удержание осколков стекла в случае его разрушения (например, при помощи сетки или пленочного покрытия).

Отсек внутри ревизионного люка интегрированного светильника должен обеспечивать достаточно места [24]:

- для блока контактных зажимов светильника;
- защитных устройств;
- контактных зажимов и шлейфового соединения питающих кабелей;
- распределительной коробки (при ее наличии).

Отсек должен быть оборудован приспособлениями для закрепления этого оборудования. Если эти приспособления изготовлены из металла, то это должен быть коррозионно-стойкий или должным образом защищенный от коррозии материал [24].

Дверца ревизионного люка интегрированного светильника должна быть защищена от коррозии таким же способом обработки, как и интегрированный светильник. Дверца должна быть оборудована запирающим устройством для предотвращения несанкционированного доступа [24].

Предполагается использование светильника в условиях Сибири, на территориях, где наблюдается повышенная плотность тумана из-за дыма,

выделяемого угольным отоплением частных домов и заводскими выбросами. В частности, на территории г. Кемерово. При низкой температуре среды наблюдается наибольшая плотность тумана, однако и в теплое время года на территориях, близких к промышленным сооружениям и частным секторах города, данное явление случается часто. Абсолютная минимальная температура в городе Кемерово, по версии сайта “Pogodaklimat.ru”, за последние 60 лет составила минус 48,4 градуса по цельсию, средний минимум в самый холодный месяц года – минус 21,5 градусов, абсолютный максимум – 38 градусов, средний максимум в самый теплый месяц года – 25,5 градусов [25]. При проектировании светильника нужно учесть наличие дней с низкой температурой и дней с высокой температурой среды и выбирать источник света, который будет функционировать в данном диапазоне температур.

### **1.5 Исследование проблемы освещения в тумане**

Условия низкой видимости на автодорогах сказываются на безопасности вождения. Так в исследовании, в котором рассматривалось влияние тумана на частоту ДТП, было установлено соответствие между вероятностью возникновения аварии и высокой затуманенностью. По результатам исследования, в тумане в ночное время суток аварии случаются в 1.7 раз чаще, чем в дневное время суток. Отмечена проблема низкой дальности распространения света в тумане и снижение контрастности, которое ведет к низкой различимости препятствий. Как следствие, можно говорить о низкой эффективности традиционного освещения, которое создает феномен “белой завесы” [26, 27].

Для улучшения видимости в тумане автомобилисты используют установленные в нижней части корпуса транспортного средства противотуманные фары. Однако противотуманные фары могут осветить лишь ограниченный участок дороги, потому они не решают проблему полностью [28]. В дополнение к освещению существуют такие решения как LED-

индикаторы, установленные на дороге и динамические дорожные знаки, но они не дают освещения дорожного полотна и препятствий на дороге [26].

В работе “Автомобильное освещение в условиях тумана: Аналитическая оценка” министерства транспорта США качество освещения в условиях тумана оценивается по трем критериям: контрастность объекта на дороге, интенсивность эффекта завесы и дальность видимости. Эти критерии необходимо учесть при анализе освещения в тумане [29].

Повысить качество освещения в тумане и снизить влияние факторов, которые негативно сказываются на видимости, можно изменив положение источника света и направление освещения. Так в работе “Метод повышения видимости в тумане на основе низкоуровневого дорожного освещения” исследована эффективность двух способов противодействия туману: автомобильные фары и стационарное низкоуровневое освещение. Эксперимент проводился в камере размером 1.5м x 1.2 м x 4.0 м, имитирующей 3-х полосное шоссе длиной 60м и с шириной полосы 3.75м и при разной концентрации тумана. Испытание показало, что низкоуровневое освещение способно увеличить дальность видимости препятствий в тумане в 2 раза [30].

Описанный эксперимент представлен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Эксперимент, оценивающий эффективность низкоуровневого освещения. Слева представлено освещение дороги фарами автомобиля, справа – боковыми фонарями

Аналогичный эксперимент, но более приближенный к реальному масштабу проводился в США доцентом электротехники Ч. Маршем. В

эксперименте были представлены комбинации нескольких систем освещения: фары дальнего света и боковые прожектора по периметру дороги. В эксперименте был задействован участок с шириной дороги 1.2 м и длиной 12.1 м [31].

На рисунке 15 представлены результаты эксперимента.



а – фонарное освещение, б – боковое освещение, в – освещение противотуманными фарами, г – освещение фарами дальнего света

Рисунок 15 – Результаты эксперимента при разном расположении фонарей

Было установлено, что для уменьшения эффекта завесы, направление света должно быть близким к углу в 90 градусов с линией направления взгляда водителя. Любая комбинация, использующая источник света, сонаправленный с линией взгляда, даст высокий уровень обратного рассеивания, усиливая вышеупомянутый эффект. Как показал эксперимент, эффект завесы меньше мешает обзору дороги при использовании противотуманных фар (в), тогда как при фарах дальнего света (г) различимость препятствий значительно падает. Также было установлено, что боковое освещение (б) уменьшает эффект завесы и повышает видимость препятствий, так как оно имеет меньший объем рассеивания, чем магистральное освещение (а).

Оба эксперимента показывают, что использование низкоуровневого магистрального светильника позволит повысить контрастность препятствий на дороге и увеличить дальности видимости, уменьшив эффект завесы.

При рассмотрении параметров светильника, которые влияют на качество освещения в тумане, важную роль играет цветовая температура источника света. Источники света излучают совокупность цветов спектра, компоненты которого по-разному влияют на восприятие человека. В частности, свет высокой температуры (с большим количеством энергии в синей части спектра) при освещении в темноте, положительно сказывается на цветовое распознавание, качество периферийного зрения и воспринимается как более яркий, однако, повышает время адаптации глаза к изменениям освещения, имеет низкую распространяемость в тумане и порождает световое загрязнение. Поэтому в уличном освещении традиционно используются лампы низкой световой температуры. Исследования показывают, что для противотуманного освещения оптимальная температура света составляет 3000К, так как при такой температуре достигается достаточно короткое время адаптации к смене освещения, хорошее цветовое распознавание и высокая распространяемость в тумане [32].

Кроме повышения качества освещения в тумане, светильники низкоуровневого освещения имеет ряд преимуществ по сравнению с высокоуровневыми магистральными светильниками. Поэтому стоит рассмотреть возможность их использования в качестве полноценной замены стандартным магистральным светильникам. Недостатки верхнего магистрального освещения [33]:

- слепящее действие в нормальных погодных условиях;
- неэффективное распределение световой энергии при установке фонарей на высоком уровне от дороги;
- неравномерность освещения дороги;
- недостаточное вертикальное освещение;

- перекрытие фонарей другими объектами;
- невозможность установки фонарей на некоторых участках, например, вблизи аэропортов и на мостах;
- световое загрязнение городов;
- сложность и стоимость установки и обслуживания.

Слепящее действие возникает в результате излучения света от яркой поверхности в зоне видимости водителя. Данный феномен зависит от угла взгляда водителя на источник освещения, высоты источника освещения и дизайна светильника. При высокоуровневом освещении возникновение слепящего действия неминуемо, поскольку меры перекрытия света плафоном ограничиваются необходимостью создания равномерного света. Расположение светильника ниже взгляда водителя и ограничение распространения света вверх позволит избежать этого, сохранив равномерность освещения [33].

Вторая проблема высокоуровневых светильников – низкая энергоэффективность. При высоком расположении источника света большая часть пространства непосредственно под источником света не нуждается в освещении, вследствие этого происходит нерациональный расход энергии. Зона полезного освещения, в пределах которой перемещается взгляд водителя, приходится на пространство высотой 5.3 м от поверхности дороги. Исходя из высоты расположения дорожных фонарей, которая обычно составляет около 12м, на зону полезного освещения приходится лишь половина этого расстояния [33].

Неравномерность освещения дорожного полотна и низкое качество вертикального освещения – еще одна проблема высокоуровневых светильников. Ввиду направления света, вертикальное освещение становится неравномерным, а на дорожное полотно падают тени, поэтому различимость предметов на дороге падает. Следствием этого свойства высокоуровневого

освещения также является образование тени от окружающих объектов: деревьев и дорожных знаков.

Светильники верхнего освещения порождают световое загрязнение улицы из-за рассеивания света во всех направлениях. Большие габариты таких светильников не позволяют реализовать установку в определенных местах. Их ремонт трудозатратен, так как для замены лампы требуется подъем работника на большую высоту. Эти недостатки могут быть в полной мере исправлены светильниками низкого уровня.

Исходя из описанного выше, путем внедрения новой системы освещения из низкоуровневых светильников, можно значительно улучшить систему дорожного освещения следующим образом:

- повысить качество освещения в экстремальных погодных условиях (туман, смог, снежная буря);
- исключить возникновение слепящего действия;
- сделать освещение энергоэффективным;
- решить проблему плохой равномерности освещения;
- повысить качество вертикального освещения;
- решить проблему перекрытия света;
- сделать доступ и ремонт более простым и менее затратным;
- исключить необходимость в монтаже столбов;
- реализовать возможность установки освещения рядом с аэропортами и на мостах, где нельзя устанавливать высокие конструкции;
- устранить световое загрязнение городских районов.

Для этого светильник должен иметь следующие свойства:

1. устанавливаться по краям дороги, на высоте над дорогой ниже уровня глаз водителя;

2. иметь угол падения света близкий к углу в 90 градусов относительно линии взгляда водителя и иметь перекрывающие свет элементы;
3. иметь низкий профиль, встраиваемость и компактность;
4. обладать устойчивостью к повреждениям.

## **2 ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК И АНАЛИЗ АНАЛОГОВ**

Патентный поиск может быть источником идей для продукта. Чтобы не вкладывать лишние усилия в решение уже решенных задач, полезно изучить то, как эта задача была рассмотрена другими инженерами или дизайнерами. Исследование существующих аналогов продукта также поможет узнать текущее состояние рынка, чтобы понять уровень конкуренции и слабые стороны конкурентов – характеристики продукта, над которыми стоит поработать, чтобы создать более конкурентоспособный продукт. Знание существующих разработок в области поможет избежать проблем с регистрацией продукта или патента.

### **2.1 Многомерная система дорожного освещения**

В патенте “Многомерная система дорожного освещения” [33], описаны несколько подсистем освещения: подсистемы передненаправленного низкоуровневого освещения, бокового низкоуровневого освещения, задненаправленного низкоуровневого освещения, тоннельного высокоуровневого освещения, индикационного и периферийного.

Боковое освещение с источниками света, расположенными перпендикулярно направлению движения, повышает видимость в условиях тумана. Данного компонента освещения недостаточно для обеспечения равномерности света и нужной освещенности дороги. При таких условиях расстояние между светильниками должно быть крайне мало, что привело бы к высоким энергозатратам. Исходя из этого, боковую подсистему освещения необходимо задействовать лишь в условиях тумана и в комбинации с другими подсистемами освещения. Схема бокового освещения представлена на рисунке 18.

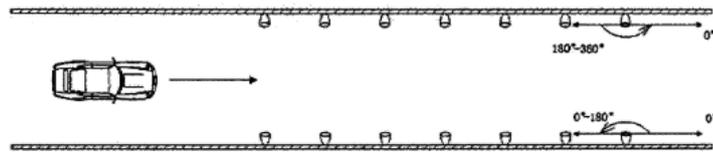


Fig. 31

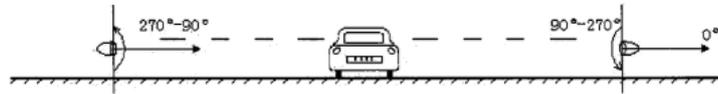


Рисунок 18 – Подсистема бокового освещения. Указаны максимальные углы падения света в двух проекциях

Освещение дорожного полотна в “Системе многомерного освещения” обеспечивает подсистема задненаправленного низкоуровневого освещения. Принцип работы подсистемы заключается в размещении источника света ниже уровня глаз водителя с направлением света, противоположным направлению движения автомобиля. Задненаправленное низкоуровневое освещение исключает проблему возникновения слепящего эффекта благодаря тому, что источник света не попадает непосредственно в поле зрения водителя и перекрыт специальной пластиной. Схема задненаправленного освещения представлена на рисунке 19.

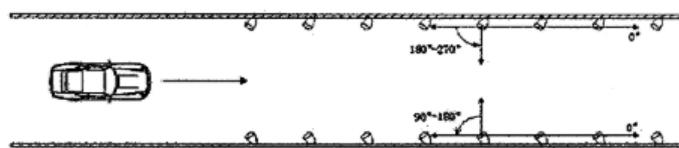


Fig. 15



Рисунок 19 – Подсистема задненаправленного освещения. Указаны максимальные углы падения света в двух проекциях

Подсистема низкоуровневого передненаправленного освещения обеспечивает пространственное освещение. Для этой подсистемы рекомендуется использовать источник света с высоким индексом цветопередачи и более высокой температурой, чем задненаправленный источник. Это необходимо для повышения распознаваемости объектов на дороге и усиления контраста между дорогой и препятствиями. Направление света источника совпадает с направлением движения автомобиля. Схема передненаправленного освещения представлена на рисунке 20.

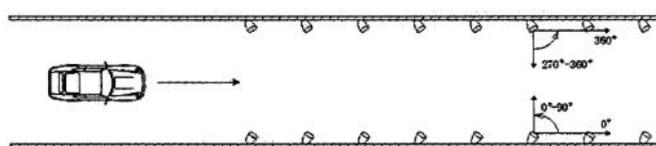


Fig. 27

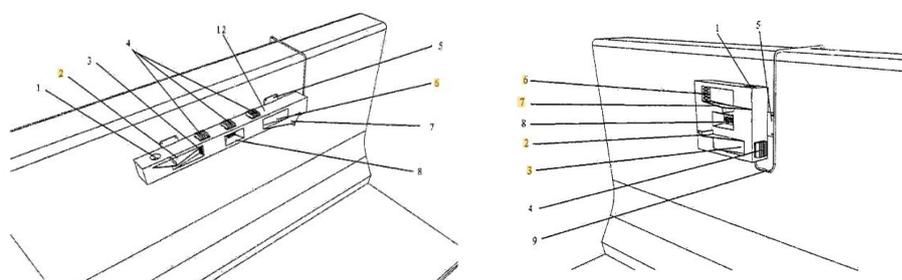


Fig. 28

Рисунок 20 – Подсистема передненаправленного освещения. Указаны максимальные углы падения света в двух проекциях

Светильники, устанавливаемые на автомагистралях, крепятся к барьерному ограждению со стороны дороги или на стену, имеют вытянутую по горизонтали прямоугольную форму и округлый, овальный, треугольный или многоугольный полый профиль. Со стороны ограждения корпус имеет пластину для крепления. Светодиоды подсистем задненаправленного и передненаправленного освещения располагаются по разные стороны от центра корпуса, находятся в углублении и открыты только со стороны против направления движения и по направлению движения соответственно. Распространение света вверх задненаправленного освещения блокируется пластиной, расположенной над источником света. Примерная мощность, потребляемая элементом подсистемы задненаправленного освещения на

одном светильнике - около 8 Вт. Рекомендуемая температура источника света - до 4000 К. Распространение света вниз передненаправленного освещения блокируется пластиной, расположенной под источником света. Примерная мощность элемента подсистемы передненаправленного освещения, расположенного на светильнике - 8 Вт. Рекомендуемая температура света - выше 4000 К. Светодиоды бокового освещения располагаются в центре корпуса, также в углублении и открыты со стороны, перпендикулярной направлению движения. Для данной подсистемы рекомендуется использовать источники света мощностью не выше 10 Вт и температурой ниже 5000 К. На корпусе сверху находится крышка с радиатором для отвода тепла. Корпус может быть выполнен из инженерного пластика, алюминия или стали и иметь уровень водонепроницаемости не ниже IP 65. Управляющая плата помещается внутри корпуса светильника. Магистральные светильники монтируются на высоте не выше 1.5 м с интервалом не более 10 м. Схема светильника, устанавливаемого в тоннелях и на магистралях представлена на рисунке 21.

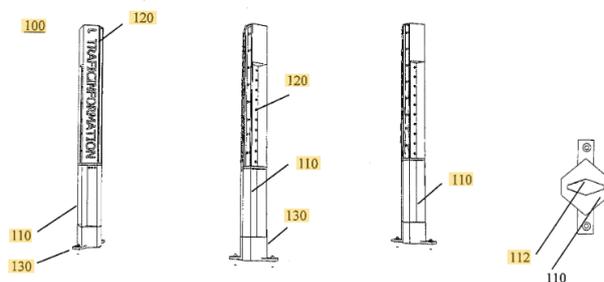


1 – корпус светильника, 2 и 7 – блокирующие пластины, 3 и 6 – вырезы со светодиодными элементами, 4 – радиатор, 5 – крепление на ограждение

Рисунок 21 – Схема светильника для автомагистралей

Светильники для установки на муниципальных дорогах имеют форму столба с аналогичным принципом расположения элементов и схожими характеристиками. Светодиоды задненаправленного освещения расположены на низком уровне, светодиоды передненаправленного и бокового освещения - на среднем уровне. Эти подсистемы находятся на высоте не выше 4 м.

Вводится дополнительная периферийная подсистема освещения, которая необходима для подсветки внешней стороны дороги. Она располагается на уровне глаз водителя и направлена перпендикулярно дороге в сторону тротуара. Интервал между светильниками - от 2 до 12 м. Корпус имеет вентиляционную камеру и герметичную крышку для доступа к электронике. Пластина для крепления к земле находится в нижней части корпуса. Схема светильника для муниципальных дорог представлена на рисунке 22.



100 – общий вид светильника, 110 – корпус светильника, 120 – светодиодные элементы, 130 – крепление, 112 – вентиляционное отверстие

Рисунок 22 - Светильник для муниципальных дорог

Ослабление слепящего эффекта для проезжающих в противоположном направлении автомобилей выполняется путем установки экрана между разделительными полосами, схема которого представлена на рисунке 23. Также рекомендуется устанавливать антибликовые зеркала заднего вида. Попадание света на дорожное покрытие исключается путем использования перекрывающей плоскости под источником.

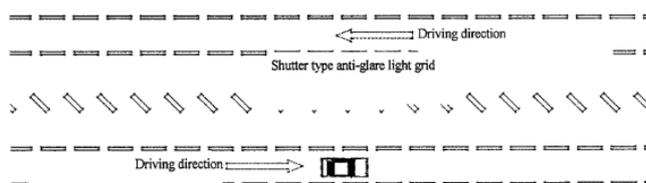


Рисунок 23 – Схема антибликового экрана между полосами противоположных направлений. Стрелками указаны направления движения автомобилей

Система многомерного освещения имеет следующие достоинства: она решает проблему низкой энергоэффективности существующего освещения, проблему возникновения бликов, проблему недостаточной интенсивности и равномерности пространственного освещения, а также справляется с проблемами теплоотвода светодиодных светильников благодаря интеграции радиаторов, снижает стоимость установки и упрощает ремонт системы освещения.

Однако существует проблема обеспечения ее работоспособности в зимних условиях, так как светильник полностью открыт для внешних воздействий. Вполне вероятно, что при большом количестве осадков осветительные приборы будут занесены снегом и возникнет необходимость их очистки для сохранения безопасности на дороге. Снегоуборочная техника может повредить устройство, что сделает его неработоспособным. Должна быть предусмотрена антивандальная защита. Мерами защиты может стать улучшение интеграции осветительных приборов в инфраструктуру дороги. Светильники, используемые для освещения муниципальных дорог, не имеют данных недостатков, так как в нерабочем состоянии они убираются.

Достоинства разработки:

- специальные меры для нейтрализации бликов: компоненты перекрытия и экраны между полосами;
- простота установки;
- отдельные компоненты освещения, которые можно использовать в разных сценариях с разными вариантами настройки;
- компактность;
- экономичный светодиодный источник света.

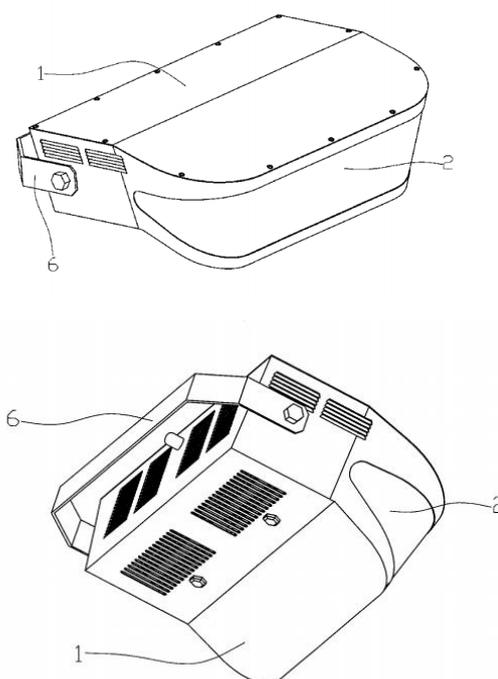
Недостатки разработки:

- отсутствие мер антивандальной и механической защиты;

- отсутствие линз и отражателей, может стать причиной низкой равномерности освещения.

## 2.2 Лампа низкого позиционирования с острым углом падения света

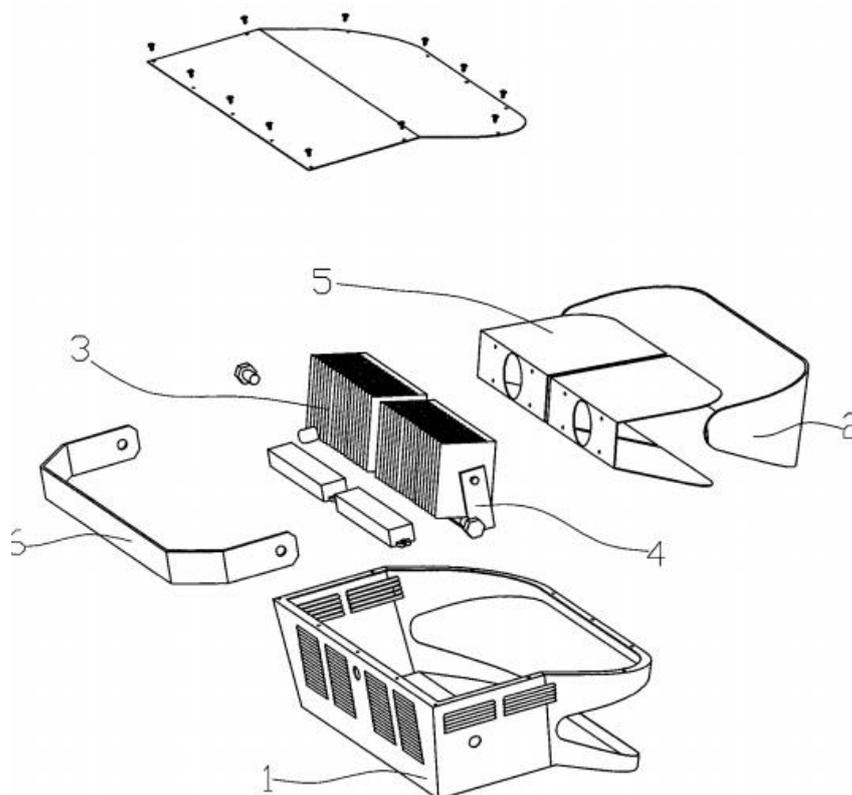
Светильник, описанный в патенте “Лампа низкого позиционирования с острым углом падения света” [34], состоит из корпуса, двух светодиодных источников света и регулирующей пластины. Свет проходит через вырез, который выполнен на одной стороне светильника и проходит к бокам светильника. Светильник дает широкий горизонтальный угол освещения – более 150 градусов, но небольшой вертикальный угол освещения – менее 30 градусов. Поворот источников света внутри корпуса регулируется пластиной. Направление света лампы также регулируется по вертикали с помощью скобы. Схема светильника представлена на рисунке 24.



1 – корпус светильника, 2 – вырез, 6 - крепление с регулируемым наклоном светильника

Рисунок 24 – Светильник

Для каждого источника освещения устанавливается отражатель, регулировка поворота источника света в горизонтальной плоскости внутри корпуса выполняется при помощи регулирующей рукоятки, присоединенной к регулирующей пластине. Герметичность и защита от воды достигается при помощи водонепроницаемого экрана. Схема строения светильника представлена на рисунке 25.



1 – корпус, 2 – водонепроницаемый экран, 3 – радиатор, 4 – регулирующая пластина, 5 – отражающая пластина из алюминия, 6 – крепление с регулировкой угла

Рисунок 25 – Схема внутреннего строения светильника

Светильник устанавливается на ограничительные ограждения по обеим сторонам дороги на высоте от 0,8 до 1,2 м над дорогой. Расстояние между двумя светильниками – (8-16) м. Схема установки светильника указана на рисунке 26.

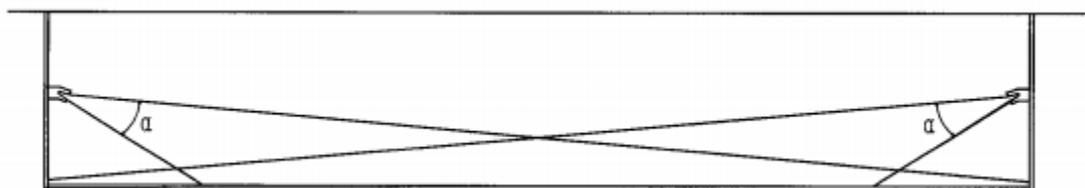


Рисунок 26 – Схема установки светильника. Указан вертикальный угол падения света – 26 градусов

Источником освещения являются LED-модули мощностью 8 Вт каждый. Модули зафиксированы на отдельных медных базах, к каждой из которых прикреплен радиатор. Регулировка поворота в горизонтальной плоскости осуществляется отдельно для каждого источника. Радиатор выполнен из алюминия и устанавливается за отражающей пластиной. LED-чип должен работать на напряжении сети в (170-250) В, для чего должен быть предусмотрен блок питания.

Достоинства разработки:

- равномерность освещения;
- возможность регулировки направления света как для каждого источника, так и для лампы в целом;
- компактность и энергоэффективность LED-источников;
- герметичность.

Недостатки разработки:

- отсутствие противоударной защиты;
- светящаяся поверхность не перекрывается, поэтому не исключается возникновение слепящего эффекта.

### 2.3 Светильник “Orus”

На рисунке 27 представлен светильник “Orus” от компании Thorn Lighting [35]. Конструкция светильника идентична конструкции, описанной в вышеобозначенном патенте [34] за исключением использования одного

газоразрядного источника света вместо двух светодиодов. Рекомендуемая высота установки светильника - 0,9 м над дорогой и расстояние между лампами (8-15) м. В светильнике используется металлогалогенная лампа мощностью (35-70) Вт. Утверждается, что дальность освещения может достигать 11 м. Также отмечается увеличение качества освещения благодаря углу падения света, равному углу взгляда водителя на дорогу.



Рисунок 27 – Светильник Orus

Утверждается, что присутствует значительное снижение слепящего эффекта при использовании светильника по сравнению с фарами. Значение порогового приращения света – 10 %.

Светильник отвечает стандарту IK 10/40 (защита от падения объекта в 10 кг с высоты 40 см) и IP66. Светильник устойчив к вандализму и механическим повреждениям. Производитель заявляет возможность освещения дороги шириной в 20 м при двустороннем расположении светильников. Размеры светильника (включая опору) представлены на рисунке 28.

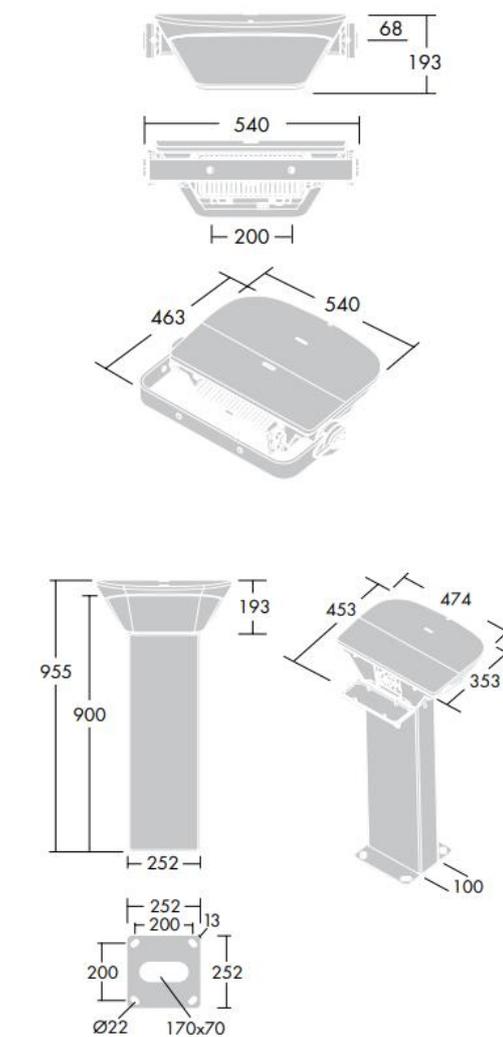


Рисунок 28 – Размеры светильника Orus

Устройство имеет следующие преимущества:

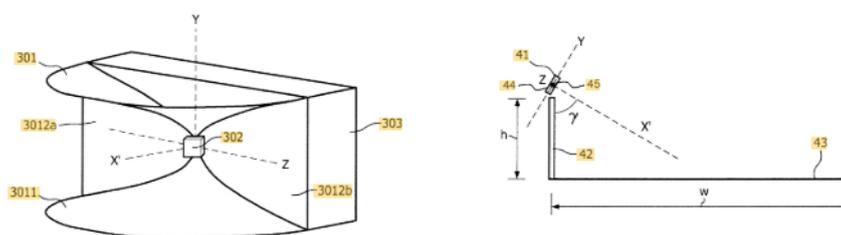
- устойчивость к повреждениям и герметичность;
- равномерность освещения;
- продукт уже используется в сфере освещения.

Недостатки:

- большой размер металлогалогенной лампы;
- сложности в настройке интенсивности света и его распределения из-за размера лампы;
- светящаяся поверхность не перекрывается, поэтому не исключается возникновение слепящего эффекта.

## 2.4 Светильник с параболическим отражателем

Светильник, о котором говорится в патенте “Светильник с параболическим отражателем” [36] состоит из корпуса, реализующего отвод тепла, источника освещения, параболического отражателя, образованного вращением профиля вокруг оси  $Y$  на угол от 90 до 180 градусов и дополнительных отражателей. Установка светильника выполняется на столб или дорожное ограждение на высоте (1-1.2) м. Для установки используется крепление с регулируемым углом наклона. На рисунке 29 показано устройство и установка светильника.



303 – корпус, 302 – LED-источник света, 301 и 3011 – параболические отражатели, 3012а и 3012b – дополнительные отражатели, 41- светильник, 45 – корпус, 44 крепление на столб, 42 – столб или дорожное ограждение, 43 – автодорога

Рисунок 29 – Устройство и установка светильника

Изменяя форму параболического отражателя, можно контролировать распространение света в любой плоскости, проходящей через ось вращения. Профилем вращения может быть парабола, гипербола, сегмент окружности, эллипса и т.д. Профиль может быть составным и ассиметричным относительно оси  $X$ . Профили образуют “составной параболический концентратор”. Благодаря такой форме отражателя, обеспечивается высокая направленность света. Использование LED-источника света дает такие преимущества как энергоэффективность и увеличение срока службы устройства без ремонта. Схема светильника в проекции сверху и сбоку представлена на рисунке 30.

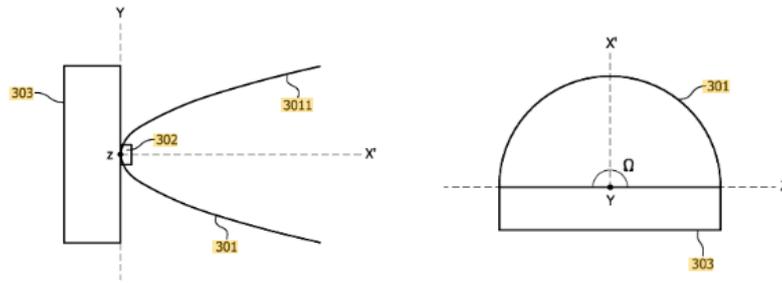


Рисунок 30 – Схема светильника в проекции сбоку и сверху

#### Преимущества

- благодаря высокой направленности света, уменьшается яркость слепящего эффекта;
- высокая равномерность света в горизонтальной плоскости;
- светодиодный источник света – энергоэффективный, компактный и с длительным сроком службы;
- небольшие габариты светильника.

#### Недостатки:

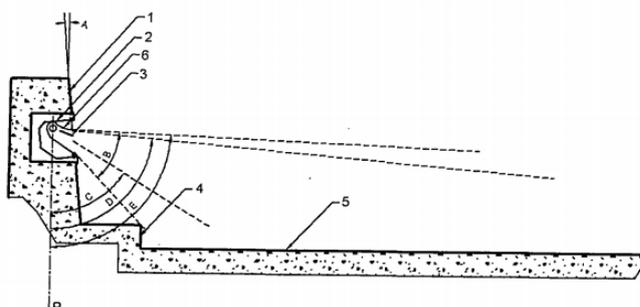
- не предусмотрена антивандальная защита, герметичность от осадков и защита от механических повреждений;
- один светодиодный блок не позволит создать достаточно высокий контраст между объектами и дорогой;
- отсутствуют элементы перекрытия света.

### 2.5 Антибликовый дорожный светильник встроенного типа.

Светильник, описанный в патенте “Антибликовый светильник встроенного типа” [37] был разработан для решения проблемы низкой дальности освещения боковых прожекторов на мостах, кольцевых дорогах и для снижения слепящего эффекта прожекторов, в особенности, на подъемах дорог.

Устройство встраивается в противоударный барьер (стену или колонну). Светильник имеет газоразрядный источник света мощностью от 35

до 70 Вт, отражатель, образованный множеством изогнутых плоскостей, и перекрывающий элемент. Свет направлен в сторону центра дороги, светильник защищен прозрачным стеклом. Максимальный угол между вертикальной осью и лучом падения света в вертикальной плоскости не больше 88 градусов. На рисунке 31 показано устройство светильника и способ установки.



1 – противоударный барьер, 2 – источник света, 3 – перекрывающий элемент, 4 – поребрик дороги, 5 – дорожное покрытие, 6 – отражающая поверхность светильника

Рисунок 31 – Устройство светильника и способ установки

Рефлекторы выполнены из анодированного алюминия, перекрывающий элемент выполнен из алюминия с распыленным покрытием. Источник света расположен вдоль горизонтальной оси светильника. Установка выполняется вровень с поверхностью стены или колонны. Угол между открытой частью светильника и вертикальной плоскостью должен быть не более 10 градусов. Расстояние между светильниками – 4-6 метров.

Утверждается, что такая конструкция позволяет освещать от 6 до 12 метров поверхности дороги, дает равномерное освещение и позволяет повысить контрастность препятствий на дороге. Перекрывающий элемент защищает водителя от слепящего эффекта.

Преимущества:

- защита от механических повреждений;
- антивандальная защита и герметичность благодаря отсутствию открытых частей.

Недостатки:

- неравномерное освещение в горизонтальной плоскости;
- отсутствие возможности регулировки наклона;
- усложненная установка из-за необходимости встраивания в ограждение или колонну;
- источник света низкой энергоэффективности;
- не подойдет для использования в местах отсутствия бетонных противоударных ограждений.

### **3 РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ**

#### **3.1 Описание методологии проектирования**

Так как разрабатываемый светильник является инновацией, его проектирование необходимо выполнять с начальных ступеней разработки продукта, пройдя через стадии определения потребности, спецификаций, создания концептов с помощью инженерных методик решения задач и системного проектирования, выполнения проверки концептов на работоспособность, а затем разработки дизайн-решения на основе наиболее подходящего концепта.

В основе процесса разработки мы будем использовать философию системного проектирования как наиболее современный подход к решению задач. Определение системного подхода гласит, что любой объект или система должны быть рассмотрены как совокупность взаимосвязанных между собой элементов, также связанных со средой, в которой они функционируют. Объект рассматривается как сложная система взаимосвязей и как элемент общей системы [38].

Системный подход основан на совокупности дизайн-подходов [38]:

- системность (целостность и многоаспектность подхода к проблеме, разностороннее исследование совокупности проблем, многоплановые связи между элементами и соединение всех компонентов в единую систему задач и решений, подчиняющихся единым принципам);
- человекоориентированность (необходимость разработки исходит от потребности человека, а не от потребности компании в развитии продукта);
- проблематизация (постановка и решение совокупности определенных проблем);
- междисциплинарность (соотнесение дизайнерских задач с задачами других дисциплин, необходимых для решения

поставленных проблем, объединенное понимание проблем и задач, совместное принятие решений в междисциплинарной команде);

- синтез (сбор результатов всех аспектов и направлений разработки в целостное решение, корректируя результаты на каждом этапе в режиме “обратной связи” с конечными пользователями).

Процесс системного проектирования начинается с анализа исходной ситуации. Изучается специфика отрасли (ее текущие условия) и определяются рекомендации (совокупность задач, которые нужно решить). Данный этап можно еще назвать этапом определения потребности. Стоит помнить, что необходимо рассмотреть потребности каждого из клиентов: водителей, пешеходов, работников дорожных служб, муниципалитета [38].

Текущие условия отрасли магистральных светильников:

- технический прогресс – совершенствование технологий освещения за последние 10 лет позволило заменить газоразрядные светильники в уличном освещении на более энергоэффективные и компактные светодиодные светильники;
- развитие городской инфраструктуры – происходит быстрое совершенствование инфраструктуры городов России, внедрение принципов урбанизации, эргономики и повышенное внимание государства к безопасности дорожного движения.

Задачи отрасли:

- необходимо улучшить эффективность магистральных светильников в тумане для повышения безопасности дорожного движения;
- необходимо повысить эргономичность светильников для снижения усталости водителей;

- необходимо повысить энергоэффективность дорожного освещения для снижения затрат бюджета на поддержание системы и уменьшения влияния производства энергии на экологию;
- необходимо снизить световое загрязнение загородных районов для повышения комфорта жителей поселений;
- необходимо упростить ремонт и эксплуатацию магистральных светильников для снижения ресурсозатрат муниципалитета и дорожных служб.

Далее разрабатывается общая концепция системного дизайна – совокупность принципов создания продукта;

- светильник рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов, влияющих на его показатели качества: техническую эффективность, ресурсосбережение и экологичность;
- он также рассматривается как часть общей системы, среди компонентов которой инфраструктура дороги, внешняя среда и участники дорожного движения;

Светильник должен стать более эффективной во всех аспектах, выделенных в главе 1.5 заменой стандартного освещения.

После выявления проблем, подлежащих решению, необходимо [38]:

- определить составляющие, влияющие на проблемы;
- установить связи между ними;
- определить степень их взаимовлияния;
- установить возможные направления решения проблем;
- выработать критерии для выбора направлений;
- определить наиболее перспективные направления;
- выстроить стратегии решения проблем.

Составляющими системы являются спецификации (показатели качества) и функции светильника. Для определения взаимосвязей между спецификациями нам поможет метод Quality Function Deployment. Далее будет

проведена функциональная декомпозиция продукта. В процессе дальнейшего решения проблемы будут использованы методы концептуализации (создания обобщающей проектной модели): мозговой штурм, ТРИЗ и морфологический метод. Оценка концептов будет выполняться в несколько фаз: оценка осуществимости, go-no go анализ, матрица решений и сравнение с пользовательскими требованиями. Данная методология разработки инженерного решения описана в книге “The Mechanical Design Process” Дэвида Ульмана [39].

### **3.2 Разбор пользовательских требований и спецификаций**

Понять проблему проектирования с точки зрения подхода системного дизайна значит перевести требования клиента в техническое описание разрабатываемого продукта. Требования и спецификации могут меняться в связи с изменением технологии и появлением конкурентных разработок, но даже маленькие изменения могут заставить проектную команду переопределить большую часть принятых решений. Поэтому очень важно на ранних стадиях проекта разработать набор этих параметров. Требования клиентов выявляются с помощью исследования, опросов или фокус-групп. Мы будем использовать требования к светильникам, обозначенные в изученной литературе.

Для этой цели мы будем использовать метод QFD (Quality Function Diagram), также называемый “Дом качества”. Мы не будем указывать конкретные значения спецификаций, так как для проектирования дизайна на данном этапе они не используются, но этот метод позволит изучить проблему подробнее и классифицировать полученную информацию.

Диаграмма состоит из нескольких блоков: клиенты (Кто?), требования клиентов (Что?), конкурентные разработки (Сейчас?), спецификации (Как?) и цели (Как много?). Корреляция между блоками ”Кто” и “Что” показывает, какие именно требования важны для определенной группы пользователей.

Соотношение между “Сейчас” и “Что” показывает возможности для создания лучшего продукта. Соотношение между “Что” и “Как” определяет связь требований со спецификациями. Наконец, взаимосвязь между “Что” и “Что” показывает, как изменение одной спецификации повлияет на другие [39].

Диаграмма представлена на рисунке 16.

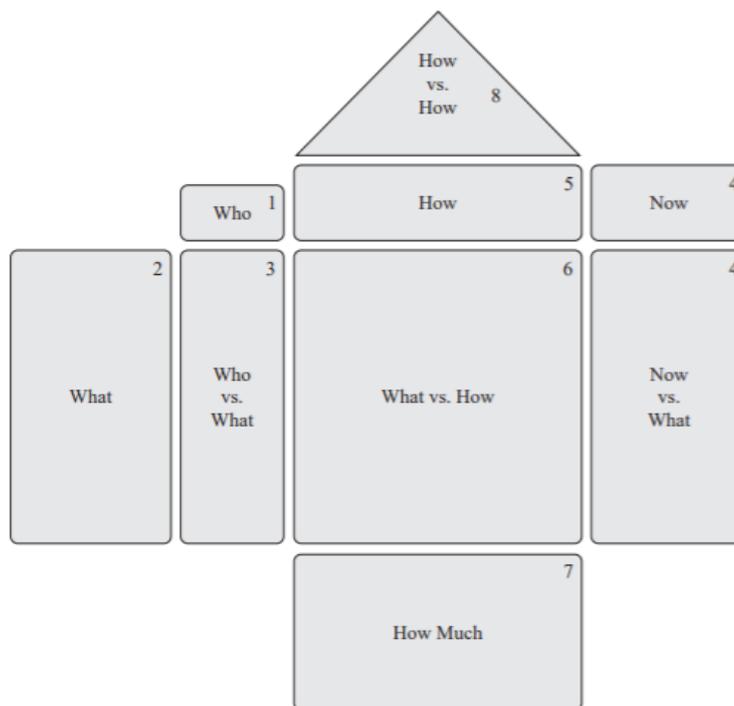


Рисунок 16 – Диаграмма “Дом качества”

Требования клиентов не должны включать базовый функционал и должны соответствовать модели Кано, основанной на качестве работы и повышении удовлетворения пользователя. Оценку важности требований будем выполнять фиксированным количеством баллов (100 баллов).

Оценка конкуренции выполняется для того, чтобы, во-первых, узнать, какие существуют разработки в области, и насколько они удовлетворяют требованиям пользователей. Во-вторых, данный этап необходим для поиска возможностей улучшения продукта. Данный этап может быть субъективным, поэтому мы будем выполнять оценку по полученной информации из патентов и литературы и на основе субъективного анализа. Оценка выполняется по

пятибалльной шкале, где 1 – продукт не соответствует требованию, 2 – продукт слегка соответствует требованию, 3 – продукт в целом соответствует требованию, 4 – продукт по большей мере соответствует требованию, 5 – продукт полностью удовлетворяет требованию [39].

Спецификации – это измеримые параметры, которые отражают требования клиента в инженерном виде. Эти параметры позволяют инженеру определить, соответствует ли продукт поставленным требованиям. Для этого устанавливаются целевые параметры. Стрелки направлений “вниз” и “вверх” обозначают, в каком направлении изменение параметра приведет к улучшению качества продукта. Значения спецификаций приводить не будем, так как для разработки дизайна предмета они не требуются. Однако данные спецификации дают понять, какие аспекты продукта стоит затронуть при разработке дизайна и какие взаимосвязи между ними нужно учесть [39].

Измерение взаимосвязей между требованиями и спецификациями выполняется по уровню корреляции: отсутствует, слабая, средняя и сильная. Сильная взаимосвязь отмечается символом ●, средняя – символом ○, слабая – символом □. Отсутствие символа в ячейке говорит об отсутствии взаимосвязи. Каждое требование должно иметь как минимум одну спецификацию с сильной взаимосвязью [39].

Взаимосвязи между спецификациями также исследуются. Такие взаимосвязи необходимо определить на ранних этапах работы, чтобы знать, какие параметры повлияют друг на друга. Для этого используются обозначения “+” – улучшение одной спецификации позитивно повлияет на другую – и “-” – улучшение одной спецификации негативно повлияет на другую. Наличие спецификаций, имеющих такую зависимость, говорит о необходимости поработать над разрешением конфликта с помощью методов разрешения противоречий [39].

На рисунке 17 показан дом качества для проекта стационарного магистрального противотуманного светильника.



### 3.3 Генерация концепта

Концептуальный дизайн связан с изучением и разработкой функционала продукта. При создании концепта дизайнер руководствуется принципом “форма следует за функцией”. Концепт – это идея, достаточно проработанная, чтобы оценить физические принципы работы предмета, технологии для их реализации, базовую архитектуру и возможности производства. Концепт может быть представлен скетчем, диаграммой потоков, прототипом, набором расчетов или в письменном виде. Для создания успешного продукта необходимо разработать несколько концептов, среди которых проводится отбор – это наилучшая стратегия, так как разработка лишь одной идеи без изучения альтернатив неизбежно приведет к упущению возможностей в создании лучшего продукта [40].

В процессе концептуализации используются множество техник. Мы воспользуемся функциональной декомпозицией и генерацией вариантов концепта. Функциональная декомпозиция служит для лучшего понимания функциональных требований, а генерация вариантов концепта нацелена на проработку реализации этих функций.

Функция – это логический поток энергии, материала или информации между объектами, или изменение состояния объекта под воздействием потоков. Энергия трансформируется, хранится, передается, подается или рассеивается в результате движения этих потоков [40].

Функция может изменять состояние объекта. Например, сжатая пружина содержит потенциальную энергию и при изменении состояния, она трансформирует энергию в кинетическую и передает другому объекту. Другие примеры изменения состояния объекта – изменение механических характеристик, формы, информационного содержания.

Метод функциональной декомпозиции позволяет подробно изучить будущий продукт путем разбивки проблемы на потоки энергии, материала и

информации. Метод может быть применен совместно с QFD, чтобы более глубоко понять проблему. Метод состоит из следующих шагов [40]:

- определить основную функцию предмета на основе требований клиентов;
- определить подфункции;
- разбить подфункции на элементарные подфункции.
- упорядочить подфункции.

Основная функция стационарного противотуманного светильника для автомагистралей – преобразование электрической энергии в световую и рассеивание света в строго определенном направлении.

Диаграмма функции представлена на рисунке 32. Пунктирной линией обозначается поток информации, тонкой линией – поток материала, жирной – поток энергии.

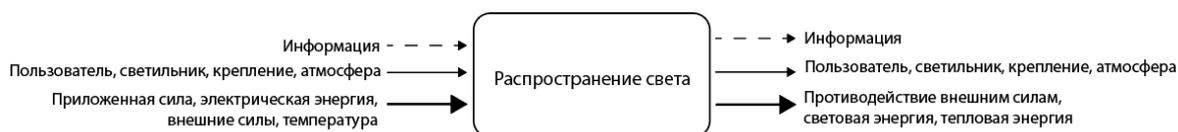


Рисунок 32 – Диаграмма главной функции светильника

У данной функции существуют следующие подфункции: защита светильника, преобразование и рассеивание энергии, установка светильника, ремонт светильника, управление светильником, проверка работоспособности.

Дальнейшее разделение функций на элементарные подфункции делит подфункцию “преобразование и рассеивание энергии” на подфункции “преобразование энергии” и “освещение”. Функция “защита светильника” делится на подфункцию “защита от механического воздействия”, “защита от осадков” и “устойчивость к температуре”. Функция “установка светильника” делится на подфункции “позиционирование светильника” и “фиксация светильника”. Функция “ремонт светильника” делится на подфункции “разборка/сборка светильника” и “замена элемента освещения”. Функция

“управление светильником” делится на подфункции “управление направлением света” и “управление состоянием вкл/выкл”.

Функция “освещение” далее делится на “освещение дороги”, “освещение объектов” и “ослабление слепящего эффекта”. Функция “преобразование энергии” делится на подфункции “эффективное преобразование энергии”, “рассеивание света” и “рассеивание тепла”.

Подфункции упорядочиваются таким образом, чтобы в совокупности исполнять основную функцию устройства. На рисунке 33 изображена функциональная схема светильника.

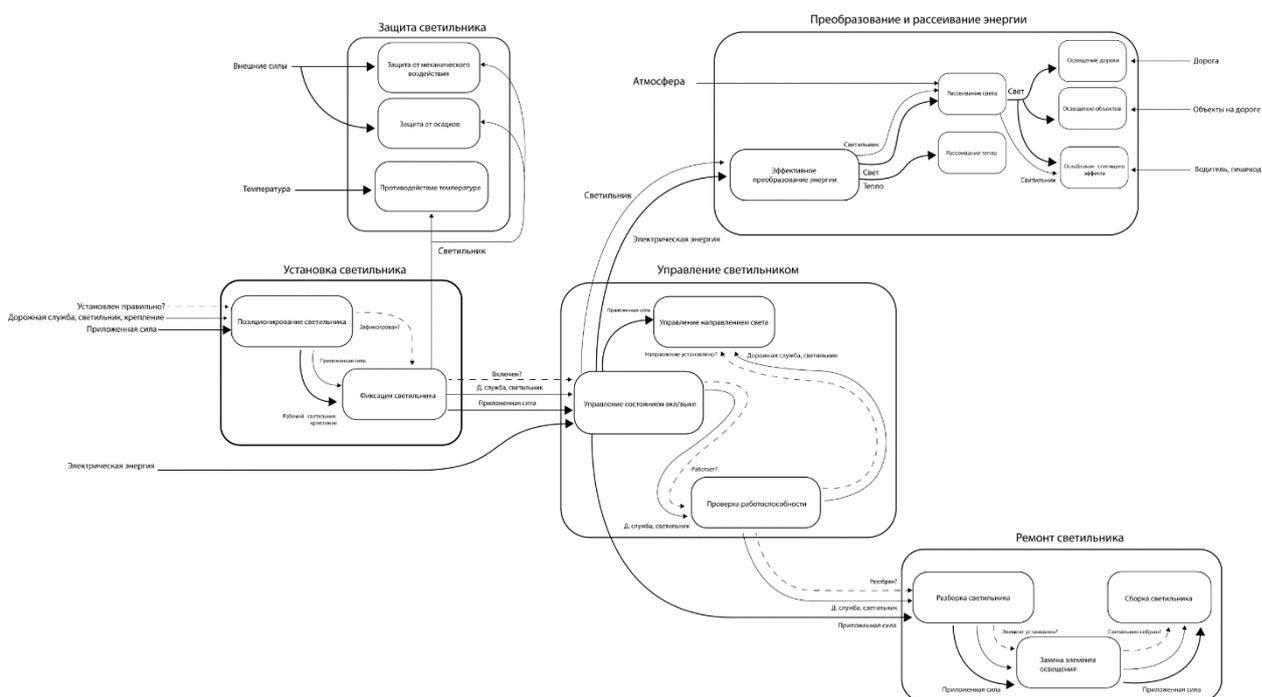


Рисунок 18 – Функциональная схема работы светильника

Следом за разбором функций идет этап генерации идей. Существует множество инструментов для выполнения этой задачи: мозговой штурм и его модификации, метод аналогий, книги и инженерные журналы. Эксперты в области и патенты также могут стать источником вдохновения. Для нахождения решения противоречий используются такие методы, как ТРИЗ и метод облака (Evaporating cloud). Наконец, для управления процессом генерации идей используется метод морфологического проектирования [39].

Перед началом морфологического проектирования, следует решить противоречия дизайна, так как это даст возможность увидеть новые возможные решения. Метод ТРИЗ (теория решения изобретательских задач) помогает избежать процесса проб и ошибок при решении противоречий проектирования и выбрать наиболее оптимальные решения. За основу метода взят принцип аналогий: многие изобретательские принципы, решающие похожие проблемы, используются в совершенно разных областях. ТРИЗ использует анализ 2,5 миллионов патентов, методология которых сведена к формальным 40 изобретательским принципам. Противоречия дизайна формализуются и сопоставляются в таблице изобретательских принципов, после чего инженер получает идеи, используя которые можно решить задачу [39].

При анализе спецификаций были выявлены 3 противоречия:

- уменьшение размера светильника приводит к уменьшению равномерности освещения;
- повышение защиты светильника приводит к увеличению его размеров;
- увеличение количества элементов управления ведет к увеличению сложности производства светильника.

Первое противоречие было формализовано как “уменьшение статичной площади, сохранив продуктивность”. Для решения этого противоречия ТРИЗ предлагает использовать следующие принципы:

1. использовать многоуровневую расстановку объектов вместо одноуровневой (использовать несколько источников освещения с разных сторон светильника);
2. установить один объект внутри другого (использовать установку методом встраивания).

В формальном виде второе противоречие звучит как “улучшение надежности статичного объекта, сохранив его объем”. Предложенные принципы:

1. изменить параметры гибкости объекта (сделать корпус гибким);

2. изменить концентрацию (распределить мощность освещения вдоль дороги вместо ее концентрации в светильнике).

Формализация третьего противоречия звучит следующим образом: “Увеличение сложности устройства без снижения простоты производства”.

Были предложены следующие принципы:

1. использовать более простой и недорогой объект для исполнения функции (использовать простые крепления без возможности регулировки);
2. разделить объект на отдельные независимые части (устанавливать датчики отдельно от светильника);
3. сделать статичную часть подвижной, а подвижную – статичной (двигать источник света вместо корпуса светильника и крепления).

Морфологическое проектирование состоит из трех этапов [39]:

- анализ полученных функций;
- поиск как можно большего числа концептов для каждой функции;
- соединение концептов в общие концепты продукта, которые отвечают функциональным требованиям.

Данный метод использует найденные на этапе декомпозиции функции для формирования идей на основе знаний и креативности дизайнера. Цель морфологического проектирования – генерация как можно большего количества идей с минимальной оценкой. Для поиска концептов морфологии был использован метод мозгового штурма в совокупности с исследованием журналов, каталогов и аналогов. Морфологические элементы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Морфологические элементы дизайна

Подфункция	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Позиционирование	На балку ограждения	На опору ограждения	В землю	
Фиксация	На кронштейн	На скобу	Накладным способом	
Управление состоянием	Все компоненты работают одновременно	Компоненты работают в зависимости от установки оператора	Компоненты используют датчики для выбора режима	
Проверка работоспособности	Визуальная	С помощью датчиков		
Управление направлением света	Адаптируемое крепление	Перемещение лампы		
Разборка	С использованием инструментов	Без использования инструментов	Цельный корпус без возможности разборки	
Замена элемента освещения	Запасной элемент освещения	Вручную при перегорании	Элемент освещения без возможности замены	
Сборка	С использованием инструментов	Без использования инструментов	Один раз на производстве	
Защита от механических воздействий	Механическим способом	Особая форма	Гибкий корпус	
Защита от осадков	Увеличенная герметичность	Плафон		
Устойчивость к температуре среды	Термостат	Термоизоляция	Устойчивые к температуре компоненты	Кулер
Эффективное преобразование энергии	LED-чип	LED-лампа	Газоразрядная лампа	
Рассеивание света	Матовый рассеиватель	Призматический рассеиватель	Прозрачное стекло	
Рассеивание тепла	Радиатор	Через корпус	Кулер	
Освещение дороги	Боковое освещение	Верхнее освещение		
Освещение объектов	Задненаправленное освещение	Передненаправленное освещение	Комбинированное	

## Продолжение таблицы 2

Ослабление слепящего эффекта	Перекрывающие элементы	Плафон		
---------------------------------	---------------------------	--------	--	--

После генерации концептов необходимо провести их оценку. Может возникнуть желание начать разрабатывать один из понравившихся, однако этот подход может привести к неоптимальному решению. Если концепт невозможно оправдать рационально, он должен быть откинут. Разработка всех возможных концептов также не будет оправдана с точки зрения распределения ресурсов. Многие крупные компании, однако, используют подход разработки нескольких концептов одновременно и отсеивают некоторые из них по мере получения новой информации. Для принятия правильного решения существуют методы оценки концептов [39]. Мы будем использовать следующие методы: оценка осуществимости, матрица решений, сравнение с требованиями пользователя. Оценка по этим методам выполняется последовательно.

Базовый метод, используемый на начальном этапе анализа – оценка осуществимости на основе знаний дизайнера. Концепт оценивается по трем градациям: “стоит рассмотрения”, “может сработать, при определенном условии” и “неосуществим”. Неосуществимым концепт можно считать по множеству критериев: он может быть технологически нереализуем, не подходить под требования пользователей, быть недостаточно оригинальным или слишком новаторским. Причем некоторые новаторские концепты могут быть реализуемы, если будет доступна ранее неизвестная информация или произойдет развитие технологии. Анализ готовности технологий также включается в этап отбора концептов, однако, здесь он рассмотрен не будет, так как мы используем уже реализованные технологии. Концепты, которые стоят рассмотрения, требуют сбора большого количества информации и даже разработки моделей или прототипов для их более подробного изучения [39].

После оценки на реализуемость были исключены концепты, с элементами, выделенными красным цветом в таблице 2. Элементы концептов, которые условно готовы к реализации, но требуют дополнительного исследования, выделены желтым цветом.

Для дальнейшего отбора концептов нам поможет go/no-go тестирование, которое позволит оценить каждый концепт по соответствию пользовательским требованиям. По сравнению с предыдущим этапом, данный анализ поможет оценить оставшиеся концепты на эффективность совместного выполнения функции и оставить только подходящие по требованиям. Тестирование представлено в таблице 3. Требования указаны в следующем порядке:

1. качественное освещение в тумане;
2. качественное освещение в нормальных условиях;
3. долгое время функционирования до ремонта;
4. надежная конструкция;
5. комфортная эксплуатация;
6. эстетичный внешний вид;
7. быстрая установка;
8. простой ремонт;
9. экономичный ремонт;
10. простое управление;
11. экономичная эксплуатация;
12. простое производство;
13. экологичность;
14. безопасность.

Таблица 3 – Go/no-go анализ альтернативных вариантов

Установка		Требования														Итого go	Итого no-go	Обознач.	
		Тр. 1	Тр. 2	Тр. 3	Тр. 4	Тр. 5	Тр. 6	Тр. 7	Тр. 8	Тр. 9	Тр. 10	Тр. 11	Тр. 12	Тр. 13	Тр. 14				
<b>Позиционирование</b>																			
<b>Фиксация</b>																			
На балку	Встраиванием	+	+		+	+	+										7	0 A1	
	На кронштейн	+	+	-	-	-	+										3	4	
	На скобу	+	+	-	-	-	+										3	4	
На опору	Встраиванием	+	+	-	-	+	+										6	1	
	На кронштейн	+	+	-	-	-	+										4	3	
	На скобу	+	+	+	-	+	+										6	1	
В землю	Встраиванием	-	-	+	-	+	-										2	5	
	На кронштейн	+	+	+	-	+	-										4	3	
	На скобу	+	+	+	-	+	-										4	3	
<b>Управление</b>																			
<b>Управление сост.</b>																			
<b>Управление свет. Проверка работоспос.</b>																			
Оператор	Адапт. Креп.	Визуальная Датчиками																	
Датчики	Адапт. Креп.	Визуальная Датчиками																	
<b>Преобразование энергии</b>																			
<b>Эф. Преобраз. Энерг. Расс. Света</b>																			
<b>Расс. Тепла</b>																			
LED-чип	Матовый рассеиватель	Радиатор Ч/з корпус	+	+	+	+	+	+											
			+	+	+	+	+	+											
			+	+	+	+	+	+											
LED-лампа	Матовый рассеиватель	Радиатор Ч/з корпус	+	+	+	+	+	+											
			+	+	+	+	+	+											
			+	+	+	+	+	+											
<b>Освещение</b>																			
<b>Освещ. Объектов</b>																			
<b>Освещ. дороги</b>																			
<b>Ослаб. Слеп. Эф</b>																			
Задненаправ. Освещ.	Боковое освещ.	Перекрыв. Эл Плафон	-	-	-	+	-	+	+	+									
			-	-	-	+	+	+	+	+									
			-	-	-	+	-	-	-	-									
Передненапр. Освещ.	Боковое освещ.	Перекрыв. Эл Плафон	-	-	-	-	-	+	+	+									
			-	-	-	+	+	+	+	+									
			-	-	-	+	-	-	-	-									
Комбинированное	Боковое освещ.	Перекрыв. Эл Плафон	+	+	-	+	-	+	+	+									
			+	+	+	+	+	+	+	+									
			-	+	-	-	-	-	-	-									
<b>Ремонт</b>																			
<b>Разборка</b>																			
<b>Замена ист. Свет Сборка</b>																			
С исп. Инстр.	Запасной эл.	С исп. Инстр Без исп. Инстр																	
Без исп. Инстр.	Запасной эл.	С исп. Инстр Без исп. Инстр																	
<b>Защита светильника</b>																			
<b>Защита от м. возд</b>																			
<b>Защита от осадкс</b>																			
<b>Устойчивость к темп.</b>																			
Механическим спосо	Увеличенная гер	Термоиз. Устойчивые компоненты	+	+		+													
			+	+		+													
			+	+		+													
Особая форма	Увеличенная гер	Термоиз. Устойчивые компоненты	+	+		+													
			+	+		+													
			+	+		+													

В результате отбора, осталось несколько вариантов с комбинациями решений, которым были присвоены буквенные и цифровые обозначения.

Последний шаг оценки для отбора финальных комбинаций – матрица принятия решения. С помощью данного способа можно сравнить, какое из альтернативных решений соответствует требованиям или спецификациям. Для этого используется оценка важности требований или сравнение с количественными значениями инженерных спецификаций. Наиболее оптимальное решение, по мнению дизайнера, принимается за образец. Каждое сравнение приводит к оценке альтернативы как более оптимальной по критерию, одинаково оптимальной или менее оптимальной. Проведем сравнение альтернативных комбинаций и выявим наиболее оптимальное решение. Сумма значений, умноженных на важность критериев дает взвешенный результат, по которому можно судить, какие из альтернатив стоит взять на разработку [39]. Результат оценки представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица принятия решения

	Важность	A1B1B1Г1Д1Е1	A1B1B1Г1Д1Е2	A1B1B1Г1Д1Е3	A1B1B1Г1Д1Е4	A1B1B1Г1Д2Е1	A1B1B1Г1Д2Е2	A1B1B1Г1Д2Е3	A1B1B1Г1Д2Е4
1. Качественное освещение в тумане;	0,11		1			1 О		1	1
2. Качественное освещение в нормальных условиях;	0,13					Б			
3. Долгое время функционирования до ремонта;	0,11					Р			
4. Надежная конструкция;	0,08	1	1	1	1 А		1		1
5. Комфортная эксплуатация;	0,04		1			1 Э	1		1
6. Эстетичный внешний вид;	0,1	-1	-1	-1	-1	-1 Е			
7. Быстрая установка;	0,05	-1	-1	-1	-1	-1 Ц			
8. Простой ремонт;	0,05	-1	-1	-1	-1	-1			
9. Экономичный ремонт;	0,05								
10. Простое управление;	0,02								
11. Экономичная эксплуатация;	0,05								
12. Простое производство;	0,1		-1	-1	-1		-1	-1	-1
13. Экологичность;	0,03								
14. Безопасность.	0,08								
Сумма		-0,12	-0,07	-0,22	-0,07		0,13	-0,1	0,13

На основании результатов оценки, было составлено описание концепта, в котором для обеспечения наивысшей защиты было решено использовать механические методы защиты (концепт Ф1Б1В1Г1Д2Е2) и особую форму (концепт Ф1Б1В1Г1Д2Е4) в совокупности.

Описание концепта:

- установка: позиционирование на балку ограждения, фиксация методом встраивания;

- управление: управление режимами с помощью датчиков, управление направлением света на выполняется, определение работоспособности с помощью датчиков;
- преобразование энергии: для освещения используются LED-чипы, для увеличения равномерности освещения и снижения слепящего эффекта используется матовый рассеиватель, для отвода тепла используется радиатор;
- освещение: комбинированное, освещение дороги боковое, перекрытие света выполняется с помощью особой формы плафона;
- ремонт: без инструментов, в лампу может быть встроен запасной элемент освещения;
- защита светильника: выполняется с помощью особой формы светильника и механических методов защиты.

При этом светильник должен обладать следующими свойствами:

- использовать несколько источников освещения для улучшения равномерности света;
- мощность освещения должна быть распределена по длине, чтобы уменьшить глубину светильника;
- крепление должно быть простым для производства без регулировки уровня наклона;
- датчики тумана устанавливаются отдельно от светильника, на несколько светильников используется один датчик.

## 4 РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА СВЕТИЛЬНИКА

### 4.1 Эскизное проектирование

Корпус светильника служит для равномерного распределения света и защиты внутренних компонентов от повреждения. Равномерность освещения обеспечивается распределением светодиодных чипов по сторонам освещения. Равномерность освещения также поддерживается рефлектором внутри светильника и линзой. Благодаря использованию светодиодов, появляется возможность создания компактного светильника, который не будет мешать движению и станет безопасным. Корпус светильника должен иметь козырек, который выполняет две функции: защита светильника от осадков и перекрытие света для ослабления слепящего эффекта. Разборка и сборка корпуса должна выполняться с минимальным количеством инструментов, желательно, без инструментов. На рисунке 19 представлены варианты дизайна корпуса светильника.

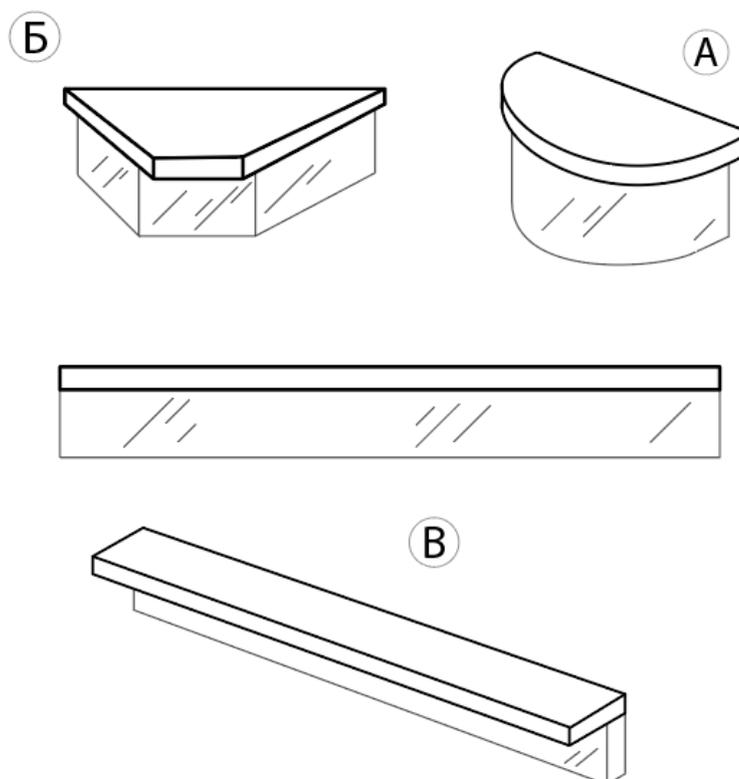


Рисунок 19 – Варианты дизайна корпуса

Вариант формы А обеспечивает наиболее равномерное освещение, однако с такой формой трудно организовать большинство методов защиты, и она усложняет производство светильника. Плюс этого варианта - форма светильника выглядит дружелюбно и безопасно.

Светильник формы Б можно защитить более широким набором способов, поскольку он имеет плоские грани. Также его форма позволит лучше разграничить области элементов освещения и использовать отдельный отражатель для каждого компонента, что даст больше контроля над направлением света и гибкость настройки режимов работы. Форма соответствует современным тенденциям в дизайне, поскольку не выделяет светильник среди элементов дорожной инфраструктуры.

Форма варианта В позволяет снизить вынос светильника при установке со стороны дороги. Светодиодные элементы распределены по всей длине корпуса светильника. Светильник может не дать достаточно равномерного освещения, поскольку при низком профиле нельзя установить элементы освещения, направленные против движения и в сторону движения автомобилей.

Была выбрана форма Б исходя из ее функциональности и простоты производства.

Корпус должен содержать: светодиодные источники света, рефлекторы, механизм управления направлением света, элемент управления светодиодами датчик работоспособности светодиода, радиатор, рассеиватель света и элемент перекрытия света. Дополнительно должна быть установлена защита для предотвращения повреждения светильника от камней, удара от автомобиля или целенаправленного акта вандализма. Варианты защиты светильника представлены на рисунке 20.

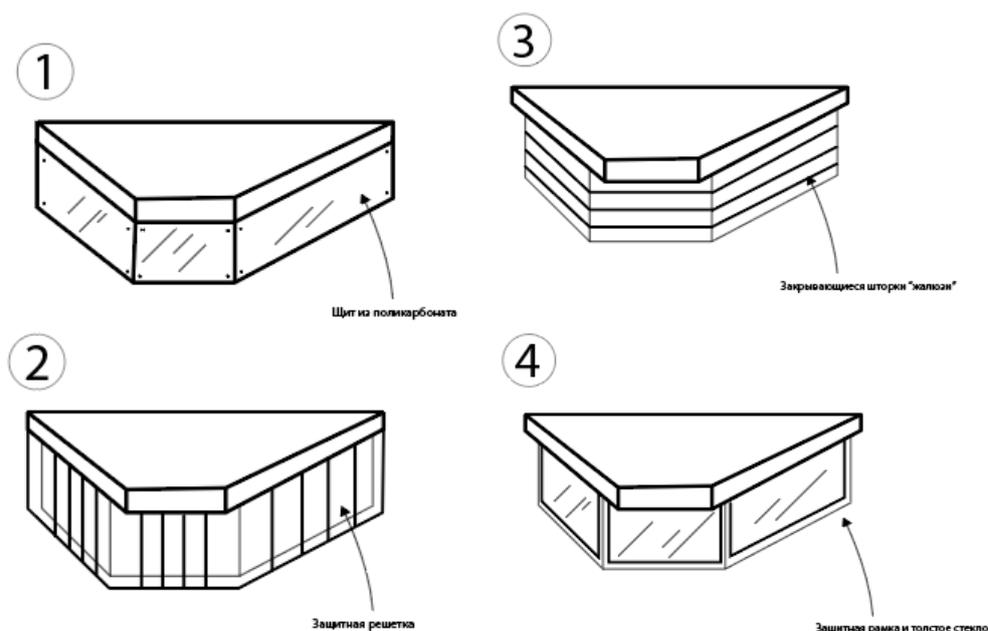


Рисунок 20 – Антивандальная защита светильника

Метод защиты 1 предполагает использование защиты из прозрачного поликарбоната [39]. Панели крепятся на светильник на болты вровень с козырьком для уменьшения скопления пыли и грязи. Данный способ защиты самый эстетичный ввиду органичной интеграции панелей с конструкцией.

Решетка под номером 2 защитит светильник от крупных предметов и вандализма, однако, она может быть неэффективна против мелких камней. Данный метод защиты не отличается элегантностью и придает светильнику brutальный промышленный вид.

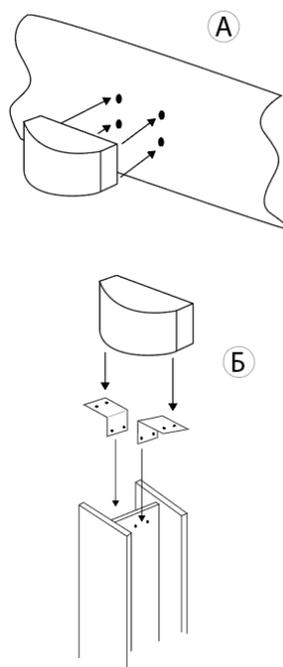
Защита с помощью шторок под номером 3 предполагает использование механизма открытия и закрытия светильника. Таким образом, светильник будет полностью защищен в дневное время суток и открыт в ночное время. Недостаток способа – необходимости интеграции механизма управления шторками и увеличение себестоимости и сложности светильника.

Защитная рамка под номером 4 будет поддерживать целостность стекла светильника и защитит ее от ударов и вандализма. Однако, рамка не дает защиты от камней, поэтому такая защита должна обеспечиваться

рассеивателем увеличенной толщины, что снижает светопропускаемость и повышает стоимость производства.

Мы будем использовать вариант защиты 1, так как он прост в производстве, не меняет восприятие светильника и не влияет на его производительность.

Установку светильника можно реализовать двумя способами – на балку дорожного ограждения и на стойку ограждения. Для установки на балку светильник должен иметь низкий профиль, чтобы не мешать движению автомобилей и пешеходов по обочине и обеспечивать безопасность в случае ДТП. Крепление на стойку может быть выполнено на скобу. Варианты крепления указаны на рисунке 21.



А – крепление на балку ограждения, Б – на стойку ограждения

Рисунок 21 – Варианты крепления светильника

#### 4.2 Техническое обеспечение конструкции

Для использования в светильнике были выбраны светодиодные модули типа COB (Chip on Board). В отличие от светодиодных модулей типа SMD (Surface Mounted Device), модули COB имеют большую световую отдачу,

занимают меньше площади при такой же силе света и обладают меньшей теплоотдачей [42]. Для обеспечения необходимой яркости дорожного покрытия требуется лампа со световым потоком 3300 лм [35], которая имеет температуру света около 3000 К. Такая температура света оптимальна, поскольку обладает достаточным индексом цветового распознавания и высокой эффективностью в тумане [32]. Такой световой поток может обеспечить модуль СОВ мощностью 30 Вт, который имеет размеры 40x54 мм [43].

Отвод тепла светодиода будет выполняться радиатором из алюминия, установленным в задней части корпуса светильника.

Для изготовления корпуса светильника было принято решение использовать сталь с полимерным порошковым покрытием, так как среди используемых для светильников конструкционных материалов она обладает наиболее высокой химической стойкостью и стойкостью к температурным изменениям [19].

Для обеспечения равномерного освещения и уменьшения слепящего эффекта был выбран матовый рассеиватель. Данный тип рассеивателя имеет светопропускаемость ниже, чем у призматического, но дает более равномерный свет и значительно снижает яркость бликов. Такой тип рассеивателя часто используется в уличных светильниках, устанавливаемых на низкой высоте над землей [44]. Рассеиватель изготавливается из светотехнического полистирола.

Наилучший вариант установки светильника – на балку дорожного ограждения. Такая установка обеспечит лучшее освещение участка дороги, находящегося близко к ограждению, и будет отвечать условию расположения светильника ниже уровня глаз водителя.

В соответствии с ГОСТ Р-52607 – 2006 “Ограждения дорожные удерживающие для автомобилей. Общие технические требования” [45], ограждения должны быть безопасными для автомобиля, его водителя и

пассажиров, а также пешеходов на тротуарах. Детали ограждения не должны попасть в салон автомобиля, а автомобиль не должен опрокинуться или развернуться после наезда на ограждение. Поэтому, чтобы обеспечить безопасность, светильник не должен быть вынесен за пределы ребра балки. Чем менее вынесен светильник в сторону дороги, тем меньше вероятность его вывода из строя от удара движущегося автомобиля, светильник будет более безопасным для автомобилистов и не будет мешать движению вдоль обочины.

В качестве примера будет рассмотрено ограждение 11ДО/У1-У4 высотой 750 мм с балкой СБ-0 (4) длиной 2320 мм, шириной 312 мм, высотой 83 мм и толщиной 4 мм. Ограждение состоит из балки, стойки и амортизатора. Балка дорожного ограждения, стойка и амортизатор изготавливаются из стали С245 ГОСТ 27772. Балка изготавливается из гнутого профиля по ТУ 14-101-406. Данный вариант ограждения подходит для участков дороги, требующих удерживающую способность ограждения уровня У4. Условия использования ограждений уровня У4 указаны в ГОСТ 52607-2006, в частности, такие ограждения могут быть использованы на четырехполосных автомагистралях без изгибов или с кривой радиусом более 600 м группы сложности А и шестиполосных магистралях группы сложности Б. Чертеж дорожного ограждения указан на рисунке 22 [46], чертеж балки указан на рисунке 23.

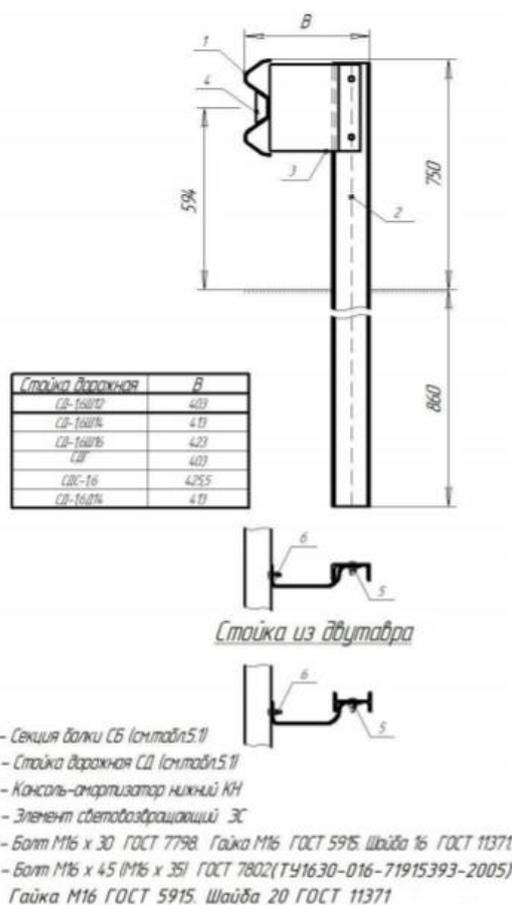


Рисунок 22 – Чертеж барьерного ограждения

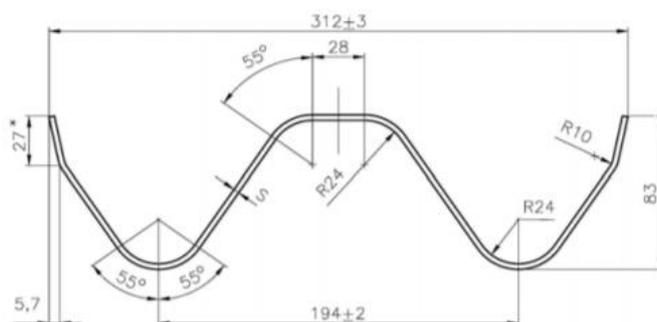


Рисунок 23 – Чертеж балки ограждения

### 4.3 Разработка дизайн-решения

Было решено организовать установку светильника методом встраивания между ребрами профиля балки так, чтобы не было выступающих элементов. Такой вид установки позволит обезопасить светильник от ударов сверху и снизу, осадков и обеспечит беспрепятственное движение по обочине. Установка будет выполняться на винты, располагающиеся во внутренней

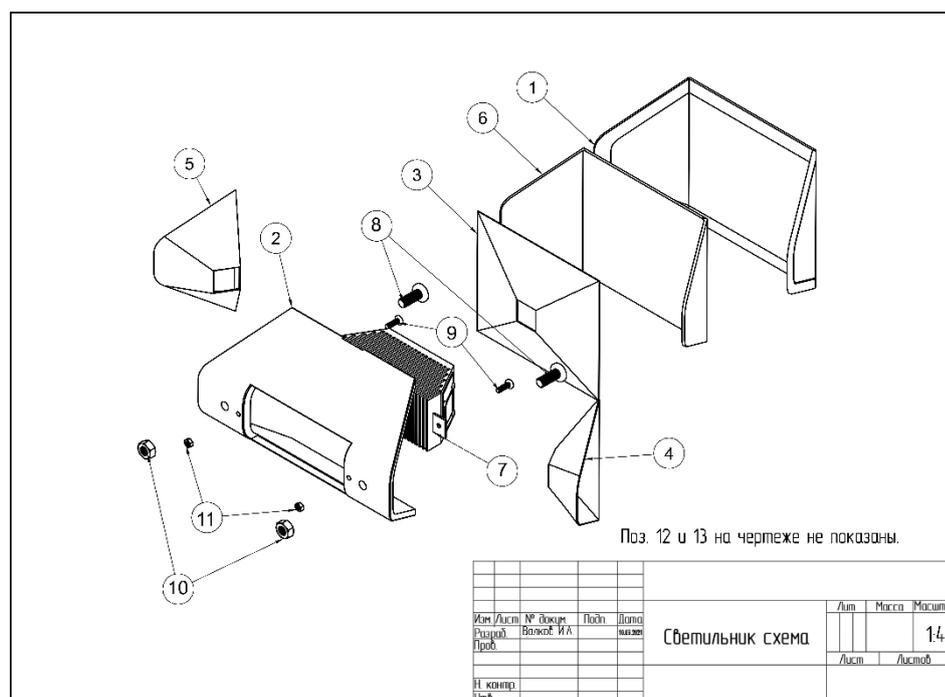
части корпуса светильника и фиксирующиеся с обратной стороны ограждения с помощью гаек. Отсутствие элементов крепления вне корпуса придаст светильнику чистый эстетичный вид и превратит его из отдельного элемента в часть дорожной среды.

Защита светильника от ударов сбоку и камней выполняется защитной рамкой, в которой установлена прозрачная вставка из поликарбоната. Рамка также держит рассеиватель, установленный на передней части светильника. Крепление рамки выполняется с помощью защелок на корпусе. Для снятия рамки в верхней части корпуса предусмотрено углубление под инструмент. Данный тип крепления рамки даст возможность быстрого разбора светильника для выполнения установки и ремонта, так как для разбора не требуется работа с отверткой.

Радиатор устанавливается внутри корпуса на винты и фиксируется гайками с задней стороны корпуса. Для более эффективного отвода тепла в корпусе со стороны радиатора имеется вырез. Светодиодные элементы фиксируются винтовым соединением непосредственно на радиаторе. Радиатор имеет особую форму, которая предполагает установку светодиодов с трех сторон для обеспечения широкого угла освещения.

Для каждого светодиодного элемента устанавливается отдельный отражатель. Отражатель, направляющий свет против движения потока автомобилей, имеет форму, способствующую распространению света в сторону дорожного полотна и уменьшающую распространение света вверх. Отражатель, направленный в сторону движения потока, имеет форму, способствующую распространению света вверх. Отражатель, направленный перпендикулярно дороге, рассеивает свет равномерно во все стороны.

Взрыв-схема светильника представлена на рисунке 24.



1 – защитная рамка, 2-корпус, 3 – передний отражатель, 4 – левый отражатель, 5 – правый отражатель, 6 – рассеиватель, 7 – радиатор с установленными светодиодными элементами

Рисунок 24 – Взрыв-схема светильника

При принятии решений в дизайне были использованные полученные идеи в результате использования метода ТРИЗ. Так уменьшение габаритов светильника с сохранением равномерности освещения было обеспечено установкой нескольких светодиодных модулей, распространяющих освещение в разные стороны и встраиванием светильника в уже имеющиеся элементы дорожной среды. Для сохранения простоты производства было решено использовать простые крепления без движущихся элементов. Сохранение надежности светильника без добавления громоздких защитных элементов было обеспечено низким профилем светильника и встраиванием.

Чертежи светильника продемонстрированы в приложениях Б-Е. Список компонентов указан в приложении Ж. На рисунке 25 представлена визуализация светильника в среде использования.

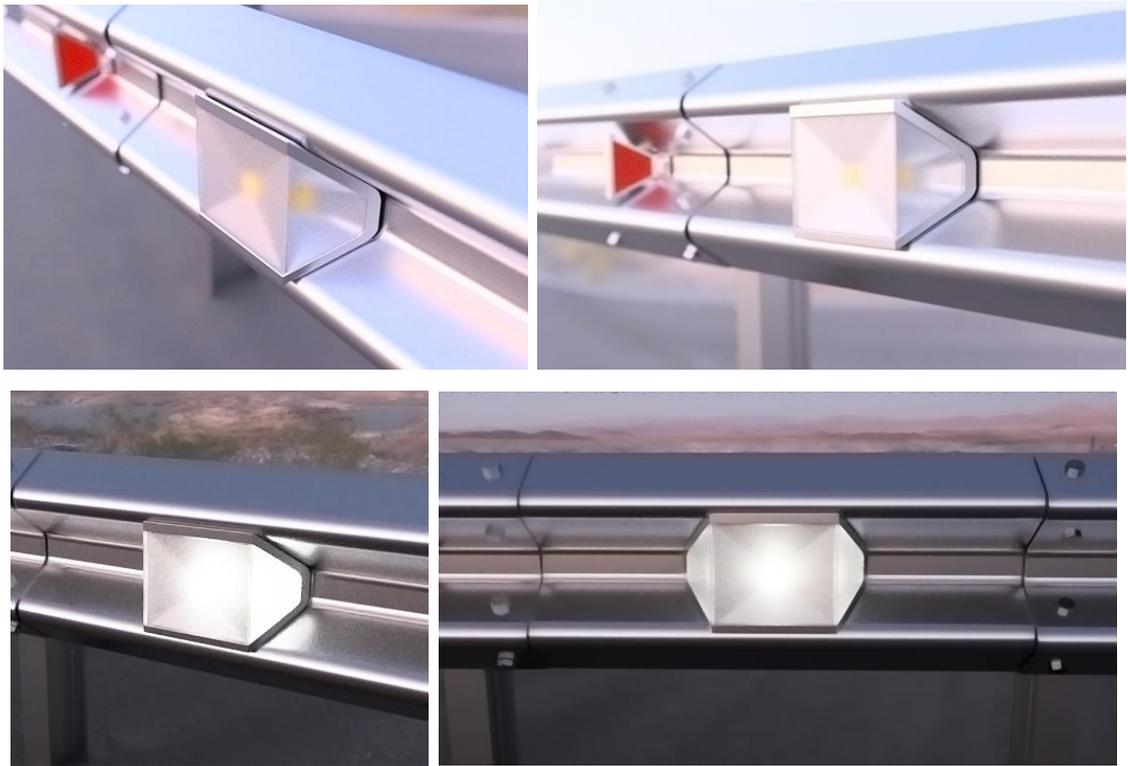


Рисунок 25 –Визуализация светильника

Эстетика светильника заключается в чистоте геометрических форм и его свойству органичной интеграции с элементами среды. Конструкция является надежной, защищенной от вандализма и снегоуборочной техники. Светильник может функционировать в зимнее время благодаря устойчивости светодиодов к низкой температуре, его расположение не позволит ему оказаться под слоем снега. Светильник обеспечивает равномерное освещение дорожного полотна без создания слепящего эффекта благодаря рассеивателю, особой форме отражателей и низкоуровневому расположению. Он более энергоэффективен, чем стандартные магистральные светильники, так как освещает лишь полезное пространство. Установка, ремонт и настройка светильника просты и не требуют специального оборудования. Простая форма корпуса делает изготовление светильника простым и не ресурсоемким. Светильник может использоваться вместо стандартных фонарей, так как он будет эффективен при освещении во время тумана и может быть использован во время нормальных погодных условий.

При разработке прототипа светильника должно быть соблюдено требование обеспечения влагозащиты не ниже IP3X, должны быть протестированы показатели освещенности, яркости освещения, равномерности освещения и порогового приращения света на соответствие нормативам. Светильник также должен быть протестирован на ударопрочность и надежность в соответствии с нормативами.

## **5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

В этом разделе будет произведена оценка проекта с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения, чтобы доказать перспективность разработки и ее коммерческую ценность. Раздел направлен на решение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала научно-исследовательской работы;
- планирование НИР;
- расчет бюджета работы;
- определение ресурсной, и финансовой эффективности исследования.

Цель данного раздела – оценка полных денежных затрат, необходимых для разработки стационарного противотуманного магистрального светильника и оценка потенциальных результатов внедрения светильника в систему магистрального освещения автомобильных дорог, а также планирование работ по научно-исследовательскому проекту.

Предварительная оценка проекта позволит создать условия определенности для привлечения финансирования и оценить перспективы научного исследования. Путем изучения коммерческого потенциала и перспективности проекта можно определить, будет ли результат исследования востребован на рынке, какова будет его цена, окупаемость и требуемый бюджет для реализации.

Поскольку успешность проекта зависит от совокупности факторов, экономическая оценка производится по множеству параметров, таких как:

- технические характеристики;
- конкурентность разработки;
- уровень завершенности научного исследования;
- бюджет разработки;

- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов и тенденции их развития.

Этот раздел также служит для планирования проекта и организации эффективного управления разработкой.

## **5.1 Технология QuaD**

Метод QuaD используется для анализа конкурирующих разработок и выявления их сильных и слабых сторон. Это необходимо для того, чтобы установить вектор развития разработки и создать потенциально более успешный продукт. Исследование конкурентов позволит оценить сравнительную эффективность разработок и определить направления исследования, на которых стоит заострить внимание.

Конкуренты в сфере разработки противотуманного стационарного освещения представлены в главе “Патентный поиск” и будут оцениваться по следующим техническим критериям:

- эффективность – равномерность освещения, дальность освещения в тумане, яркость освещения дороги, качество вертикального освещения;
- эргономичность – защита от попадания света в глаза водителю и пешеходам;
- компактность – габаритные размеры;
- надежность – защита от воды и ударов, антивандальная защита
- гибкость в использовании – возможность использования в разных сценариях, например, как во время тумана, так и в нормальных погодных условиях;
- удобство обслуживания – количество деталей, удобство доступа к деталям для замены, количество стандартизированных деталей;
- простота в эксплуатации – простота установки и настройки, удобство управления системой;

- экологичность – возможность утилизации деталей, экологичность элементов, энергосбережение;
- безопасность – отсутствие опасных деталей, безопасная форма.

К каждому показателю применяется метод экспертной оценки, по которому ставится оценка показателя от 1 до 100 баллов и его вес. Сумма весов должна быть равна 1.

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле (1):

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение  $P_{cp}$  позволяет оценить перспективы разработки и качество проведенного исследования. Значение показателя  $P_{cp}$  от 100 до 80 означает, что разработку можно считать перспективной. Оценка от 79 до 60 – перспективность выше среднего, от 69 до 40 – средняя перспективность, от 39 до 20 – ниже среднего. Оценка от 19 баллов и ниже говорит о крайне низкой перспективности.

Основные преимущества и недостатки конкурентов 1-5 представлены в таблице 1 главы 1.2.6. Конкурентная разработка 1 представлена системой освещения на основе светодиодных ламп, состоящая из нескольких компонентов освещения, направленных в разные стороны для обеспечения раздельного освещения дороги, препятствий и противотуманного освещения. Осветительные приборы имеют разный форм-фактор для автомагистралей и муниципальных дорог. Корпуса выполнены в виде коробок, лампы утоплены в корпус. Разработка 2 представлена светильником, выполненным в корпусе с вырезом по всей ширине. Внутри корпуса находятся две LED-лампы с

регулируемым углом наклона. Разработка 3 по форме корпуса аналогична разработке 2, но использует одну газоразрядную лампу без возможности регулировки поворота. Это единственная коммерчески успешная разработка. Разработка 4 состоит из параболического отражателя и светодиодной лампы, расположенной в центре отражателя. Форма отражателя может быть приспособлена под определенный участок дороги на этапе производства и сборки. Аналог 5 является встраиваемым LED-светильником, который устанавливается в бетонные ограждения.

Для выполнения сравнительной оценки конкурентов используется оценочная карта. Оценочные карты конкурентных разработок продемонстрированы в таблицах 5-9.

Таблица 5 – Оценочная карта конкурента 1

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
Эффективность	0,25	90	100	0,9	22,5
Эргономичность	0,25	60	100	0,6	15
Компактность	0,05	100	100	1	5
Надежность	0,2	40	100	0,4	8
Гибкость в использовании	0,05	70	100	0,7	3,5
Удобство в обслуживании	0,1	100	100	1	10
Простота в эксплуатации	0,02	50	100	0,5	1
Экологичность	0,05	100	100	1	5
Безопасность	0,03	100	100	1	3
Всего	1	710	900	7,1	73

Таблица 6 – Оценочная карта конкурента 2

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
Эффективность	0,25	80	100	0,8	20
Эргономичность	0,25	40	100	0,4	10
Компактность	0,05	80	100	0,8	4
Надежность	0,2	60	100	0,6	12
Гибкость в использовании	0,05	70	100	0,7	3,5
Удобство в обслуживании	0,1	100	100	1	10
Простота в эксплуатации	0,02	80	100	0,8	1,6
Экологичность	0,05	100	100	1	5
Безопасность	0,03	80	100	0,8	2,4
Всего	1	640	900	6,4	68,5

Таблица 7 – Оценочная карта конкурента 3

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
Эффективность	0,25	80	100	0,8	20
Эргономичность	0,25	40	100	0,4	10
Компактность	0,05	60	100	0,6	3
Надежность	0,2	80	100	0,8	16
Гибкость в использовании	0,05	50	100	0,5	2,5
Удобство в обслуживании	0,1	100	100	1	10
Простота в эксплуатации	0,02	80	100	0,8	1,6
Экологичность	0,05	50	100	0,5	2,5
Безопасность	0,03	80	100	0,8	2,4
Всего	1	620	900	6,2	68

Таблица 8 – Оценочная карта конкурента 4

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
Эффективность	0,25	100	100	1	25
Эргономичность	0,25	60	100	0,6	15
Компактность	0,05	80	100	0,8	4
Надежность	0,2	40	100	0,4	8
Гибкость в использовании	0,05	50	100	0,5	2,5
Удобство в обслуживании	0,1	100	100	1	10
Простота в эксплуатации	0,02	100	100	1	2
Экологичность	0,05	100	100	1	5
Безопасность	0,03	80	100	0,8	2,4
Всего	1	710	900	7,1	73,9

Таблица 9 – Оценочная карта конкурента 5

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
Эффективность	0,25	60	100	0,6	15
Эргономичность	0,25	80	100	0,8	20
Компактность	0,05	50	100	0,5	2,5
Надежность	0,2	100	100	1	20
Гибкость в использовании	0,05	30	100	0,3	1,5
Удобство в обслуживании	0,1	50	100	0,5	5
Простота в эксплуатации	0,02	100	100	1	2
Экологичность	0,05	100	100	1	5
Безопасность	0,03	50	100	0,5	1,5
Всего	1	620	900	6,2	72,5

По результатам экспертной оценки, разработка 4 имеет наибольшую сумму средневзвешенных значений из-за высокой эффективности. В то же время, разработки 1 и 5 также набрали большое количество баллов. Их отличает высокая компактность и надежность соответственно. Все разработки имеют перспективность выше среднего, поскольку данная технология только находится на этапе развития и не имеет большой конкуренции.

## **5.2 SWOT-анализ**

Анализ проводится для того, чтобы определить факторы, повышающие конкурентоспособность разработки, упущения проекта, а также проанализировать возможные благоприятные и опасные ситуации для его реализации.

На первом этапе анализа рассмотрим сильные и слабые стороны нашего проекта и внешние факторы, которые принесут новые возможности или станут угрозой проекту.

Сильные стороны – ресурсы и возможности, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции, которыми располагает разработка. Они состоят из технических преимуществ, командных возможностей и уровня развития проекта.

Слабые стороны напротив – недостатки проекта или возможностей, которые имеются у конкурентов, например: слабые технические характеристики или производственные возможности, внутренние препятствия развитию проекта.

Возможности – вероятные внешние ситуации, которые положительно повлияют на разработку, такие как: изменения в технологической сфере и на рынке, изменения политики, социальные изменения. При поиске возможностей стоит обратить внимание на тенденции, благоприятные рыночные ситуации и новые потребности покупателей.

Угрозы являются обратной стороной внешних изменений – нежелательной ситуацией на рынке или в других сферах, которая негативно повлияет на проект. Среди угроз: негативные тенденции, действия конкурентов, изменения технологий в пользу конкурентов, изменения стандартов, законодательные препятствия.

Первый этап – табличное описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз. Вторым этапом – составление интерактивной матрицы и определение взаимосвязей между указанными пунктами (Таблицы 11-14). Третьим этапом выполняется сведение матрицы SWOT-анализа (Таблица 10).

Таблица 10 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	<p>С1: Более высокая эффективность освещения в условиях тумана и нормальных условиях;</p> <p>С2: Повышенная эргономичность – улучшенная защита от бликов;</p> <p>С3: Улучшенная противоударная и антивандальная защита;</p> <p>С4: Гибкость в использовании благодаря различному фактору для разных сценариев;</p> <p>С5: Экологичность за счет использования светодиодных ламп.</p>	<p>Сл1: Требуется демонтаж стандартной системы освещения и замена на новую;</p> <p>Сл2: Необходимо протестировать множество вариантов установки, форм и мощностей ламп в реальных условиях;</p> <p>Сл3: Отсутствие стандартов тестирования освещения в тумане и универсальных требований к установке низкоуровневых светильников;</p> <p>Сл4: Необходима поддержка администрации для введения светильников в эксплуатацию;</p> <p>Сл5: Возникает противоречие между организацией качественного пространственного освещения и освещением высокой направленности.</p>

Продолжение таблицы 10

<p><b>Возможности:</b></p> <p>V1: Курс правительства и администрации на улучшение безопасных условий вождения;</p> <p>V2: Применение светильников в местах с экстремальными погодными условиями;</p> <p>V3: Сотрудничество с дорожными службами;</p> <p>V4: Поддержка со стороны водителей;</p> <p>V5: Введение международных норм уровня освещения в условиях низкой видимости.</p>	<p>V1C1C2C3 – Повышение спроса на разработку;</p> <p>V2B4C1C2 – Повышение безопасности вождения на автодорогах;</p> <p>V3C3C4 – Снижение сложности настройки и частоты ремонта;</p> <p>V5C1C2 - Задание нового стандарта магистрального освещения в России.</p>	<p>V1B5Cл3Cл4 – Потребуется убедить правительство в эффективности и необходимости разработки;</p> <p>V2Cл2Cл3Cл5 – Возникает необходимость самостоятельного выведения критериев оценки и проведения тестов;</p> <p>V3Cл1Cл2 – Поддержка дорожных служб поможет в тестировании и выявлении скрытых особенностей монтажа и настройки;</p> <p>V4Cл2Cл5 – Водители могут помочь провести тестирование в реальных условиях;</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1: Отсутствие поддержки администрации ввиду нехватки бюджетных средств;</p> <p>У2: Сложности в поиске производства, соответствующего требованиям качества продукции;</p> <p>У3: Непринятие новой системы освещения водителями и пешеходами;</p> <p>У4: Недостаток финансового обеспечения для завершения исследования;</p> <p>У5: Препятствия со стороны законодательства.</p>	<p>У2У4C1C3 – Для обеспечения высокого качества необходимо обеспечить производство достаточным количеством средств и найти подходящих поставщиков;</p> <p>У3C1C2C3C4C5 – Страх перед нововведением у людей может не возникнуть, если разработка будет достаточно качественной и продуманной;</p>	<p>У1Cл1Cл4 – В случае недостатка бюджетных средств, проект можно переориентировать на западный рынок.</p> <p>У2Cл3 – Необходимо предоставить производству свои критерии и методы тестирования;</p> <p>У3Cл3Cл5 – Потребуется доказательство эффективности системы для ее принятия водителями;</p> <p>У4Cл2 – Необходимо провести поиск дополнительных средств на рынке стартапов;</p> <p>У5Cл1Cл3Cл4 – Необходимо составить новый набор стандартов на основе данных исследования.</p>

--	--	--

Таблица 11 – Интерактивная матрица проекта 1

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	-	-
	B2	+	+	0	0	-
	B3	0	-	+	+	-
	B4	+	+	-	-	-
	B5	+	0	-	0	-

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта 2

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	+	-	+	+	-
	B2	-	+	+	-	+
	B3	+	+	-	0	-
	B4	-	+	-	0	+
	B5	+	-	+	+	0

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта 3

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	0	0	0	0	-
	У2	+	-	+	-	-
	У3	+	+	+	+	+
	У4	+	-	+	-	-
	У5	-	-	-	-	-

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта 4

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	+	0	0	+	-
	У2	-	0	+	-	0
	У3	-	-	+	0	+
	У4	-	+	0	-	-
	У5	+	-	+	+	0

Результаты SWOT-анализа показывают, что проект является перспективным, поскольку разработка имеет множество преимуществ и возможностей по сравнению с аналогами, а с недостатками и угрозами можно справиться.

### 5.3 Структура работ в рамках научного исследования

Для организации проекта необходимо установить содержание каждого из этапов и распределить имеющиеся ресурсы по этапам, так как качество организации и проведения разработки будет влиять на качество результата. Нужно установить количество, роли и квалификацию работников, участвующих в процессе и оценить их трудозатраты.

В разработке в рамках данной выпускной квалификационной работы участвует магистрант и научный руководитель. Руководитель отвечает за реализацию проекта и координирует деятельность. Магистрант (инженер) является исполнителем проекта, выполняющим научное исследование. Для отдельных разделов, таких как “Ресурсоэффективность и ресурсосбережение”, “Социальная ответственность” и “Английский язык” требуются эксперты, обладающие специальными знаниями – данные эксперты состоят в роли консультантов.

Планирование работ состоит из следующих этапов:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;

- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Этапы и участники представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований	1	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	2	Выбор направления исследований	Инженер
	3	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Разработка технического задания	4	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Изучение литературы и патентный поиск	Инженер
	6	Составление требований к разработке	Инженер
	7	Концептуализация и эскизирование	Инженер
	8	Визуализация и макетирование	Инженер
		Оценка соответствия результата требованиям	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Научный руководитель
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка чертежа и твердотельной модели	Инженер
	11	Оценка эффективности модели	Инженер
	12	Составление пояснительной записки	Инженер
	13	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Научный руководитель, инженер

Продолжение таблицы 15

Оформление отчета по работе	14	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Научный руководитель, консультанты, инженер
	15	Подведение итогов, оформление работы	Научный руководитель, инженер

#### 5.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Правильная организация предполагает выполнение работ в срок и с минимальными трудовыми и временными затратами. Поскольку, трудовые затраты составляют большую часть стоимости разработки, важно определить заранее трудоемкость работ для каждого из участников исследования. Методом экспертной оценки определим ожидаемые трудозатраты по формуле:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{min}i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Поскольку на выпускную преддипломную практику отводится срок с 15 марта по 06 июня, а предзащита проводится 11 июня, максимальная трудоемкость выпускной квалификационной работы – 64 дня при 5-ти дневной рабочей неделе, а минимальная трудоемкость – 59 дней. Ожидаемая трудоемкость – 61 человеко-день.

## 5.5 Разработка графика проведения научного исследования

С учетом общей ожидаемой трудоемкости можно разделить трудоемкость по каждой работе. Продолжительность каждой работы рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для распределения работ по дням, составим таблицу. Количество календарных дней рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (5)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Коэффициент календарности на 2021 год:  $365/(365-118)=1,48$ .  
Ожидаемая трудоемкость в календарных днях – 90 дней.

В таблице 16 указаны временные показатели исследования по этапам.

Таблица 16 – Временные показатели проведенного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожг}$ , чел-дни					
	И	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И	НР
Подбор и изучение материалов по теме	5	–	6	–	5.4	–	5.4	–	8	–
Выбор направления исследований	1	–	1	–	1	–	1	–	1	–
Календарное планирование работ по теме	3	–	3	–	3	–	3	–	4	–
Составление и утверждение технического задания	–	1	–	1	–	1	–	1	–	1
Изучение литературы и патентный поиск	12	–	13	–	12.4	–	12.4	–	18	–
Составление требований к разработке	2	–	2	–	2	–	2	–	3	–
Концептуализация и эскизирование	8	–	10	–	8.8	–	8.8	–	13	–
Визуализация и макетирование	8	–	10	–	8.8	–	8.8	–	13	–
Оценка соответствия результата требованиям	2	–	2	–	2	–	2	–	3	–

Продолжение таблицы 16

Определение целесообразности проведения ОКР	–	1	–	1	–	1	–	1	–	1
Разработка чертежа и твердотельной модели	5	–	7	–	5.8	–	5.8	–	9	–
Оценка эффективности модели	2	–	2	–	2	–	2	–	3	–
Составление пояснительной записки	4	–	4	–	4	–	4	–	6	–
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1
Согласование выполненной работы с научным руководителем	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1
Подведение итогов, оформление работы	5	1	5	1	5	1	2.5	0.5	1	1

По календарному плану, длительность работы в календарных днях составляет 86 дней. Разница с предварительной оценкой составила 4 дня и связана с погрешностью округления по дням.

Календарный план-график в виде диаграммы Ганта на основании данных о работе в календарных днях позволяет визуализировать весь период разработки с разбивкой по работам. Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во

времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения

данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и кварталам за период времени выполнения научного проекта.

График Ганта текущего научно-исследовательского проекта представлен на рисунке 24.

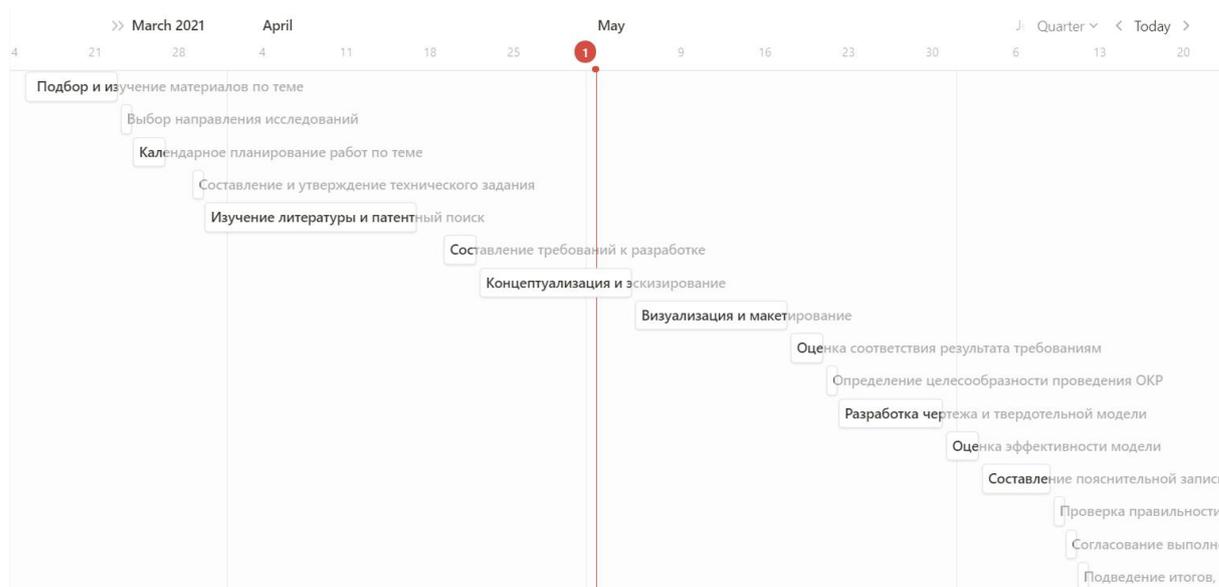


Рисунок 26 – График Ганта научно-исследовательского проекта

На графике указаны сроки работы в календарных днях, включая выходные дни. Работа начинается 15 марта и заканчивается 11 июня.

## 5.6 Расчет материальных затрат НИИ

В планирование проекта обязательно нужно включить расчет затрат, включающий следующие пункты: материальные затраты, амортизационные отчисления, заработная плата, оплата работ подрядчиков, прочие прямые расходы и накладные расходы.

### 5.6.1 Затраты на сырье, материалы и покупные изделия

К статье материальных затрат относятся: затраты на материалы, покупные изделия, полуфабрикаты, расходные материалы, использованные в процессе разработки. Стоимость материальных затрат рассчитывается по прејскурантам поставщиков. Материальные затраты рассчитываются по формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Коэффициент транспортно-заготовительных работ считаем равным 15%.

В таблице 17 указаны материальные затраты.

Таблица 17 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	шт.	150	0,38	57
Печать на листе А4	шт.	150	2	300
Карандаш	шт.	2	10	20
Ластик	шт.	1	10	10
Набор линеров	шт.	1	350	350
Печать на ПВХ-планшете	шт.	1	3000	3000
Итого, руб.			3737	

Учитывая коэффициент транспортно-заготовительных работ, сумма материальных затрат составила 4298 руб.

### 5.6.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Отдельной статьёй затрат является заработная плата, которая выплачивается участникам проекта. Величина определяется в соответствии с трудоёмкостью работ и системой оплаты труда в организации. В качестве основы для расчета зарплаты участников научно-исследовательского проекта - студента-инженера и научного руководителя – берется система оплаты труда в ТПУ. Заработная плата включает премию, также определяемую положением об оплате труда, и индексируется в соответствии с районным коэффициентом.

Заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (9)$$

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

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

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, студента) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (10)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 4);

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (11)$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года, при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя, при отпуске в 56 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

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

Баланс рабочего времени указан в таблице 18.

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	78	122

Продолжение таблицы 18

Потери рабочего времени на отпуск	56	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	231	219

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{окл}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (12)$$

где  $Z_{\text{окл}}$  – оклад, руб.;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Научный руководитель имеет степень доктора философских наук, на 2021 год для работника этой степени в ТПУ устанавливается оклад в 42744 руб.

Оклад инженера без степени на 2021 год составляет 22695 руб.

Расчет заработной платы указан в таблице 19.

Таблица 19 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$k_{\text{т}}$	$Z_{\text{окл}}$ , руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Научный руководитель	–	–	42744	1,3	55567,2	2501,73	5	12508,65
Инженер	–	–	22695		29503,5	1508,85	84	126743,40
Итого $Z_{\text{осн}}$								139252,05

### 5.6.3 Дополнительная заработная плата

В статью дополнительной заработной платы включается оплата очередных и дополнительных отпусков, оплата времени, связанного с

выполнением государственных и общественных обязанностей и вознаграждения за выслугу лет.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (13)$$

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

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн}}$	$Z_{\text{доп}}$
Научный руководитель	0,12	12508,65	1501,03
Инженер		126743,4	15209,21
Итого			16710,24

#### 5.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В эту статью включаются расходы на отчисления в органы социального страхования, пенсионный фонд и органы медицинского страхования.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (14)$$

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

Для работников учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, величина отчислений составляет 27,1%.

Отчисления в фонды представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	12508,65	126743,40

Дополнительная заработная плата, руб.	1501,03	15209,21
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Сумма отчислений	3796,62	38469,15
Итого	42265,77	

### 5.6.5 Накладные расходы

В статью накладных расходов включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, оплата работы, выполняемой сторонними организациями и расходы на управление и хозяйственное обслуживание. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования и сооружений.

Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}} \quad (15)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат выполняется расчет плановой себестоимости НИ по форме, приведенной в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	3737
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	139252,05
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16710,24
4. Отчисления во внебюджетные фонды	42265,77
5. Накладные расходы	32314,41
6. Бюджет затрат НТИ	234279,47

### 5.7 Определение эффективности исследования

Эффективность проекта напрямую влияет на успешность реализации разработки и на ее успех на рынке. Эффективность имеет несколько

составляющих: финансовую эффективность, ресурсоэффективность, социальную и бюджетную эффективность. Эффективность проекта отражает последствия реализации проекта в обществе, смежных секторах экономики, внеэкономические и экологические эффекты, а также влияет на финансовое состояние компании. Нам необходимо оценить проект со стороны финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Совокупность этих показателей можно использовать для расчета сравнительной эффективности и сопоставления потенциальных результатов проекта с результатами уже существующих разработок. Это также поможет оценить варианты исполнения проекта и выбрать наиболее перспективный. Это позволит задать направление разработки. Мы рассмотрим три варианта исполнения проекта и сравним их показатель стоимости реализации с показателем самого дорогого аналога. Полученный интегральный показатель экономической эффективности трех вариантов исполнения позволит произвести сравнение.

### 5.7.1 Финансовая эффективность проекта

Варианты выполнения исследования: светильник, фиксируемый на дорожном ограждении (исп. 1), светильник в форме столба (исп. 2) и светильник, встроенный в бетонные ограждения (исп. 3).

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (16)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Варианты исполнения для стационарного противотуманного светильника:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_1}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{234279,47}{300000} = 0,78$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_2}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{250000}{300000} = 0,83$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_3}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{260000}{300000} = 0,87$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

### 5.7.2 Ресурсоэффективность проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности определяется на основе оценки соответствия технических характеристик вариантов исполнения заданным ранее критериям, указанным в таблице 2. Расчет показателя выполняется по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (17)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 23). Расчет эффективности – в таблице 24.

Таблица 23 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
----------	-------------------------------	-------	-------	-------

Эффективность	0,25	5	5	5
Эргономичность	0,25	5	5	5
Компактность	0,05	4	4	5
Надежность	0,2	4	4	5
Гибкость в использовании	0,05	4	4	3

Продолжение таблицы 23

Удобство в обслуживании	0,1	5	4	3
Простота в эксплуатации	0,02	3	3	3
Экологичность	0,05	5	5	5
Безопасность	0,03	5	4	5
<b>ИТОГО</b>	<b>1</b>	<b>40</b>	<b>38</b>	<b>39</b>

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,02 \cdot 3 + 0,05 \cdot 5 + 0,03 \cdot 5$$

$$= 4,66$$

$$I_{p2} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,02 \cdot 3 + 0,05 \cdot 5 + 0,03 \cdot 4$$

$$= 4,53$$

$$I_{p3} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,02 \cdot 3 + 0,05 \cdot 5 + 0,03 \cdot 5$$

$$= 4,76$$

### 5.7.3 Интегральная эффективность разработки

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.1}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр}}, \quad (18)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (19)$$

Таблица 24 – Эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,78	0,83	0,87
2	Интегральный показатель ресурсоэффективной разработки	4,66	4,53	4,76

Продолжение таблицы 24

3	Интегральный показатель эффективности	5,97	5,46	5,47
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,91	0,92

Значение сравнительной эффективности показывает, что вариант исполнения 1 эффективнее других вариантов исполнения.

## 5.8 Выводы по разделу

В ходе составления раздела “Ресурсоэффективность и ресурсосбережение” было выполнено следующее:

- оценена перспективность исследования и его коммерческий потенциал: выполнено сравнение аналогов и SWOT-анализ разработки. Наиболее перспективным является аналог 1 – многомерная система дорожного освещения;
- выполнено планирование работ исследования, распределены роли и установлена трудоемкость каждого этапа работ. Составлен график работ. Количество затраченных дней на разработку составляет 86 дней;
- произведен расчет затрат на исследования, включающих статьи затрат на сырье и расходные материалы, затраты на амортизацию оборудования, заработную плату и накладные расходы. Сумма затрат на проведение исследований составила 234279,47 руб.;
- была определена эффективность исследования на основе сравнения показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности трех вариантов исполнения проекта. Сравнение эффективности показало, что вариант исполнения 1 – светильник, устанавливаемый на дорожные ограждения – самый эффективный вариант исполнения.

## **6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Цель данной магистерской диссертации - разработка дизайна светильника для освещения автомобильных дорог, эффективного в экстремальных погодных условиях и способного заменить традиционную систему освещения.

В разделе “Социальная ответственность” описываются такие проблемы как опасные и вредные факторы при организации работы, методы сокращения негативного влияния этих факторов на работника и способы оптимизации рабочих условий, экологические аспекты и вероятные чрезвычайные ситуации.

Цель настоящего раздела: оценка вредных и опасных факторов, поиск методов уменьшения их воздействия на человека при выполнении исследования, организация безопасных условий труда и снижение негативного влияния процесса исследования на окружающую среду.

Задачи раздела:

- перечислить вредные и опасные факторы в контексте проведения исследования и регулирующие их нормативные документы, рассмотреть связанные с типом работы законодательные акты;
- описать методы сокращения воздействия вредных и опасных факторов на человека;
- рассмотреть влияние исследования на окружающую среду;
- провести анализ возможных чрезвычайных ситуаций, которые могут помешать ходу работы и привести методы защиты от них.

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

Данное исследование предполагает работу за ПЭВМ, которая по трудовому законодательству РФ, относится ко второй категории тяжести труда (офисная работа). В соответствии с ТК РФ [47], продолжительность

рабочего дня взрослого человека в данной категории составляет не более 40 часов в неделю. Для инвалидов I и II группы – не более 35 часов.

Рабочее место находится в помещении площадью в 35 м<sup>2</sup> в среде с температурой в 26,6 градусов по Цельсию, которая поддерживается посредством водяного отопления. Вентиляция – общеобменная естественная, осуществляется с помощью воздуховодов. Освещение выполняется светодиодными лампами дневного света в темное время суток, в дневное время суток – естественным путем через оконные проемы сбоку. Оборудование помещения – оргтехника и офисная мебель. Рабочее место – стол с ПЭВМ (ноутбуком). Высота стола 78 см. Расстояние от глаз до монитора – 60 см. На рабочем столе располагаются мышь, клавиатура и кронштейн для ноутбука. Работа выполняется в положении сидя на стуле со спинкой, высота стула – 42 см.

Организация рабочего места выполняется в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

- СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;
- ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;
- ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования;
- ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения;
- ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT);
- ТОО Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере;

- СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

В соответствии с ТОО Р-45-084-01 [48], рабочее место с ПЭВМ организуется следующим образом:

- рабочие места с компьютерами должны размещаться таким образом, чтобы расстояние от экрана одного видеомонитора до тыла другого было не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.
- рабочие места с персональными компьютерами по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, преимущественно слева.
- оконные проемы в помещениях, где используются персональные компьютеры, должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.
- рабочий стул (кресло) должен быть подъемно - поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также - расстоянию спинки от переднего края сиденья;
- высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах (680 – 800) мм;
- рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног;
- рабочее место с персональным компьютером должно быть оснащено легко перемещаемым пюпитром для документов;

Соответствие рабочего места данным нормативам обеспечит наименьшее влияние вредных факторов на работника и наиболее комфортные условия труда на протяжении рабочего времени.

Рабочее место должно быть расположено в соответствии с требованиями к пожарной безопасности и эвакуации.

## 6.2 Производственная безопасность

В этом разделе представлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке дизайна противотуманного светильника и проведении научно-исследовательской деятельности. Мы рассмотрим факторы, которые могут проявиться на этапе проведения исследования. Опасные и вредные факторы представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Опасные и вредные факторы при выполнении исследования

Факторы	Нормативные документы
Вредные факторы	
Отсутствие или недостаток необходимого освещения;	СП 52.13330.2016 “Естественное и искусственное освещение.”;
Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей среды;	СанПиН 2.2.4.548-96 “Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений”
Повышенный уровень шума;	СН 2.2.4/2.1.8.562-96. “Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки”; ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. “Шум. Общие требования безопасности”; ГОСТ 12.1.003-83 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности”.
Психофизиологические факторы (монотонность труда, нервно-психические перегрузки, перенапряжение зрительных анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой);	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021); ГОСТ Р 50923-96 “Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения”; ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания

## Продолжение таблицы 25

Статические перегрузки, связанные с рабочей позой;	ГОСТ Р ИСО 9241-4-2009. “Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT)”; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. “Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”; ГОСТ 21889-76. “Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования”;
Опасные факторы	
Вероятность поражения электрическим током;	ГОСТ 12.1.038-82 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Короткое замыкание;	Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов”;
Статическое электричество.	ГОСТ 12.1.030-81 “Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление”; ГОСТ 26522-85 “Короткие замыкания в электроустановках”.

### 6.2.1 Отсутствие или недостаток необходимого освещения

Правильная организация освещения рабочего места необходима для обеспечения комфортной работы, так как освещение влияет на скорость распознавания визуальных сигналов и функционирование зрительного аппарата. Неправильная настройка расположения, яркости и других параметров освещения может вызвать усталость зрительного анализатора и привести к снижению зрительной способности.

Работа с ПЭВМ при недостатке естественного света, требует организации комбинированного освещения, включающего как общие, так и местные источники освещения, поскольку в ней необходима высокая точность. Местное освещение располагается ниже или на уровне линии зрения

работника, яркость освещения должно обеспечивать оптимальное соотношение яркости рабочих и окружающих поверхностей. При настройке освещения также учитывается отражающая способность поверхностей на рабочем столе. Нормативные показатели освещения в офисном помещении в соответствии с СП 52.13330.2016 “Естественное и искусственное освещение” [49], представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения,	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещённость, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
						всего	в том числе от общего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	a	Малый	Тёмный	2000	200	500
						1500	200	400
			б	Малый Средний	Средний Тёмный	1000	200	300
						750	200	200
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Тёмный	750	200	300
			600	200	200			
			г	Средний Большой «	Светлый « Средний	400	200	200

Общее равномерное искусственное освещение горизонтальной рабочей поверхности оценивается с помощью коэффициента светового потока по следующей формуле (20) [52]:

$$\Phi = \frac{E_n * S * K_z * Z}{N * \eta} \quad (20)$$

где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещённость, лк;

$S$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;

$K_z$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{cp} / E_{min}$ . ;

$N$  – число ламп в помещении;

$\eta$  - коэффициент использования светового потока. Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Является табличной величиной и рассчитывается в соответствии с индексом помещения  $i$ , типом светильника, высотой светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентами отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_n$ .

Индекс помещения определяется по формуле (21):

$$i = S / (h * (A + B)), \quad (21)$$

где  $A$  – длина помещения,  $B$  – ширина помещения,  $h$  – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью,  $S$  – его площадь.

Расстояние  $h$  считается по формуле (22):

$$h = H - h_{cb} - h_p, \quad (22)$$

где  $H$  – высота потолка,

$h_{cb}$  – расстояние от потолка до нижней части светильника,

$h_p$  – высота от пола до освещаемой поверхности,

Так как помещение имеет низкие потолки, рациональнее взять наименьшее расстояние свеса, равное 0,5 м.

Для помещения шириной 2,5 м, длиной 14 м с высотой потолка 2,5 м и стенами, покрашенными краской белого цвета, с высотой рабочей поверхности от пола 0,78 м, расстояние  $h$  от светильника до рабочей поверхности составляет 1,22 м, а индекс помещения  $i$  составляет 1,74.

Для освещения возьмем светильники типа “ШМ”, так как помещение офисное и требуются работы высокой точности. Коэффициент отражения стен 50%, потолка – 70%. Коэффициент использования светового потока  $\eta$ , соответствующий рассчитанному ранее индексу помещения, коэффициентам отражения стен и потолка и типу светильника равен 29.

Чтобы определить расстояние между светильниками, нужно учесть коэффициент  $\lambda$ , который для светильника ШМ равен 2,3. Расстояние между светильниками определяется по формуле (23):

$$L = \lambda * h, \quad (23)$$

где  $h$  – расстояние от светильника до рабочей поверхности.

Для нашего типа светильника, оптимальное расстояние между светильниками  $L$  составляет 2,8 м. Расстояние светильников от стены – 0,93 м. Исходя из ширины помещения, будет установлен 1 ряд светильников. Количество светильников по длине помещения определяется по формуле (24):

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - \frac{2}{3}L)}{L} + 1, \quad (24)$$

где  $n_{\text{св}}$  – количество светильников в ряду;  $A$  – длина помещения, м;  $l_{\text{св}}$  – длина светильника, м.

Для нашего помещения количество светильников в длину составило:

$$n_{\text{св}} = \frac{(14 - \frac{2}{3} * 2,8)}{2,8} + 1 = 5$$

Коэффициент запаса  $K_z$  для светодиодных ламп равен 1,1. Коэффициент неравномерности – 1,1.

При нормируемой минимальной освещенности в 400 лм рассчитанный потребный световой поток составляет:

$$\Phi = \frac{400 * 35 * 1,1 * 1,1}{5 * 29} = 117 \text{ лм}$$

В таблице 27 указаны характеристики светодиодных ламп серии LED-A60 Standard. Для обеспечения освещенности помещения в 400 лк, нужно обеспечить светильники лампами со световым потоком не менее 117 лм. Подойдут лампы мощностью 5 Вт. Однако поскольку лампа мощностью 5 Вт дает световой поток 400 лм, что выходит за пределы (-10/+20) % от необходимого светового потока, необходимо скорректировать количество светильников. Исходя из небольших размеров помещения, достаточно одного

светильника мощностью 7 Вт, который обеспечит световой поток не менее 584 лм.

Таблица 27 – Характеристики светодиодных ламп

Тип лампы	Номинальная мощность, Вт	Световой поток, лм
LED-A60 5 Вт	5	400
LED-A60 7 Вт	7	600
LED-A60 11 Вт	11	900
LED-A60 15 Вт	15	1200

### 6.2.2 Отклонение параметров микроклимата

Микроклимат, определяемый температурой среды, влажностью, скоростью движения воздуха и давлением влияет на работоспособность человека, поскольку такие отклонения как повышение или понижение температуры могут привести к утомляемости или заболеваниям. Поэтому СанПиН 2.2.4.548-96 “Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений” [50] вводит оптимальные и допустимые величины для показателей микроклимата, показанные в таблице 28.

Таблица 28 – Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте

<b>Оптимальные значения характеристик микроклимата</b>				
Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22 – 24	21 – 25	40 – 60	0,1
Теплый	23 – 25	22 – 26	40 – 60	0,1
<b>Допустимые значения характеристик микроклимата</b>				
Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	20 – 25	19 – 26	15 – 75	0,1
Теплый	21 – 28	20 – 29	15 – 75	0,1 – 0,2

### 6.2.3 Повышенный уровень шума

Устройства, установленные в рабочем помещении, такие как принтеры, сканеры, кулеры, сервера и кондиционеры, являются источниками шума.

Превышение нормы уровня шума может негативно влиять на слух и нервную систему. Шум также влияет на производительность труда работника. Допустимые уровни шума, описанные в ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [51] представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Допустимые уровни шума в рабочем помещении

Помеще- ния	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука и эквивалент- ные уровни звука, дБ А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Творч. деят-ть, научная деят-ть, конст-е и проект-е, препод-е и обучение.	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для снижения уровня шума требуется установить амортизирующие прокладки для работающего оборудования и, по возможности, использовать оборудование с меньшим шумовыделением. Основным источником шума на рабочем месте – ноутбук, для которого можно установить режим автоматической настройки производительности так, чтобы в не ресурсоемких задачах, он работал с наименьшим тепло- и шумовыделением.

#### 6.2.4 Психфизиологические факторы

Нервно-психические перегрузки также снижают эффективность труда и могут привести к преждевременной усталости работника, профессиональному “выгоранию” и неудовлетворенности в работе.

Нервно-психические перегрузки делятся на:

- умственное перенапряжение;
- перенапряжение анализаторов;
- монотонность труда;

- эмоциональные перегрузки.

Так как данная работа является умственной деятельностью с использованием ПЭВМ, в первую очередь, необходимо обратить внимание на правильное распределение рабочего времени, чтобы избежать умственных перегрузок и перегрузок зрительного аппарата. Для этого стоит делать перерывы: согласно ТООИ Р-45-084-01 [48], для III категории работ (творческая работа в режиме диалога с компьютером), перерыв должен составлять 15 минут через каждый трудовой час, а работа за ПЭВМ должна занимать не больше 6 часов за смену. Кроме этого, рекомендуется выполнять комплексы упражнений.

### **6.2.5 Статические перегрузки, связанные с рабочей позой**

Так как человек на рабочем месте находится в неподвижном состоянии на протяжении долгого времени, это может привести к напряжению спины, шеи, и даже к хроническим заболеваниям позвоночника. Циркуляция крови в организме в сидячем положении происходит хуже, чем во время движения. Работа за клавиатурой ноутбука не позволяет расположить руки в удобном положении, поэтому может возникнуть усталость кистей и мышц предплечья. Гиподинамия на протяжении долгого времени может породить совокупность болезней, например, сердечно-сосудистые заболевания и сахарный диабет.

Исходя из вышеописанного, при работе за ПЭВМ необходимо соблюдать эргономические требования и рекомендации. Организация рабочего места должна выполняться в соответствии с описанными в пункте 5.1 требованиями ТООИ Р-45-084-01 [48], а организация работ соответствовать описанной в пункте 5.2.4. Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 “Рабочее место при выполнении работ сидя” [53]. Для организации удобной работы за ноутбуком, рекомендуется разместить ноутбук на подставке так, чтобы клавиатура была поднята на 15 градусов или использовать отдельную клавиатуру и мышь, верхняя кромка экрана должна быть на уровне глаз работника.

### **6.2.6 Электрический ток**

При работе с ПЭВМ стоит соблюдать правила электробезопасности в соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [54]. Замыкании электроцепи через тело человека может привести к травме или летальному исходу. Также существует опасность вывода из строя техники из-за появления электростатического разряда. Допустимое значение напряжения прикосновения и силы тока для переменного тока частотой 50 Гц составляет 2 В и 0,3 мА соответственно. Для защиты от электрического тока применяется заземление электроприборов, устройства для снятия электростатического напряжения, диэлектрическая изоляция, предохранительные устройства и устройства сигнализации. Необходимо также соблюдать порядок работы за компьютером, указанный в ТОИ Р-45-084-01 [48].

### **6.3 Экологическая безопасность**

Во время работы на ПЭВМ не происходит вредных выбросов в атмосферу и гидросферу, однако существует опасность загрязнения окружающей среды при утилизации периферийных устройств (клавиатур, мышей, наушников, колонок, веб-камер и т.д.) и корпуса ПЭВМ. Также разработка дизайна предполагает процесс макетирования, в котором используются клеи и неразлагаемые материалы. При работе также используется бумага, которая должна быть подвержена переработке после утилизации.

Утилизация отходов при работе в офисе выполняется следующим образом:

- твердые коммунальные отходы, такие как мебель, и канцелярские принадлежности, люминисцентные лампы и батарейки должны быть отправлены на полигон для захоронения или сжигания;
- отработанная оргтехника (относится к IV классу опасности) должна быть утилизирована специальной организацией: около

90% материала может быть переработано и использовано повторно. Некоторые компоненты оргтехники могут содержать токсичные металлы, такие как свинец, сурьма, ртуть и кадмий – эти компоненты также должны быть захоронены на полигоне;

- макулатура также отправляется на утилизацию для переработки.

Полигон должен быть организован в соответствии с СП 127.13330.2017 [55]. Переработка отходов должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 53692-2009 “Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов” [56].

#### **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

На рабочем месте и вне рабочего помещения в процессе выполнения исследования и проектирования могут произойти такие чрезвычайные ситуации как пожар, задымление среды в результате лесных пожаров и промышленных выбросов, возгорания электроприборов, техногенные катастрофы, грозы, ураганы и оползни. Пожар является наиболее типичной чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть на рабочем месте.

Причинами возникновения пожара при работе с ПЭВМ может стать:

- короткое замыкание;
- неисправность электрооборудования;
- несоблюдение норм техники безопасности;
- неправильное обращение с техникой;
- повышенное тепловыделение компонентов техники, перегрузка компонентов.

Для предотвращения пожара вводятся нормативы о ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [57], в соответствии с которыми:

- не допускается подключать в одну сеть приборы, оказывающие нагрузку на сеть, превышающую допустимую;

- работы необходимо проводить только при исправности оборудования и электропроводки;
- в помещении должен находиться углекислотный огнетушитель типа ОУ-5;
- в помещении должны быть установлены планы эвакуации и эвакуационные выходы;
- эвакуационные пути должны быть свободны для прохода;
- помещение должно быть оборудовано системой пожаротушения и датчиками дыма.

Рабочее место, где выполняется работа, относится к классу пожароопасности П-П. При проектировании помещения, должны быть соблюдены пожарные требования СП 61.13330.2012 “Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов” [58]. Необходимо проинструктировать работников о правилах пожарной безопасности.

При возникновении пожара работник должен совершить следующие действия:

1. сообщить о пожаре по телефону 112;
2. обесточить помещения;
3. покинуть опасную зону и ждать указаний начальства и пожарных.

Выходя из помещения, следует закрыть дверь, не запирая ее на замок, открыть все окна в помещении. При эвакуации прикрыть дыхательные пути влажной тканью, держаться как можно ближе к полу. По возможности взять документы и предметы первостепенной важности.

В помещении находятся датчики дыма, которые оповещают о возгорании, два углекислотных огнетушителя, также на этаже находится пожарный гидрант и план эвакуации. План эвакуации помещения представлен на рисунке 25, работы проводятся в комнате под номером 5.



Рисунок 27 – План эвакуации из помещения

## 6.5 Заключение по разделу

В разделе “Социальная ответственность” были исследованы следующие вопросы:

- нормативные акты, регулирующие деятельность на предприятии, в частности, организацию рабочего места при выполнении работ сидя за ПЭВМ, а также правила безопасности при выполнении работ;
- вредные факторы, такие как недостаток освещения, шум, отклонения показателей микроклимата, статические нагрузки, психофизиологические факторы, опасные факторы, в частности, опасность поражения электрическим током, и методы уменьшения их негативного влияния на работника;
- проведен анализ влияния процесса проведения исследования и разработки на окружающую среду - наибольшее опасными для среды при проведении данной работы являются компоненты ПЭВМ и периферии, а также твердые коммунальные отходы при утилизации;
- выполнен анализ возможных чрезвычайных ситуаций и выделены рекомендации для уменьшения вероятности возникновения ЧС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был описан процесс исполнения дизайн-проекта стационарного светильника, эффективного как в тумане, так и в нормальных погодных условиях. Были определены недостатки традиционного освещения и обосновано решение выбора альтернативного светильника с низким уровнем установки. Такой светильник способен заменить высокоуровневые светильники, так как он помимо решения данных недостатков будет более эффективен в тумане, более энергоэффективен и не будет создавать светового загрязнения.

Мы рассмотрели несколько аналогов низкоуровневых светильников. Они решают множество недостатков текущей системы освещения, однако, при использовании таких светильников в условиях Сибири, возникает ряд проблем: отсутствие защиты от вандализма и снежных заносов, вероятность повреждения в результате работы снегоуборочной техники и низкие температуры среды. Другие недостатки существующих низкоуровневых светильников, такие как низкая равномерность света, и низкая энергоэффективность создают необходимость создания новой разработки.

В аналитическом обзоре мы описали устройство магистрального светильника: критерии качества, компоненты, классификацию, методы дизайна, процесс производства и технологии. Мы также проанализировали аспекты, которые стоит учитывать при разработке формы светильника: функциональные характеристики, эргономика, художественные принципы формообразования в промышленном дизайне. Были рассмотрены стандарты, относящиеся к освещению автомагистралей и проектированию светильников и научные работы об освещении в тумане. Были выделены достоинства и недостатки существующих решений, которые будут проработаны в разрабатываемом дизайне.

Для разработки решения была использована совокупность методологий проектирования, результат которых обосновывает принятые решения. Был

использован принцип системного дизайна, а также методы разработки продукта для сбора, классификации информации, определения потребностей и пользовательских требований, генерации и отбора идей, решения противоречий дизайна и разработки концепта.

На этапе проработки концепта были сделаны финальные решения относительно реализации требуемых функций. Были представлены разные формы и способы реализации функционала в виде эскизов. Путем сравнения и рациональной оценки был сделан выбор лучшего варианта. Дизайн-концепт был визуализирован с помощью 3D-программы и представлен на планшете, где описаны компоненты, сценарии использования и способ установки светильника.

Был также проведен анализ ресурсоэффективности и ресурсосбережения, чтобы определить потенциал продукта и вероятные проблемы в реализации. Мы использовали методы менеджмента, чтобы спланировать и организовать работу. Был также оценен бюджет проекта. Был проведен анализ вредных и опасных факторов и способов обеспечения безопасности на рабочем месте.

Результатом работы является дизайн-концепт светильника, который обеспечит более эффективное освещение в тумане, повышенную энергоэффективность и повысит безопасность на дорогах Сибири. Разработанный концепт использует принцип низкоуровневого освещения и учитывает экстремальные климатические условия и агрессивную среду: снежные бури, заносы, вандализм, механические повреждения и низкие температуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. History of Lighting [Электронный ресурс]. // <http://www.historyoflighting.net>. – URL: <http://www.historyoflighting.net/electric-lighting-history/history-of-street-lighting/> (дата обращения: 17.05.2021).
2. The History of Urban Street Lighting [Электронный ресурс]. // <https://www.peretzarc.com>. – URL: <https://www.peretzarc.com/single-post/2017/11/24/The-History-of-Urban-Street-Lighting> (дата обращения: 17.05.2021).
3. Larson, Linda S. San Jose's Monument to Progress: The Electric Light Tower. – San Jose, California: San Jose Historical Museum Association, 1989. – 10 с.
4. Light and Life of Pavel Yablochkov [Электронный ресурс]. // <https://en.topwar.ru>. – URL: <https://en.topwar.ru/156193-jarkie-svet-i-zhizn-pavla-jablochkova.html> (дата обращения: 17.05.2021).
5. David DiLaura. A Brief History of Lighting // Optics & Photonics. – 2008. – т. 19. – № 9. – С. 22-28.
6. The History of LED Lighting [Электронный ресурс]. // <https://www.energysavinglighting.org>. – URL: <https://www.energysavinglighting.org/the-history-of-led-lighting/> (дата обращения: 17.05.2021).
7. Промышленный дизайн: учебник / М.С. Кухта, В.И. Куманин, М.Л. Соколова, М.Г. Гольдшмидт; под ред. И.В. Голубятникова, М.С. Кухты; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 312 с.
8. ГОСТ 55706-2013. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. (Дата введения: 07.01.2014).
9. Debra Kennaugh. Roadway Lighting Design [Электронный ресурс]. // <https://www.cedengineering.com>. – URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Roadway%20Lighting%20Design-R1.pdf> (дата обращения: 21.05.2021).

10. Лампы уличного освещения — разновидности и особенности моделей, которые можно встретить на улицах городов [Электронный ресурс]. // <https://elektrik-a.su/> – URL: <https://elektrik-a.su/osveshhenie/naruzhnoe/lampy-ulichnogo-osveshheniya-312#i-6> (дата обращения: 21.05.2021).
11. Lesson Four - Introduction to Energy Efficiency and P2 in Lighting. Incandescent lighting (includes halogen). [Электронный ресурс]. // <http://my.ilstu.edu/> - URL: [http://my.ilstu.edu/~gjin/p2/Lighting\\_P2\\_in\\_Energy/Lighting\\_P2\\_in\\_Energy5.html](http://my.ilstu.edu/~gjin/p2/Lighting_P2_in_Energy/Lighting_P2_in_Energy5.html) (дата обращения: 21.05.2021).
12. Lesson Four - Introduction to Energy Efficiency and P2 in Lighting. Fluorescent Lighting. [Электронный ресурс]. // <http://my.ilstu.edu/> - URL: [http://my.ilstu.edu/~gjin/p2/Lighting\\_P2\\_in\\_Energy/Lighting\\_P2\\_in\\_Energy6.html](http://my.ilstu.edu/~gjin/p2/Lighting_P2_in_Energy/Lighting_P2_in_Energy6.html) (дата обращения: 21.05.2021).
13. Lesson Four - Introduction to Energy Efficiency and P2 in Lighting. Gas Discharge Lamps. [Электронный ресурс]. // <http://my.ilstu.edu/> - URL: [http://my.ilstu.edu/~gjin/p2/Lighting\\_P2\\_in\\_Energy/Lighting\\_P2\\_in\\_Energy7.html](http://my.ilstu.edu/~gjin/p2/Lighting_P2_in_Energy/Lighting_P2_in_Energy7.html) (дата обращения: 21.05.2021).
14. Lesson Four - Introduction to Energy Efficiency and P2 in Lighting. LED (Light Emitting Diode. [Электронный ресурс]. // <http://my.ilstu.edu/> - URL: [http://my.ilstu.edu/~gjin/p2/Lighting\\_P2\\_in\\_Energy/Lighting\\_P2\\_in\\_Energy8.html](http://my.ilstu.edu/~gjin/p2/Lighting_P2_in_Energy/Lighting_P2_in_Energy8.html) (дата обращения: 21.05.2021).
15. LED Street Light Installation Instruction Manual. [Электронный ресурс]. // <http://5nrerwxhiojqrij.ldycdn.com> – URL: <http://5nrerwxhiojqrij.ldycdn.com/Installation+Instructions+for+AOK+iL+Series+LED+Street+Ligjt-aidinBqpKmmRilSlnqnojp.pdf> (дата обращения: 21.05.2021).
16. Все типы крепления светильников: особенности и нюансы монтажа. [Электронный ресурс]. // <https://ksosvet.ru> – URL: <https://ksosvet.ru/blog/vse->

- [tipy-krepleniya-svetilnikov-osobennosti-i-nyuansy-montazha](#) (дата обращения: 21.05.2021).
17. Виды консольных светильников: по типу крепления, количеству и другим важным критериям [Электронный ресурс]. // <https://ksosvet.ru> – URL: <https://ksosvet.ru/blog/vidy-konsolnyh-svetilnikov-po-tipu-krepleniya-kolichestvu> (дата обращения: 21.05.2021).
  18. Full luminaire development. [Электронный ресурс]. // <http://www.ilumtech.eu> – URL: <http://www.ilumtech.eu/portfolio/full-luminaire-development/> (дата обращения: 21.05.2021).
  19. Solar street light pole classification, which are the street lamp pole materials. [Электронный ресурс]. // <https://www.sresky.com> – URL: <https://www.sresky.com/news/shownews.php?id=49> (дата обращения: 21.05.2021).
  20. ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. (Дата введения: 05.01.2006).
  21. ГОСТ Р 58107.1-2018. Освещение автомобильных дорог общего пользования. Нормы и методы расчета. (Дата введения: 03.01.2019).
  22. ГОСТ Р 55708-2013. Освещение наружное утилитарное. Методы расчета нормируемых параметров. (Дата введения: 07.01.2014).
  23. ГОСТ Р 54305-2011. Горизонтальная освещенность от искусственного освещения. Технические требования. (Дата введения: 09.01.2011).
  24. Гост ИЕС 60598-2-3-2017. Светильники. Часть 2-3. Частные требования. Светильники для освещения улиц и дорог. (Дата введения: 06.01.2020).
  25. Погода и климат г. Кемерово. [Электронный ресурс]. // <http://www.pogodaiklimat.ru> – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/29645.htm> (дата обращения: 21.05.2021).

26. Сингх А. Обзор влияния тумана на дорожные аварии. // Международный журнал инженерных исследований и технологий. - 2017. - Т.6. - № 06. - С. 671-676.
27. Ванвик П.О. Влияние дорожного освещения на автомобильном шоссе. // Журнал о предотвращении травм на дорогах. - 2009. - Т. 3. - № 10. - С. 279-289.
28. Фолкс В.Р. Эффективность противотуманной лампы. // Общество автоинженеров. - 2000. – Т. 1. - № 0434. - С. 209-216
29. Кот Б.В. Автомобильное освещение в условиях тумана: Аналитическая оценка. // Министерство транспорта США. - 1978.
30. Болин Х. На пути к автономным транспортным средствам: метод повышения видимости в тумане на основе низкоуровневого дорожного освещения. // 3-я международная конференция IEEE по оптоэлектронике. - 2018. - С. 205-208.
31. Марш Ч. Попытки улучшить видимость в тумане. // Национальный исследовательский совет (США). – 1958. – С. 41-48.
32. Хуайжоу Д. Исследование качества освещения светодиодных фонарей разных цветовых температур. // Журнал IEEE Фотоника. – 2015. – Т.7 - № 06. – С. 1 – 10.
33. Жао Х. Многомерная система дорожного освещения: пат. США №US 2015/0362140 A1; заявл. 11.03.2015; опубл. 17.12.2015, 16 С.
34. Цзяньбо В. Лампа дорожного освещения низкого позиционирования с острым углом светового излучения: пат. Китай №CN102168831A; заявл. 22.03.2011; опубл. 02.04.2014, 9 С.
35. Светильник Orus от Thorn Lighting [Электронный ресурс] URL: [http://www.thornlighting.com/PDB/resources/teaser/EN/TLG\\_Orus.pdf](http://www.thornlighting.com/PDB/resources/teaser/EN/TLG_Orus.pdf) (Дата обращения 23.07.2020 г.)
36. Вени Л. Осветительный прибор с параболическим отражателем: пат. США №US9395064B2; заявл. 23.10.2012; опубл. 19.07.2016, 9 С.

37. Цзинюй Ю. Антибликовый дорожный светильник встроенного типа: пат. Китай № CN201110482Y; заявл. 04.09.2007; опубл. 03.09.2008, 9 С.
38. Михеева М.М. Системное дизайн-проектирование. Методическое указание. – М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2015. – С. 20-58.
39. Ульман Д. Процесс разработки механических конструкций. – McGraw-Hill, 2010. – С. 143-240.
40. Отто К., Вуд К. Разработка продукта: техники реверс-инжиниринга и новый подход к разработке продукта. – Prentice-Hall, 2001. – Гл. 5.
41. Антивандальный щит [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vandalshields.com> (Дата обращения 07.06.2021 г.);
42. Мирон Р. Основная информация от COB-светодиодах [Электронный ресурс]. URL: <https://www.digikey.com/en/articles/the-basics-of-chip-on-board-cob-leds> (Дата обращения 07.06.2021 г.);
43. COB светодиодный светильник мощностью 30 Вт [Электронный ресурс] URL: <https://aliexpress.ru/item/4000977615350.html> (Дата обращения 07.06.2021 г.);
44. Основные типы рассеивателей светильников [Электронный ресурс]. URL: <https://bk-electro.ru/help-info/osnovnye-tipy-rasseivateley-ofisnykh-svetilnikov> (Дата обращения 07.06.2021 г.);
45. ГОСТ Р-52607 – 2006. Ограждения дорожные удерживающие для автомобилей. Общие технические требования. (Дата введения 01.01.2008).
46. Ограждения дорожные удерживающие боковые барьерного типа для автомобилей. Технические условия. // АО “КТЦ “Металлоконструкция””
47. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.05.2021).
48. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере. (Утв. Приказом Минсвязи РФ от 02.07.2001 N 162).

49. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. (Дата введения: 05.08.2017).
50. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
51. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. (Дата введения: 01.10.1996).
52. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. (Дата введения: 29.12.2014).
53. ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. (Дата введения: 01.01.1979).
54. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. (Дата введения: 07.01.1983).
55. СП 127.13330.2017. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию. (Дата введения: 05.15.2018).
56. ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов. (Дата введения: 01.01.2011).
57. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. (Дата введения: 07.01.1992).
58. СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. (Дата введения: 01.01.2013).
59. Кухта М.С. Методология моделирования восприятия визуальной информации. Диссертация на соискание ученой степени доктора философских наук. / М.С. Кухта // Томский государственный педагогический университет. — 2004. — С. 250.
60. Кухта М. С., Соколов А. П., Данила К. Г. Анализ процессов формообразования в дизайне декоративных светильников // Дизайн. Материалы. Технология. - 2012 - №. 2(22) - С. 10-14

61. Кухта, М. С. Промышленный дизайн: учебник / М. С. Кухта, В. И. Куманин, М. Л. Соколова, М. Г. Гольдшмидт; под ред. И. В. Голубятникова, М. С. Кухты; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 283-302 с.
62. Кухта М.С., Захаров А.И. Особенности формообразования предметнофункциональных структур в дизайне // Известия Томского политехнического университета. - 2012 – 140-183 с.
63. Промышленный дизайн: учебное пособие / под ред. Б.Е. Кочегаров. – ДВГТУ, 2006. – 153 С.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Раздел на английском языке

#### Design process of a stationary highway fog luminaire

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ДМ91	Волков Игорь Алексеевич		04.06.2021

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Кухта М.С.	д.ф.н., профессор		04.06.2021

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОИЯ ШБИП	Бекишева Т.Г.	к.ф.н.		04.06.2021

## Раздел 1 – Оглавление

### Index

Introduction.....	2
1. Analytical review .....	5
1.1. Historical and cultural analysis .....	5
1.2. Engineering aspects of luminaire design .....	12
1.3. Morphology and composition .....	22
1.4. National standards and use conditions .....	29
1.5. Fog lighting analysis .....	35
2. Patent search.....	41
2.1. Multi-dimensional lighting system.....	41
2.2. Low-level lamp with acute angle light direction .....	47
2.3. “Orus” luminaire .....	50
2.4. A luminaire with a parabolic reflector .....	53
2.5. Integrated anti-glare luminaire .....	54
3. Concept development .....	56
3.1. Product development methodology .....	56
3.2. User requirements and specifications .....	59
3.3. Concept generation .....	63
4. Industrial design development .....	74
4.1. Sketching stage .....	74
4.2. Technical aspects of the design .....	77
4.3. Design presentation .....	77
Conclusion .....	80
References.....	80

## Раздел 2 – Введение

### Introduction

Conventional road lighting has multiple issues that cannot be solved using a standard road luminaire. The list includes low effectiveness in fog, glare effect, high light pollution of near-road areas and low energy efficiency. Improving highway lighting in extreme conditions will increase road bandwidth, decrease accident rates and drivers' fatigue.

Low visibility takes a huge impact on driving safety as the driver cannot quickly react to obstacles on the road. Fog further aggravates the issue lowering contrast of obstacles and brightness of the road surface. Light scattering, glare, low lighting distance and low contrast between background and obstacles are main factors that make vehicle headlights and conventional stationary luminaires unusable in fog. Therefore, driving in low visibility becomes unsafe and leads to high accident rates.

Unsatisfactory performance of conventional lighting in fog has also been proved by a number of experiments. High-level road lighting is unable to provide decent visibility in fog and low-level headlights do not fully solve the issue.

Conventional lighting also has a number of issues:

- glare effect in normal weather conditions;
- low energy efficiency due to high-level setup;
- low lighting uniformity on the road surface;
- low quality of vertical lighting;
- light cutoff caused by trees and etc.
- difficulty of setting up on particular road areas like bridges;
- light pollution;
- difficult and costly setup and maintenance.

These shortcomings can be corrected, but this will require the introduction of an alternative system based on a low-level arrangement of light sources. Proposed luminaire should be able to fully replace existing lighting setup as only adding an anti-fog component will not provide a solution for mentioned problems.

There are many patents aimed to solve lighting issues in fog and few commercially successful products. All proposals utilize low-level lighting in order to solve aforementioned shortcomings of conventional lighting. However, neither of these designs is adapted to harsh climate of Siberia, where low temperature and snow are problems worth considering. Quality lighting is especially important in areas like Kemerovo region given that low temperature, industrial emissions and coal usage are the main causes of fog in this particular area. There is a clear need of a new advancement in road lighting with ability to fully replace standard lighting and drastically improve driving safety.

**Relevance of the project:** conventional lighting with high-level light source setup has a number of issues that impact its effectiveness in both fog and normal weather conditions. Low-level luminaire will be able to solve many of road lighting problems including ineffective road surface illumination, low lighting distance and low contrast of obstacles in fog. It will provide safer driving in low visibility conditions and lower accident rates.

**Scientific relevance:** At the moment a number of road lighting system developments based on the low-level arrangement of illuminators exist, but the options presented have many drawbacks that make them irrelevant for use in the climatic conditions of cold regions of Russia. The shortcomings include the absence of vandal protection, protection from snow, etc. The luminaires are vulnerable to damage from snowplow trucks and snowdrifts. Our luminaire will provide a reliable and effective lighting thanks to a novel design.

**Main goal of the project:** to develop an effective and efficient luminaire for highways that will provide quality lighting in fog and will be able to replace conventional lighting in cold regions with harsh weather conditions.

**Project tasks:**

- review patents and existing solutions;
- identify user requirements and functions of the luminaire;
- develop a concept model;
- develop a design-solution and provide its justification.

**Раздел 3 – Аналитический обзор***Analytical review*

Low visibility on highways takes its toll on driving safety. Research shows that harsh weather conditions like fog increase accident rates, which happens mostly in rural areas on undivided two-way roadways. Fog lighting installed on vehicles does not provide necessary road surface illumination and works only on a short distance. As a result, low visibility increases accident rates by 1.7 times when compared to driving in daylight. Low lighting distance and low contrast of obstacles in fog lead to increasing difficulty in obstacle distinction. Traditional lighting is not effective since it creates the “white wall” phenomenon which amplifies these problems instead of solving them.

To improve visibility in fog low level vehicle headlights are installed, but despite their active use, they only provide limited distance illumination. As an addition, LED-guide lights on the road surface and dynamic warning signs are also used to increase driving safety, but they do not improve visibility of obstacles and road surface in fog.

In the US Department of Transportation paper, it is recommended to define quality of road lighting in fog by the following criteria:

1. obstacle contrast;
2. “white wall” effect intensity;
3. visibility distance.

These criteria should be considered when designing an effective luminaire for road lighting in fog.

A study shows that it is possible to minimize “white wall” effect by changing position of the luminaire and light direction. In the study two methods for road lighting in fog were reviewed: vehicle fog lights illumination and a stationary low-level luminaire. Study shows that it is possible to drastically improve the quality of lighting in harsh conditions by using the latter.

A similar experiment in real scale was carried out by an assistant professor of electrical engineering C. Marsh. In the experiment multiple lighting schemes were reviewed and evaluated: high level road lighting, vehicle fog lights, vehicle headlights and low-level stationary lights set up perpendicular to the direction of movement on the roadside. It was noted that setting up light direction closer to 90 degrees to the line of sight of the driver is important for providing quality fog lighting as co-directional lighting will increase backscattering causing the “white wall” phenomenon. Experiment showed that stationary low-level lighting considerably increases visibility of obstacles.

Both experiments show that by using low-level luminaire it is possible to increase visibility distance and obstacle contrast in fog while diminishing the white wall effect.

From all the luminaire parameters that affect the quality of lighting it is important to note the effect of CCT (Correlated Color Temperature) of the light source on quality of lighting in fog. Light sources radiate multiple colors of the spectrum with each of them having a different effect on user’s perception. High CCT light with more power in the blue side of the spectrum positively affects color rendering ability and peripheral vision of the driver, however it increases dark adaptation time, has low fog penetration ability and causes light pollution. Thus, low CCT lamps are usually used in road lighting. Therefore, it is recommended to use 3000K lamps for fog lighting.

There are a number of advantages to using low-level lighting compared to traditional high-level luminaire. High-level lighting has the following disadvantages that low-level lighting does not have:

- glare effect in normal weather conditions;
- low energy efficiency due to high-level setup;
- low lighting uniformity on the road surface;
- low quality of vertical lighting;
- light cutoff caused by trees and etc.
- difficulty of setting up on particular road areas like bridges;
- light pollution;
- difficult and costly setup and maintenance.

Glare effect is caused by a radiant object appearing in the field of view of the driver. Intensity of the glare effect depends on the viewing angle of the driver, light direction of the luminaire, position of the luminaire and its design. In traditional high-level lighting, glare effect is unavoidable. Luminaire placement below driver's line of sight and light cutoff measures will eliminate glare with no effect on light uniformity.

Another shortcoming of high-level lights is their low energy efficiency. Lighting poles also illuminate non-functional space where lighting is not necessary. The area that actually needs illumination is 5.3 meters above the road whereas lighting poles are usually 12 meters high. Consequently, decreasing the setup height will decrease power consumption.

Low uniformity of road illumination and low quality of vertical illumination also make traditional road lighting insufficient. Downward lighting cannot provide uniform vertical illumination, decreasing obstacle visibility. As a result, multiple shadowed areas appear when trees and road signs get in the way.

High-level lighting causes light pollution as a result of low light directionality. The size of these luminaires does not allow their setup in particular areas such as bridges. Ease of maintenance is also affected since workers need special equipment and additional safety measures to be able to work on high level above the ground. All these shortcomings can be avoided by implementing new low-level lighting system based on a low-level luminaire.

Based on the mentioned facts, implementing a new luminaire can drastically improve road lighting by achieving the following:

- increase in lighting quality in low visibility conditions;
- elimination of glare;
- improving energy-efficiency;
- making lighting more uniform;
- increasing the quality of vertical lighting;
- eliminating shadowed areas;
- making maintenance easier and less expensive;
- eliminating the need of installing high poles;
- making possible installation on bridges and near airports;
- eliminating light pollution.

To provide needed effect the luminaire has to be:

1. installed on the roadside below the line of sight of the driver;
2. angled by 90 degrees in relation to the driver's line of sight and should be equipped with light cutoff elements;
3. have a low profile, be compact and easily integrated into the road infrastructure;
4. be durable and hard to break;
5. be able to work in cold climate.

When designing a luminaire, it is important to understand its components and how they affect the quality of lighting. Quality of a product in general is rated by a number of features. Those features are:

- function (technical specifications, reliability, ergonomics, aesthetics);
- resource efficiency (manufacturability, production difficulty);
- environmental safety (eco-friendliness, safety).

Design of a product is an aggregation of elements defined by product's purpose and required features.

An average road luminaire consists of a case containing an optical assembly (lamp and reflector) and a ballast if required. For high-level lighting a pole is set up to carry the luminaire. The luminaire is usually installed on a console attached to the pole. Lamp specifications are crucial for providing quality lighting. Specifications include: energy efficiency, durability, eco-safety, ability to work in certain environmental conditions and color rendering index.

There are three types of light sources: incandescent lamps, gas-discharge lamps and LEDs. Incandescent lamps are the least durable and provide low efficiency, but they are also the least expensive and provide best color rendering. Gas-discharge lamps such as fluorescent and sodium lamps are way more efficient and durable with color rendering depending on the lamp type, however, they are not sustainable. LEDs are the most efficient and durable light source, but they are more expensive and demand intensive cooling.

Highway luminaires can have three main types of setup: integration, setup on a console or on a bracket. The most used type of setup is the console. Methods of fastening vary, but most of them require a pole to carry the console.

When designing a luminaire, the following parameters are considered:

- luminaire type, purpose, environment characteristics;
- size and setup requirements;
- design requirements and criteria;
- materials, optics, types of fastening;
- light source specifications such as power, efficiency, light temperature, color rendering;
- safety standards;
- manufacturing time and cost requirements.

Luminaire design includes the following stages: industrial design, optics design, heat dissipation design, electronics design and mechanical design. Then by prototyping and manufacturing a functional model numerous tests are carried out. The final product is released after all requirements are met and all needed

certification is acquired. Road luminaire are manufactured from durable materials able to withstand extreme temperatures, corrosion and physical damage such as aluminum alloys, steel and polymers.

Industrial design is what makes an object functional and aesthetically pleasing through the use of form and composition. Morphology is a process of designing the form of an object based on its function, technologies and materials. Perfect form has to conform to:

- technical and technological requirements;
- anthropometric and ergonomic principles;
- aesthetical principles.

A handy instrument to understand the function of an industrial design object is functional analysis. In functional analysis functions are formalized as a set of features. In the following table we describe functional features of a road light.

Table 1 – Functional features of a road light

<b>Operation</b>	<b>Functional features</b>
<b>Lighting</b>	Has to be uniform, glare-less, high intensity, conform to national standards, be energy-efficient and effective in fog and normal conditions.
<b>Setup</b>	Has to be simple, quick, should require as little resources and work as possible, should be intuitive.
<b>Alinement and launch</b>	Have to be simple, quick, and intuitive to the operator.
<b>Maintenance</b>	Has to be simple, quick, should require as little resources and work as possible, should be intuitive. Critical components have to be easily replaceable.
<b>Safety</b>	Should not bring harm to the driver in case of an accident.
<b>Durability</b>	Has to conform to standards of water-, impact-, electrical safety standards. A vandal protection should be implemented. The luminaire should be functional in low and high temperatures, snowdrifts and should be safe from damage of service machines on the road.

Table 1 continued

<b>Environmental safety</b>	Parts of the luminaire should be produced from eco-friendly materials, the light source should be energy-efficient and safe for the environment.
<b>Production</b>	The form of the luminaire should not be difficult to produce.

Ergonomics is another key component of industrial design. As a scientific discipline it studies the interaction between human and objects. To make the interaction comfortable for the user, multiple subjects should be considered: body features, movement ranges, limb sizes, visual perception, psychological reaction, etc. Ergonomics is divided into numerous subjects:

- hygiene (how an object meets sanitary requirements);
- anthropometrics (how an object matches body features of the user);
- physiological and psychophysiological factors (how an object fits visual, tactile and other physiological abilities of the user);
- psychological factors (how an object meets user's information processing abilities).

For a road luminaire we consider ergonomic parameters such as field of the user's view, operating space of the user, optimal light intensity and road illumination, human vision parameters such as time it takes to adapt to the changes in lighting, color rendering etc.

Artistic approach to the object's form is used to develop product's aesthetics. In order to achieve this, multiple methods are utilized. The most famous approach is styling. When implementing this method, a designer uses a complex of design principles and elements that reflect the same idea. As in any of creative disciplines, there are numerous styles in industrial design. Styling allows objects to come out unique and gives them ability to fit into a certain type of environment and be targeted at different types of users.

Composition is the key element for designing an aesthetically pleasant object. Composition unites all components of the object's form in accordance to its function, contents and purpose to represent a certain idea. The main elements of composition are: structure (which represents how elements of the object relate to each other and to the environment) and tectonics (representing how internal structure and function of the object are translated to its form). There are multiple instruments that can be used to build a composition such as: rhythm, symmetry, golden ratio, etc.

It is important to understand that material and technology also have a huge influence on an object's form. New materials and technologies emerge all the time and sometimes it is impossible to fully realize the potential of the material or a new technology in an old form. As an example, automated pipe rolling allowed for quicker and cheaper production of road luminaires.

#### **Раздел 4 – Заключение**

##### **Conclusion**

In this thesis we described the process of designing a stationary luminaire that is effective in fog and is suitable for highway lighting in normal conditions. We identified shortcomings of traditional lighting and justified the choice of an alternative lighting system using low-level luminaires. Low-level luminaires are able to replace traditional light poles as they solve multiple issues that high-level luminaires show: low effectiveness in fog, low energy-efficiency, light pollution, etc. However, a number of problems arise when these luminaires are used in Siberian regions: the absence of vandal and snowdrift protection, possible damage from road maintenance machines and low environmental temperatures. Other shortcomings of existing solutions such as low light uniformity and energy-efficiency make it necessary to develop a new alternative.

In the analytical part we described what makes a road luminaire: quality criteria, components, classification, design, production and technology. We also analyzed what we should consider at industrial design stage: functional features,

ergonomic aspects, artistic approaches in industrial design. We reviewed national standards that are relevant for designing a road luminaire and scientific papers providing research on the issues of fog lighting and possible solutions. A review of existing solutions for low-level lighting was provided with their pros and shortcomings that can be improved in a new luminaire.

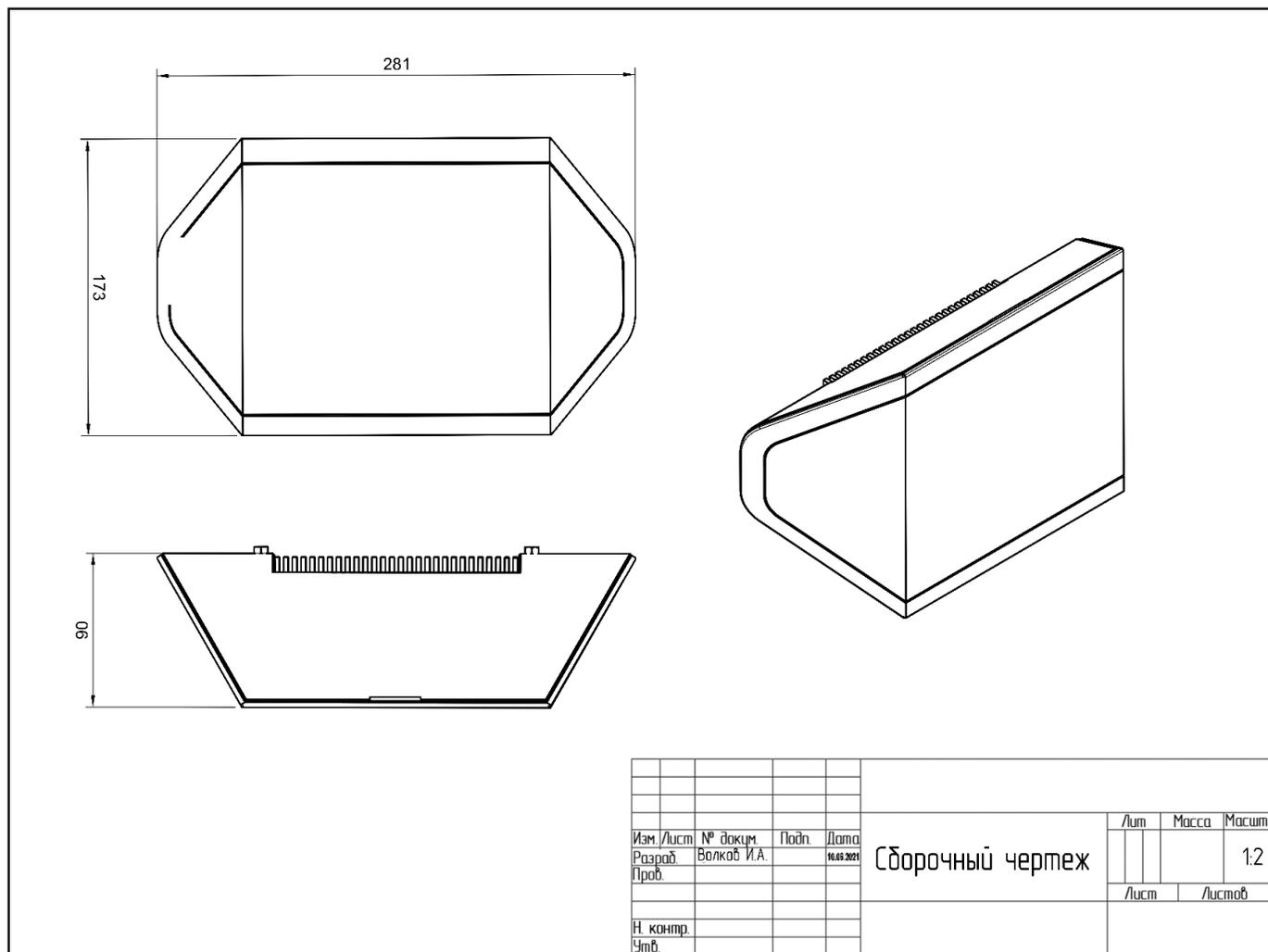
To design a better luminaire, we implemented a robust methodology that justifies design choices of the new product. For that we used principles of design thinking and product development methods for gathering and classifying information, identification of needs and customer requirements, idea generation, contradiction solving and concept generation methods. As a result of this step we composed a list of features to implement in the design concept.

During the concept design stage, we made final choices on how to implement required features. Different forms and implementations were proposed and displayed in the form of sketches. By comparing the ideas and reasoning we chose the optimal one. We also made some final choices on components that will be used in the design. Final concept was visualized in 3D software where we featured its components, use scenarios and setup.

An economic analysis was carried out to rate the probability of project success and potential problems. We used management techniques to plan and organize the work. We also estimated the budget of our project. An analysis of harmful and dangerous factors was performed to identify safety measures on the workplace.

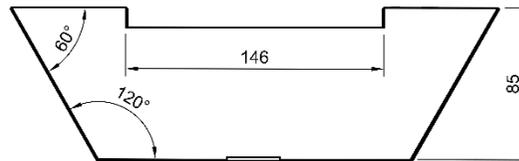
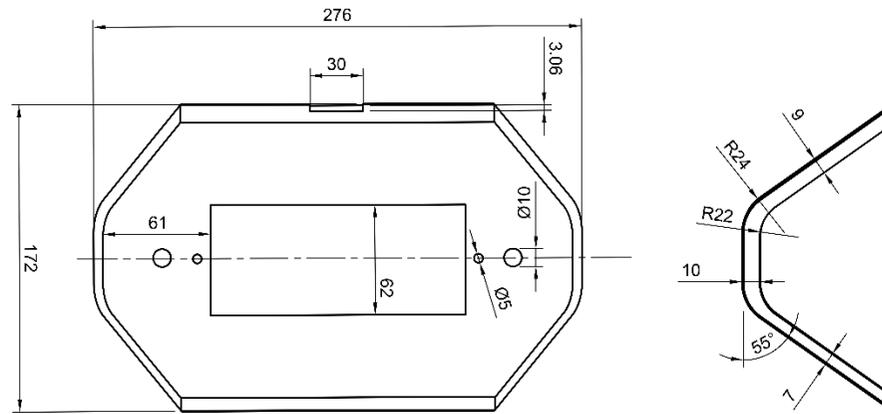
The result of this work is a concept of a luminaire design that will provide effective and efficient lighting in fog and normal conditions to improve safety on the roads of Siberian regions. The new luminaire implements low-level lighting principles while accounting for harsh weather conditions and aggressive environment – snowdrifts, vandalism, mechanical damage and low environmental temperatures.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б





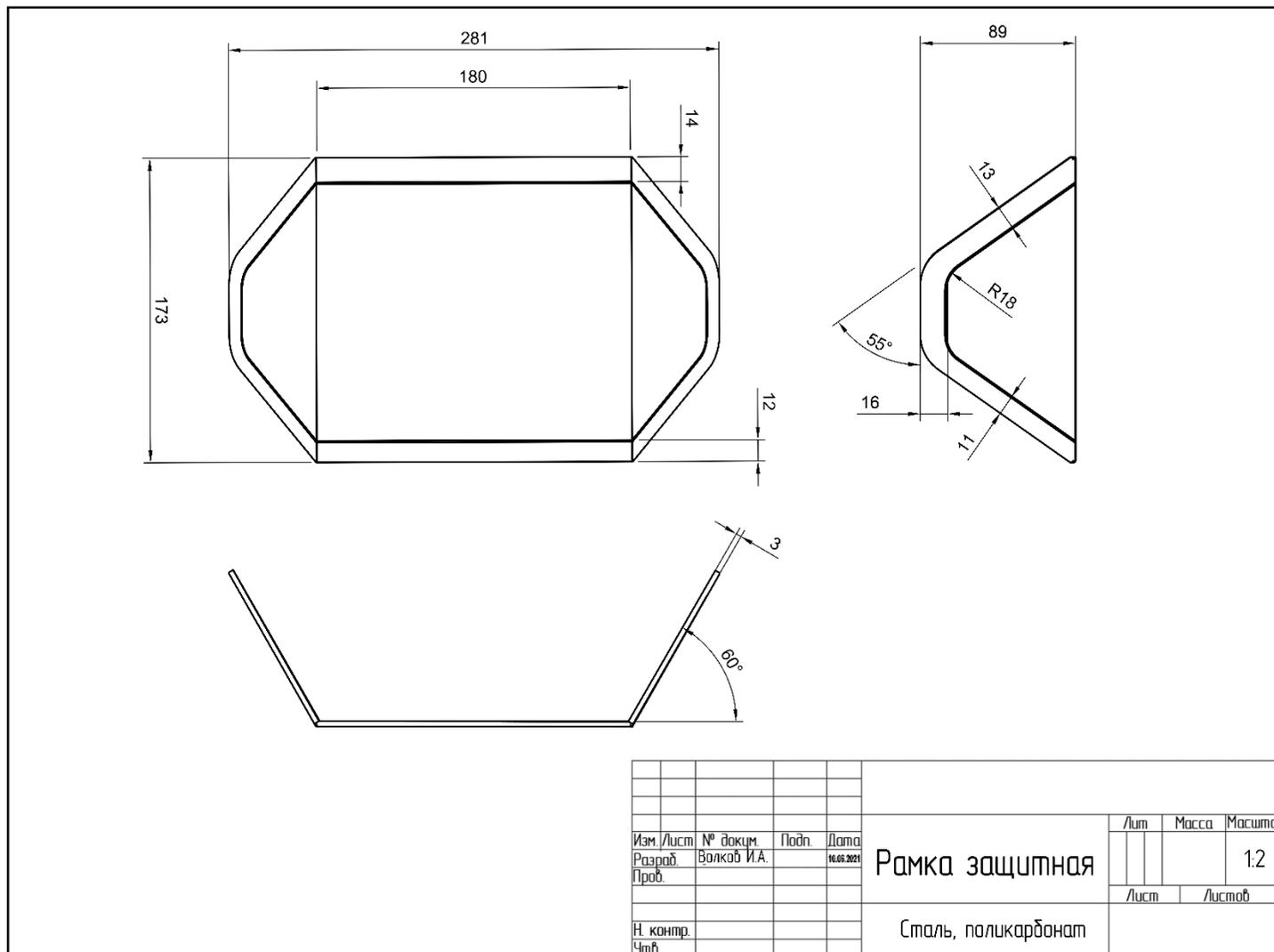
# ПРИЛОЖЕНИЕ Г



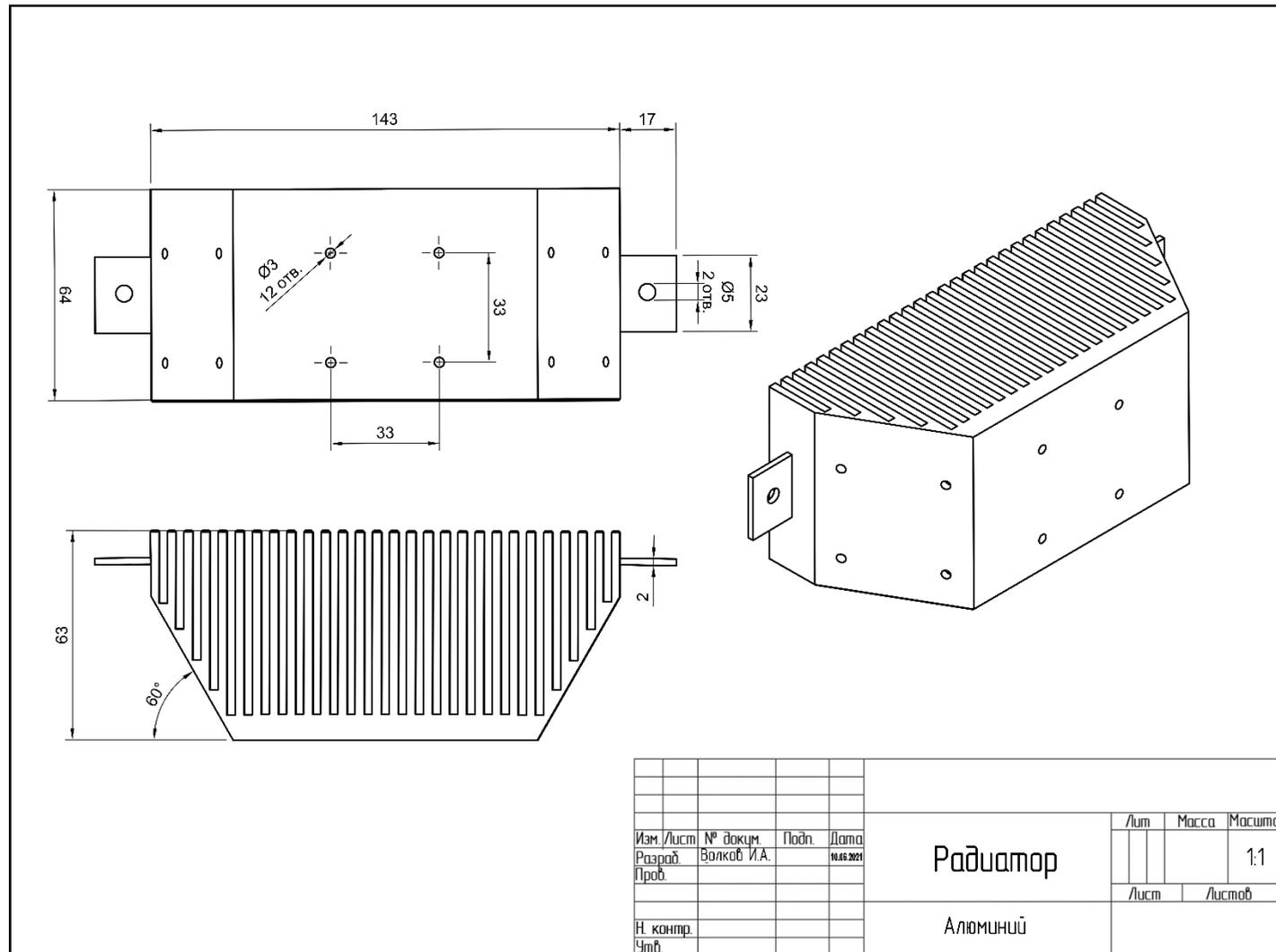
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Корпус	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Волков И.А.		16.09.2021				1:2
Проб.					Лист	Листов	
Н. контр.				Сталь с полимерным покр.			
Утв.							



## ПРИЛОЖЕНИЕ Е



## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж



### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>Компоненты</u>		
1	Рамка защитная	1	
2	Корпус	1	
3	Рефлектор передний	1	
4	Рефлектор левый	1	
5	Рефлектор правый	1	
6	Рассеиватель	1	
7	Радиатор	1	
	<u>Стандартизированные компоненты</u>		
8	Винт М10	2	
9	Винт М5	2	
10	Гайка М10	2	
11	Гайка М5	2	
12	Винт М3	12	
	<u>Прочее</u>		
13	Модуль светодиодный 30Вт	3	