

На правах рукописи



ХАРИТОНОВ ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ
ЛОКОМОТИВА НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДОВ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация (технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Сергеев Борис Сергеевич

Официальные оппоненты:

Иньков Юрий Моисеевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» (МГУПС (МИИТ)), профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы». Никифорова Нина Борисовна, кандидат технических наук, открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (ОАО «ВНИИЖТ»), ведущий научный сотрудник отделения «Тяговый подвижной состав».

Ведущая организация: открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (ОАО «НИИАС»).

Защита диссертации состоится «15» апреля 2016 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, ауд. Б2-15 – зал диссертационных советов.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: <http://www.usurt.ru>.

Автореферат диссертации разослан «___» 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимухина Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время на сети железных дорог РФ внедряются устройства оптоэлектроники, в частности светодиодная техника. Такие устройства внедряются и на подвижном составе. Но современный подход к разработке оптоэлектроники локомотивов имеет ряд недостатков. Из-за значительных габаритов стандартных систем общего освещения локомотива возникают паразитные отражения в лобовых окнах кабины. Чтобы избежать этого, необходимо увеличить кабину машиниста и спроектировать сложные конструкции остекления.

Применение ламп накаливания в лобовых прожекторах локомотива приводит к значительному числу отказов последних, что негативно влияет на безопасность и график движения. Диаграмма направленности излучения существующего прожектора показывает, что впередилежащий путь освещен недостаточно, а это не позволяет машинисту оперативно реагировать на опасность. И в кривых луч лобового прожектора не освещает впередилежащий участок пути, что также снижает безопасность. Большая же яркость излучения лобового прожектора ослепляет встречную локомотивную бригаду, обусловливая ухудшение условий безопасности.

Передача телемеханической информации по радиоканалу в промышленной радиотехнической обстановке также сопряжена со многими трудностями. Для надежной и защищенной линии связи необходимо разрабатывать сложные системы кодирования и фильтрации сигнала, при этом использование прогрессивных линий связи на основе оптических элементов для нужд локомотива из-за нерешенных технических вопросов ограничено. Одной из таких проблем является проблема точного наведения источника сигнала на приемник.

В решении поставленных задач заключается актуальность выполненной диссертационной работы.

Степень разработанности темы исследования. В области создания новой аппаратуры ЖАТ на основе светодиодов и решения комплексных вопросов ее применения на железнодорожном транспорте наибольший вклад внесен сотрудниками ВНИИАС, ВНИИЖГ, ВНИИЖТ. Среди отечественных ученых в этом отношении следует отметить С.Е. Агадурова, Ю.М. Инькова, М.А. Мурашову, Е.Н. Розенберга, Б.С. Сергеева. На развитие светодиодной техники оказали существенное влияние труды Д.А. Закгейма, Ф.Е. Шуберта, У. Narukawa. На развитие светотехники повлияли труды Ю.Б. Айзенберга, Б.Н. Бегунова, В.В. Трембача. Теоретические основы открытых оптических линий связи и оптики атмосферы описаны работах В.М. Вишневского, А.Л. Дмитриева.

Целью диссертационной работы является повышение безопасности движения за счет применения устройств оптоэлектроники локомотива на основе светодиодов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Разработаны системы светильников общего освещения, обеспечивающие безопасность движения локомотива.

2. Проведен анализ направлений разработки модульного узкоградусного прожектора для локомотива с точки зрения минимизации потерь во вторичной оптике.

3. Разработаны оптическая система модульного широкоградусного прожектора на основе светодиодов и способ изменения его кривой силы света (КСС), повышающие безопасность движения в кривых и исключающие ослепление встречной локомотивной бригады.

4. Сформулирован принцип реализации атмосферной оптической линии связи (АОЛС) в качестве дополнительного канала связи между подвижным составом и напольным оборудованием железных дорог.

Объектом исследования являются специальные электротехнические установки и системы управления ими.

Предмет исследования: обеспечение безопасности движения подвижного состава.

Научная новизна работы определяется следующими результатами.

1. Предложены и научно обоснованы принципиально новые виды систем светильников общего освещения, исключающие возникновение паразитных отражений на лобовых стеклах кабины машиниста, на основе предложенных оптических моделей кабины машиниста.

2. Предложена методика разработки модульного узкоградусного прожектора локомотива с точки зрения минимизации потерь во вторичной оптике.

3. Предложены и научно обоснованы новая широкая КСС для модульного прожектора подвижного состава и способ ее изменения, обеспечивающие безопасность движения в кривых и исключающие ослепление встречной локомотивной бригады.

4. Предложен принцип реализации АОЛС для передачи телемеханической информации между подвижным составом и напольным оборудованием железных дорог.

Теоретическая и практическая значимость работы определяется следующими полученными результатами.

1. Разработаны новые виды систем светильников общего освещения, соответствующие требованиям безопасности и позволяющие упростить конструкцию кабины машиниста маневрового тепловоза с кузовом капотного типа.

2. Предложены прожектор подвижного состава с широкой КСС и система управления для него, позволяющие повысить безопасность движения при движении в кривых и исключить ослепление встречной локомотивной бригады и представляющие возможность внедрения АОЛС для передачи информации между локомотивом и напольным оборудованием.

3. Разработана модульная узкоградусная система прожектора, позволяющая снизить потребление энергии от системы электроснабжения локомотива в 3,57 раза (внедрена в опытную эксплуатацию), и в 20 раз (опытные образцы) по сравнению со стандартным прожектором на основе лампы накаливания (ЛН). Модульный принцип построения позволяет системе оставаться работоспособной и безопасно продолжить движения при отказе отдельных модулей.

4. Разработанные системы светильников общего освещения и прожекторов на основе светодиодов внедрены на несколько серий электровозов и тепловозов, а также на газотурбовоз ГТ1Н; всего более 200 локомотивов, применяемых на железных дорогах общего и необщего пользования.

Методология и методы исследования. В ходе исследования автором применялись методы аналитической геометрии, геометрической оптики, теории оптических систем, математического моделирования, физического моделирования, а также проведен эксперимент.

Положения, выносимые на защиту:

1. Системы светильников общего освещения, разработанные на основе предложенных оптических моделей кабины машиниста.

2. Модульная узкоградусная система источника света головного на основе светодиодов, позволяющая значительно снизить потребление энергии.

3. Модульный прожектор локомотива с широкой КСС и система управления его светораспределением, позволяющие повысить безопасность движения в кривых и исключить ослепление встречной локомотивной бригады.

4. Принцип реализации АОЛС для передачи информации между локомотивом и напольным оборудованием железных дорог, позволяющий повысить достоверность передаваемой информации.

Степень достоверности полученных результатов диссертационной работы подтверждается корректным использованием выбранного математического аппарата на современном уровне математической строгости, апробированием результатов диссертационных исследований на научных конференциях, семинарах и внедрением в опытную эксплуатацию.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доказывались и обсуждались: на третьей и четвертой научно-технических конференциях с международным участием ИСУЖТ (Москва; 2014, 2015), периодических научно-технических семинарах аспирантов и кафедральных семинарах УрГУПС (Екатеринбург; 2014, 2015), расширенном заседании кафедры «Электрические машины» (Екатеринбург; 2015).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано шесть статей (из них три – в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертационных исследований), получены пять патентов РФ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка основных сокращений и обозначений, списка литературы, состоящего из 143 наименований. Текст диссертации содержит 143 страницы, включает 57 рисунков с графиками и иллюстрациями и 3 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, степень ее разработанности, формулируются цель и задачи работы, представляется научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, положения

выносимые на защиту, описывается методология и методы исследования степень достоверности и аprobация результатов.

В первой главе приводится обзор литературы, рассматриваются основы истории становления светодиода как элемента освещения, описывается современное направление применения светодиодов в светотехнических устройствах обеспечения безопасности движения. Описаны способы расчета освещенности. Приведено сравнение физических принципов работы светотехнических устройств на основе светодиодов, показывающее необходимость перехода светотехнических изделий безопасности на светодиоды.

Описывается опыт применения АОЛС и показывается, что применение оптического канала позволяет избегать сложностей, связанных с ЭМС окружающих приборы объектов.

В второй главе проводится рассмотрение вопроса обеспечения общего освещения кабины машиниста на основе светодиодных источников света, соответствующих нормам безопасности.

Рассматривается вопрос обеспечения равномерного освещения пульта кабины машиниста равноярким светодиодным светильником, при этом учитывается геометрия пульта. Равномерность освещения пульта напрямую влияет на безопасность движения локомотива, так как известно, что высокая неравномерность освещения рабочего места ведет к повышенной утомляемости оператора. В качестве изменяющихся факторов при построении модели взяты углы установки горизонтальных и вертикальных панелей и геометрические размеры светильника. На основе данной модели получено выражение для расчета освещенности в точке

$$E = L_0 S h \sum_i \frac{(h \cos \Theta + \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \sin \Theta)}{(x_i^2 + y_i^2 + h^2)^2}, \quad (1)$$

где i, j – порядковый номер соответствующей координаты светящегося элемента; S – площадь светящегося элемента, м²; h – высота светильника относительно точки освещения, м; Θ – угол наклона расчетной плоскости по отношению к горизонтальной плоскости, град; x, y – расстояние от светящегося элемента светильника до точки измерения, м; L_0 – габаритная яркость светильника, Кд/м².

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что при общем освещении кабины машиниста, основанном на равноярком светильнике, размеры светильника можно делать небольшими (по сравнению с размерами рабочего места), что позволяет удешевить конструкцию светильника при должном уровне обеспечения норм безопасности. Однако уменьшение размеров светильника увеличивает его габаритную яркость, при этом случайный взгляд на светильник с высокой габаритной яркостью может вызвать временный дискомфорт машиниста.

Далее рассматривается вопрос исключения отражения светильников в лобовых стеклах кабины машиниста на примере маневрового тепловоза с кузовом капотного типа. Светодиодный светильник представляется в виде равнояркой поверхности конечных размеров. При проектировании тепловоза принята конструкция кабины машиниста с плоскими стеклами, которые устанавливаются перпен-

дикуюлярно полу, что дает возможность упростить конструкцию, уменьшить ее размеры и себестоимость.

Для исключения попадания светильника в пределы видимости машиниста необходимо вывести из нее источники света и источники отраженного света, определяемые частями корпуса светильника, на которые попадает его свет. Для решения данной задачи разработана модель кабины машиниста, учитывающая распространение взгляда машиниста. На основе этой модели разработан корпус светильника специальной формы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Конструкция светильника

Геометрический расчет кабины машиниста со светильником показал, что взгляд машиниста, отражаясь от стекла, попадает на зеркальную поверхность светильника и, отражаясь уже от нее, не попадает на активную поверхность светильника. Отражение светильника в окне исключается, тем самым обеспечиваются нормы безопасности. Результаты проведенного исследования позволили изготавливать более дешевую в производстве конструкцию кабин машиниста, которая используется для тепловозов ТЭМ9Н, ТЭМ31М, ТЭМ2, ТГМ4Б.

В третьей главе рассматриваются вопросы реализации принципов разработки узкоградусных источников света на основе светодиодов, приводятся результаты практического внедрения устройств. Для локомотивного прожектора характерна глубокая диаграмма направленности с углом $\phi = 3^\circ$.

Одним из основных параметров узкоградусной оптической системы является отношение осевой силы света к общему световому потоку излучателя, который характеризует абсолютную высоту пика КСС.

Светодиоды с большим световым потоком характеризуются большой площадью, с которой происходит излучение светодиода (световое тело, СТ). В этом случае эффективная фокусировка светового потока – трудоемкая и экономически неэффективная задача.

Причина этого заключается в том, что при соизмеримых размерах СТ и вторичной оптики на одну и ту же точку оптики световые лучи попадают от разных точек СТ, под разными углами, что приводит к большей ширине пучка отраженного света и увеличивает угловой размер элементарных отображений СТ.

Таким образом, особенность светодиодного прожектора с глубокой диаграммой направленности заключается в том, что световой поток должен излучаться несколькими светодиодами с относительно малыми размерами СТ, каждый из которых имеет свою вторичную оптику. Значит, целесообразно разрабатывать прожектор на основе модульного подхода.

Существуют различные методы расчета вторичной оптики светодиодов. Однако они не рассматривают влияние геометрии линзы на оптические потери, которые существенно воздействуют на систему при большой мощности излучателей. Очевидно, что это повышает мощность всего устройства и дополнительно нагревает светодиод, что негативно сказывается на его ресурсе работоспособности. Кроме того, специфика использования прибора на железнодорожном транспорте требует от вторичной оптики высоких показателей прочности, простоты в обслуживании и защиты светового излучателя от внешней среды.

Для получения узкой диаграммы направленности внешняя грань должна быть рассчитана таким образом, чтобы возник эффект полного внутреннего отражения. Внутренняя поверхность линзы, которая одновременно является отверстием для установки светодиода, отклоняет боковые лучи светодиода на угол полного внутреннего отражения для более эффективного использования светового потока в линзе. Форма отверстия для размещения светодиода должна выбираться исходя из условий увеличения световой эффективности линзы, а также технологичности изготовления линзы. При выборе формы и размера внутренней поверхности линзы необходимо учитывать, что размещение поверхности линзы на небольшом расстоянии от первичной оптики необходимо для обеспечения требуемого теплового режима светодиода и уменьшения вероятности повреждения светодиода при сборке. Эффективно также использовать часть внутренней поверхности линзы для фокусирования света.

Предлагается сравнить линзы (рисунок 2), имеющие следующие грани: линза 1 – сферическая линза для фокусирования центральных лучей СТ и параболоидный отражатель для фокусирования боковых лучей СТ.

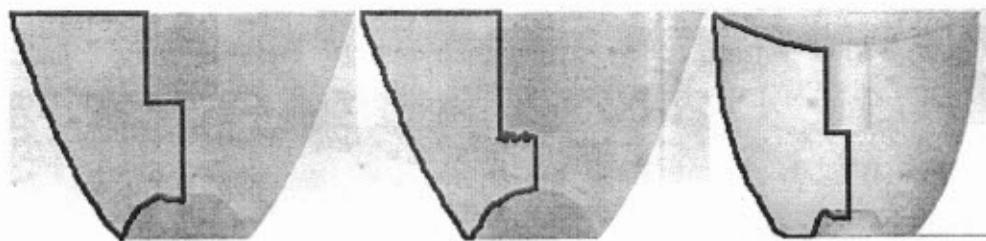


Рисунок 2 – Конфигурации предложенных линз

Применение в качестве внутренней грани полусферы позволяет уменьшить потери на отражении света при вводе его в линзу; такое решение распространим на остальные линзы. Линза 2, отличающаяся от линзы 1 тем, что в качестве собирающей линзы для центральных лучей СТ использована не сферическая линза, а линза Френеля; линза 3 имеет сферическую линзу для фокусирования центральных лучей СТ и систему эллипсоидного отражателя с линзой для фокусирования боковых лучей СТ. Предлагается сравнить представленные линзы по количеству потерь света и световой эффективности при одинаковой площади светового выхода. Причем будут сравниваться отдельно элементы, отвечающие за фокусиров-

ку центральных лучей СТ и боковых лучей СТ. В качестве СТ используем равногаркий излучатель с люминофором, нанесенным на чип.

Рассмотрены потери на отражение для сферической собирающей линзы. СТ находится в фокусе линзы.

Угол преломленного луча к нормали поверхности линзы в точке падения в зависимости от угла излучения ϕ :

$$m(\phi) = \arctg \left(\frac{\sin(\phi)}{n - \cos(\phi)} \right). \quad (2)$$

Тогда угол падения на поверхность линзы в зависимости от угла излучения ϕ :

$$\alpha(\phi) = m(\phi) - \phi, \quad (3)$$

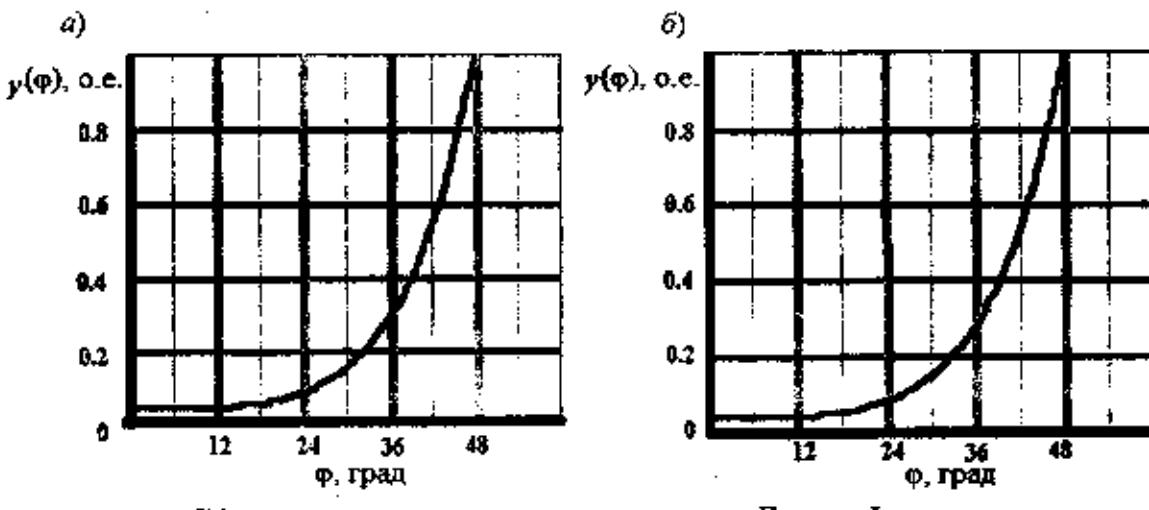
где ϕ – угол излучения СТ относительно нормали к его поверхности, град; n – коэффициент преломления стекла. Зависимость потери силы света на отражение от угла излучения СТ представлены на рисунке 3, а.

Рассмотрены потери на отражение для ступенчатой (линза Френеля) собирающей линзы. СТ находится в фокусе линзы. Зависимость угла преломленного луча к нормали поверхности линзы от угла излучения имеет вид

$$m(\phi) = \arctg \left(\frac{n \cdot \sin(\phi)}{n \cdot \cos(\phi) - 1} \right). \quad (4)$$

Зависимость потерь на отражение от угла излучения СТ представлена на рисунке 3, б.

Анализ графиков на рисунке 3, а и б показывает, что принципиальные различия в потерях на отражение в этих двух нет. Поэтому необходимо опираться на иные технические и физические характеристики этих элементов. Например, ступенчатая линза при равном диаметре со сферической будет иметь меньшую силу света за счет неполного заполнения светового отверстия светлой частью. Поэтому, если фокусируется пучок центральных лучей СТ в малых углах, то необходимо использовать сферическую линзу из-за большего заполнения светового отверстия светлой частью.



Сферическая линза

Линза Френеля

Рисунок 3 – Зависимость потери силы света на отражение в зависимости от угла излучения света СТ для разных типов линзы

Для оценки потерь на отражение на параболоидной грани можно показать, что

$$m(\phi) = \frac{4px_0(\phi)k(\phi)+1}{4px_0(\phi)-k(\phi)}, \quad (5)$$

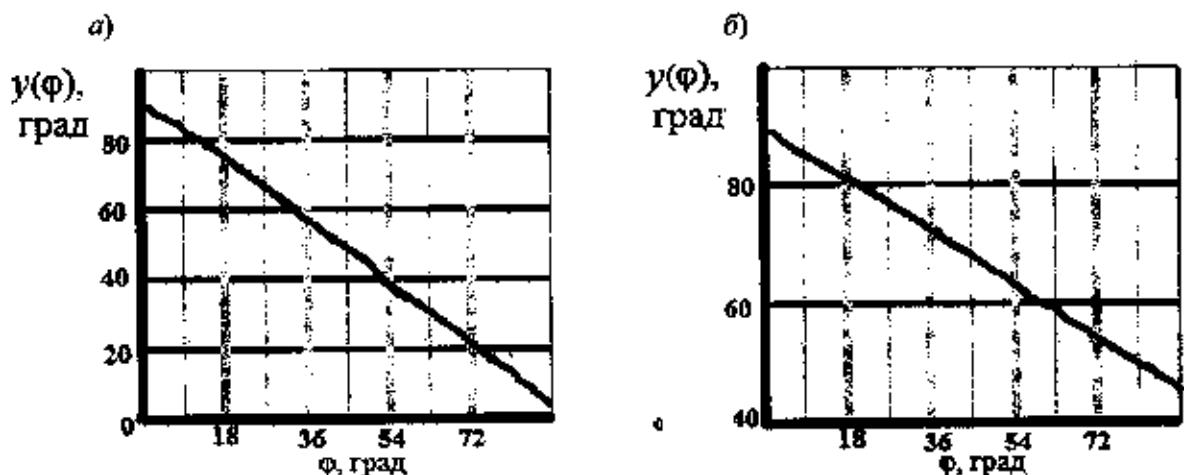
где $m(\phi)$ – тангенс угла между углом излученного СТ луча и касательной; p – параметр параболы, м.

$$\gamma(\phi) = \operatorname{arctg}\{m(\phi)\}, \quad (6)$$

где $\gamma(\phi)$ – угол между лучом излученным СТ и перпендикуляра к касательной в точке падения луча, град.

Результаты расчёта для различных параметров параболы приведены на рисунке 4.

Анализ графиков (рисунок 4) позволяет сделать вывод: чтобы лучи СТ претерпевали полное внутреннее отражение, необходимо использовать параболу с малым параметром. Для параболы с большим параметром световые лучи, излучаемые под углом $\phi \geq 60$ град, начинают претерпевать неполное внутреннее отражение, это приводит к тому, что общая эффективность линзы падает. Очевидно, что парабола с большим параметром при одной и той же высоте имеет больший угол охвата излучения, но меньшую площадь вывода света. Кроме того, линзы с гранью параболы с большим параметром при одинаковой высоте имеют меньшие массу и габаритные размеры. Таким образом, для оптимального выбора параметра параболы необходимо учитывать дополнительные факторы, например, массогабаритные характеристики всей узкоградусной системы.



Параметр параболы $p = 10$

Параметр параболы $p = 0,5$

Рисунок 4 – Угол падения луча СТ на грань параболы

в зависимости от угла излучения луча СТ при различных параметрах параболы

Для оценки потерь на отражение на эллиптической грани можно показать, что

$$m(\phi) = \frac{k(\phi) - k_1(\phi)}{k_1(\phi)k(\phi) + 1}, \quad (7)$$

где $m(\phi)$ – тангенс угла между излученным СТ лучом и перпендикуляром к касательной в точке падения на поверхность линзы; $k_1(\phi)$ – тангенс угла наклона прямой перпендикулярной к касательной эллипса.

Величина угла $\gamma(\phi)$ между излученного СТ луча и перпендикуляра к касательной рассчитывается по выражению (6).

Расчеты показывают, что часть излучения светодиода не претерпевает полного внутреннего отражения на гранях эллипса, при этом отношение габаритов оптической системы к осевой силе света меньше, чем у параболоида. Значит, использовать эллипсоидную поверхность в качестве внешней грани при разработке линзы с эффектом полного внутреннего отражения неэффективно.

По результатам проведенных исследований выполнено практическое конструирование светодиодных прожекторов, внедренных в опытную эксплуатацию на ОАО «РЖД» на ряде локомотивов для дорог общего и необщего пользования. В частности, более 125 электровозов типа 2ЭС10 оснащены данными изделиями. Потребляемая прожектором энергия от бортовой сети локомотива снизилась в 3,57 раза для внедренных изделий, кроме того, разработаны опытные образцы, в которых снижение доходит до 20 раз.

В четвертой главе рассматривается повышение безопасности движения за счет внедрения новых возможностей в лобовой прожектор подвижного состава.

На прямом участке пути стандартный локомотивный прожектор на основе лампы накаливания не является безопасным, так как ослепляет встречную локомотивную бригаду и неэффективно освещает путь, по которому идет локомотив. Машинист не в состоянии реагировать на объект, появившийся перед локомотивом. Во время движения локомотива по кривым участкам с различным радиусом кривизны освещение головки рельса уходит в сторону, что нарушает безопасность движения.

Длина кривой части пути, которая находится под лучом прожектора и может быть им подсвечена, зависит от радиуса кривой и оценивается из соотношения

$$L(R) = \frac{\pi R \alpha}{180^\circ}, \quad (8)$$

где R – радиус кривизны пути, м; α – угол падения света от оси прожектора, град.

На основе анализа возможной видимости пути из кабины машиниста предложены кривые силы света (КСС) для горизонтальной и вертикальной плоскости (см. рисунок 5, а, б).

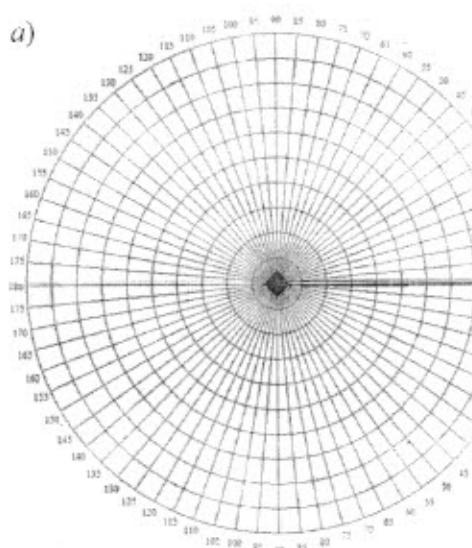
Локомотив с предложенной КСС лобового прожектора будет ослеплять встречную локомотивную бригаду. Для предотвращения ослепления нужно, чтобы встречный локомотив не попадал в КСС прожектора. Для этого определен угол, под которым будет видна кабина машиниста встречного локомотива в зависимости от расстояния до него:

$$\gamma(L) = \operatorname{arctg}\left(\frac{n+m}{L}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{m-n}{L}\right), \quad (9)$$

где m – расстояние между осями путей, м; n – половина ширины габарита подвижного состава, м.

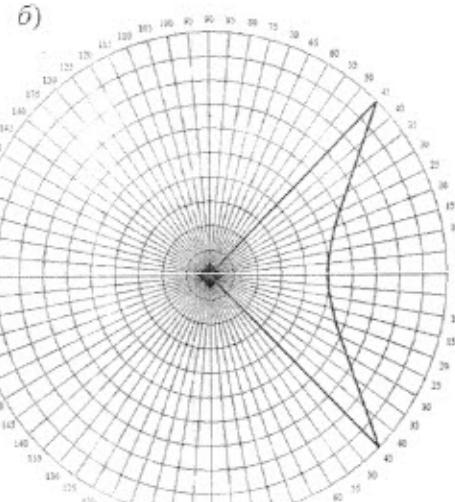
После определения угла необходимо изменить диаграмму направленности прожектора так, чтобы встречный локомотив оказался неосвещенным. Таким образом, предложенный лобовой прожектор локомотива значительно повышает безопасность движения в ночное время.

a)



Вертикальная плоскость

б)



Горизонтальная плоскость

Рисунок 5 – Предлагаемая КСС прожектора

Для формирования КСС, представленной на рисунке 5, с возможностью ее динамических изменений используем модульный принцип построения с избыточным числом одинаковых излучателей с круглосимметричным светораспределением, при этом каждый модуль повернут относительно оси на определенный угол. Такой способ имеет большую надежность в эксплуатации по сравнению с иными решениями на основе поворотных элементов. Для расчета системы СТ необходимо выбрать общую систему координат и совместить с нею частные системы путем поворота частных систем на определенный угол:

$$I(\phi) = I_1(\phi - \phi_1) + \dots + I_n(\phi - \phi_n), \quad (10)$$

где $I(\phi)$ – распределение силы света системы СТ, Кд; I_i – сила света отдельных СТ, Кд; ϕ_i – углы поворота частных систем координат относительно общей системы.

В общем случае шаг поворота системы определяется геометрическими размерами и КСС одного модуля.

Показано, что КСС системы может быть описана при помощи системы уравнений (11):

$$\begin{cases} I(\phi) = \frac{I_0}{[\cos(\phi)]^2} = \frac{m_1 \Omega h^2}{[\sin(\phi - \phi_1)]^2} + \dots + \frac{m_n \Omega h^2}{[\sin(\phi - \phi_n)]^2}, & \phi \in [-45, +45] \\ I(\phi) = \frac{\Omega L_2^2}{\sin(\phi)^2}, & \phi \notin [-45, +45], \end{cases} \quad (11)$$

где I_0 – осевая сила света прожектора, 960 кКд; h – высота центра прожектора относительно головки рельса, м; m_i – весовой коэффициент модуля в системе, L_2 – расстояние от локомотива до лесных насаждений, м.

Для оценки потребляемой энергии устройством от системы электроснабжения локомотива необходимо оценить требуемый световой поток от широкоградусного прожектора. В общем случае световой поток Φ рассчитывается:

$$\Phi = \int_{c=0}^{2\pi} \int_{\gamma=0}^{\pi} I(c, \gamma) dc d\gamma. \quad (12)$$

Одновременно с этим прожектор является набором отдельных световых модулей с круглосимметричным светораспределением:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \Phi_i; \quad (13)$$

$$\Phi_i = 4\pi \int_{\phi=0}^{\pi/2} I(\phi) \sin(\phi) d\phi. \quad (14)$$

При разработке управляемого прожектора определен способ, благодаря которому система будет отслеживать необходимую для безопасного движения ширину луча. Для определения ширины луча в системе должна быть информация о радиусе кривой движения и наличии встречного локомотива. Для оптимального управления КСС лобового прожектора, способного повысить безопасность движения локомотива, необходимо использовать несколько систем, при этом наиболее точное управление произойдет при одновременной обработке информации от системы геопозиционирования, системы видеонаблюдения из кабины, дополнительной информации от напольного оборудования.

При использовании на локомотиве прожектора с широкой переменной диаграммой направленности становится принципиально возможно наводить информационный пучок на любое месторасположение приемника около путей. Для передачи информации по АОЛС на железной дороге необходимо изменять параметр амплитуды световой волны от передатчика. Применение данного способа связи на железной дороге для обмена информацией между локомотивом и напольным оборудованием было затруднено из-за отсутствия возможности точно наводить световой пучок на приемник, кроме того светотехническое оборудование на основе ламп накаливания не обладало нужной частотой изменения светового потока. Для реализации данной функции в прожектор локомотива железнодорожного транспорта введены модули световых излучателей, выполняющие функции передатчиков информации, использующих в качестве среды передачи информации открытый атмосферный канал, а на защитном стекле осветительного устройства устанавливается набор фотоприемников. Для наведения луча прожектора на напольное оборудование необходимо знать его точное положение относительно пути следования и скорость подвижного состава.

Таким образом, появляется принципиальная возможность организовать новый канал передачи информации, что позволяет повысить надежность передаваемой информации и безопасность движения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получено следующее.

1. На основе разработанных оптических моделей кабины машиниста предложены системы светильников общего освещения. Внедрение данных систем на тепловозы серий ТЭМ9Н, ТГМ4Б, ТЭМ31М, ТЭМ2 позволило уменьшить габариты кабины машиниста и упростить способ установки лобовых стекол. Данные изменения позволили снизить себестоимость кабины, не приводя к нарушению требований безопасности по общему освещению.

2. На основе анализа существующих подходов к проектированию узкоградусной оптики с учетом специфики областей применения предложена методика разработки модульной узкоградусной системы прожектора локомотива. На основе данной методики разработаны и внедрены в опытную эксплуатацию на несколько серий локомотивов железных дорог общего и необщего пользования модульные светодиодные прожекторы, позволившие снизить потребление энергии от бортовой сети локомотива в 3,57 раза и повысить надежность системы освещения за счет поддержания рабочего состояния и возможности безопасно продолжить движение при отказе отдельных модулей прожектора.

3. Показано, что стандартный локомотивный прожектор не обеспечивает безопасность движения в ночное время. Для повышения безопасности разработан светодиодный прожектор с широкой диаграммой направленности и система управления для него, позволяющие равномерно освещать путь в ночное время при любой кривизне пути, не ослепляя встречную локомотивную бригаду.

4. Предложен принцип реализации АОЛС в качестве дополнительного канала связи между подвижным составом и напольным оборудованием железных дорог, что позволяет повысить достоверность передачи информации.

5. Разработанные системы светильников общего освещения и прожекторов на основе светодиодов внедрены на несколько серий электровозов и тепловозов, а также на газотурбовоз ГТ1Н, всего более 200 локомотивов, применяемых на железных дорогах общего и необщего пользования.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих научных рецензируемых периодических изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:

1. Харitonov, И.В. Анализ освещенности кабины маневрового тепловоза / И.В. Харitonov, Б.С.Сергеев, А.Д. Волосников // Транспорт Урала.– 2014. – № 2 (41). – С. 73–76.

2. Харитонов, И.В. Особенности проектирования узкоградусной линзы для светодиодного прожектора локомотива / И. В. Харитонов, Б. С. Сергеев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – № 5. – С. 11–13.

3. Харитонов, И.В. Повышение безопасности движения локомотива в кривых / И. В. Харитонов, Б. С. Сергеев // Транспорт Урала. – 2015. – № 2 (45). – С. 87–91.

Патенты Российской Федерации:

1. Пат. № 2563587 Российской Федерации, МПК B60Q 1/06. Приемо-передающее устройство / Манько Н.Г., Мансуров В.А., Харитонов И.В.; заявитель и патентообладатель ОАО «НПО автоматики». – № 201412039/07; заявл. 30.05.14; опубл. 25.08.15. Бюл. № 26. – 6 с.

2. Пат. №153592 Российской Федерации, МПК F21S10/00, H01L33/00. Светодиодный светильник общего назначения / Манько Н.Г., Мансуров В.А., Харитонов И.В.; заявитель и патентообладатель ОАО «НПО автоматики». – № 2013146909/07; заявл. 21.10.13; опубл. 27.07.15. Бюл. №21. – 1 с.

3. Пат. № 2510644 Российской Федерации, МГК F21S13/00. Модульный светодиодный прожектор / Манько Н.Г., Мансуров В.А., Шапран Ф. В., Харитонов И. В., Чудиновских В. Е.; заявитель и патентообладатель ФГУП «НПО автоматики». – № 2012134235/07, заявл. 09.08.2012, опубл. 10.04.2014. Бюл. № 10. – 8 с.

4. Пат. № 2539665 Российской Федерацией, МПК F21S8/00 B61L5/18. Светофорная система / Манько Н.Г., Мансуров В.А., Шапран Ф. В., Харитонов И. В.; заявитель и патентообладатель ФГУП «НПО автоматики». – № 2012134234/11, заявл. 09.08.2012, опубл. 20.01.2015. Бюл. №2. – 7 с.

5. Пат. № 157732 Российской Федерации, МГК B60Q 1/06. Прожектор локомотива железнодорожного транспорта / Манько Н.Г., Мансуров В.А., Харитонов И.В.; заявитель и патентообладатель АО «НПО автоматики». – № 2014119661/11, заявл. 15.05.2014, опубл. 10.12.2015. Бюл. №34. – 2 с.

Публикации в журналах и научных сборниках:

1. Харитонов, И.В. Интеллектуальные возможности применения светодиодных систем на локомотивах железнодорожного транспорта / Б. С. Сергеев, И. В. Харитонов // «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. ИСУЖТ-2014»: труды третьей научно-технической конференции с международным участием – 2014. – С. 217–219.

2. Харитонов, И.В. Принципы расчета освещенности кабины машиниста / И. В. Харитонов // Вестник УрГУПС. – 2014. – №4. – С. 99–103.

3. Харитонов, И.В. Светодиодные головные прожекторы локомотивов / И. В. Харитонов, Б. С. Сергеев // Железнодорожный транспорт. – 2015 – № 12. – С. 59–60.

ХАРИТОНОВ ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ
ЛОКОМОТИВА НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДОВ**

**Специальность 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация (технические науки)**

Подписано в печать 12.02.2016.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ 63.

Издательство УрГУПС
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.
Тел.: (343)221-24-90