

Сергей Гвоздев | gvozdevsm@yandex.ru | Александр Митрофанов | Сергей Сафонов
Валерий Холодилов | okbmelz@rambler.ru | Валентина Хухтикова

Эффективное решение

для мощных светодиодных светильников уличного освещения

В статье рассмотрены оригинальные конструктивные решения для мощных светодиодных светильников уличного освещения, позволяющие увеличить срок службы светодиодов до 75 000 ч. Проведен анализ способов повышения эффективности светильников со световыми потоками 10–30 клм, выполненных на базе светодиодных модулей. Описаны отдельные этапы разработки светодиодного модульного светильника собственной конструкции для освещения дорог класса А категории А1.

Введение

Стремительное развитие энергоэффективной светодиодной техники позволяет светотехническому рынку предлагать новые источники излучения, характеризующиеся более высокими показателями качества освещения по сравнению с предшествующими моделями. Светоотдача до 150 лм/Вт, долгий срок службы

в 50 000 ч, качественные цветовые показатели излучения с индексом цветопередачи 80–90, возможность программного регулирования яркости светильника — основные достоинства полупроводниковых источников излучения, представляемых сегодня ведущими производителями светодиодов.

Использование оптической системы в световых приборах необходимо для перераспределения

светового потока источника в пространстве, что создает требуемое распределение освещенности, нормируемое сводом правил. Оптическая система имеет свою эффективность и зачастую является определяющим фактором эффективности светового прибора. Рабочие характеристики светодиодов зависят от теплового режима на *p-n*-переходе, создаваемого за счет конструктивных решений, которые влияют на габариты и вес светильника. Внедрение интеллектуальных систем освещения подразумевает использование регулируемых источников питания для управления светодиодами по току, что позволяет изменять общий световой поток светильника и разумно использовать электроэнергию. Исполнение всех этих параметров на высоком уровне и является энергоэффективным решением для мощных светодиодных световых приборов для наружного освещения и осветительных систем в целом.

Для выполнения требований к освещению улиц, дорог, площадей необходимо использовать светильники со световым потоком не меньше 10 клм. В светодиодных светильниках для достижения таких потоков используется множество одноаттных светодиодов, устанавливаемых на единой печатной плате. Долговечность светодиодов является основным техническим преимуществом перед традиционными источниками света и зависит от таких факторов, как температурный режим и качество источника питания (драйвера). Для обеспечения срока службы светодиодов 25–50 тыс. часов производители светодиодов ограничивают температуру теплоотводящей поверхности светодиодов на уровне не более +85 °С (рис. 1) [2]. Данное требование определяется в основном конструкцией светового прибора и достигается в светодиодных светильниках за счет отвода

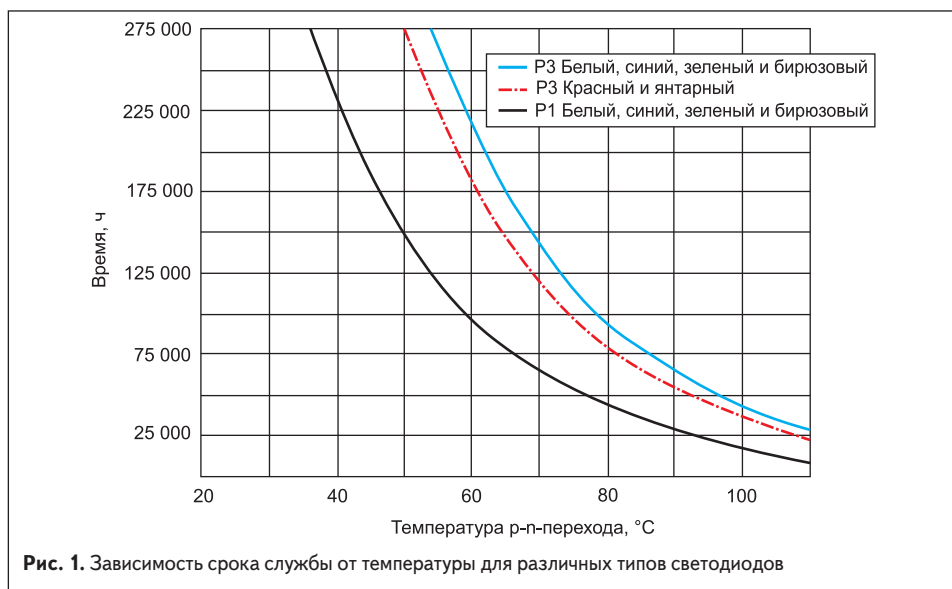


Таблица 1. Параметры светодиодных светильников

Изготовитель	Особенности конструкции					Категория освещения	Вес / 1000 лм светового потока, кг/клм
	Мощность, Вт	Тип тепловой системы	Вес, кг	Световой поток, лм	Тип КСС		
ГК «Церс», Россия [1]	220	П	14	15 000	Ш	А, М2	0,93
«АтомСвет», Россия [2]	164	П	6,4	13 500	Ш	А, М2	0,47
НПО GALAD, Россия [3]	160	П	18,1	12 000	Ш	Б	1,51
ELGO Lighting Industries, Польша [4]	120	П	11,8	9100	Ш	Б	1,30
High Power Lighting, КНР [5]	150	А	8,5	8000	Ш		1,06
ICEPIPE LED Lamp, КНР [6]	300	А	3,7	22 830	Г		0,16
Vastino, КНР [7]	220	А	7,7	17 000	Г		0,45

и последующего сброса тепла в окружающую среду путем естественной конвекции и теплового излучения. В таблице 1 приведен перечень отдельных светодиодных светильников наружного освещения отечественных и зарубежных производителей с пассивным (П) и активным (А) теплоотводом.

Анализ конструкций светильников и их параметров, приведенных в таблице 1, показывает, что:

- Для повышения коэффициента использования светового потока в светильниках используется вторичная оптика (асимметричные линзы в том случае, если светодиоды расположены в одной плоскости, либо осесимметричные линзы, когда светодиоды расположены на разных печатных платах, максимальная сила света которых ориентируется в пространстве под разными углами к освещаемому объекту).
- Для отвода тепла от светодиодов в конструкциях светильников отечественных производителей используется способность твердых материалов (алюминий, медь) отводить тепло от теплоотводящей поверхности светодиодов к наружной поверхности корпуса светильника (пассивная тепловая система). Оребренная наружная поверхность корпуса светильника осуществляет отвод тепла в окружающую среду. Корпус и радиатор светильника составляют единый конструктив.
- Для отвода тепла от светодиодов в конструкциях светильников зарубежных производителей используется как пассивная, так и активная тепловая система, совершающая принудительный отвод тепла от светодиодов за счет двухфазных передающих тепловых систем — тепловых труб и устройств на их основе [8].

По итогам исследования технического уровня и тенденций развития светотехники на основе патентной информации были выявлены изобретения, использующие в качестве теплоотвода термосифонные трубки (рис. 2) [6, 7].

Сравнение параметров светодиодных светильников показывает, что материалоемкость, представленная в виде соотношения «вес к 1000 лм светового потока» у светильников, имеющих активную тепловую систему, значительно ниже, чем у светильников с пассивной системой. Применение тепловых труб, имеющих теплопроводность на три порядка больше, чем у алюминия, традиционно используемого в качестве корпуса и радиатора, позволило отделить корпус светильника от системы сброса тепла в окружающую среду. Благодаря этому разработчикам удалось оптимизировать массогабаритные параметры светильников. Этой возможностью воспользовались специалисты фирмы ICERPIPE LED Lamp, создавшие светильник со световым потоком почти 23 клм и весом всего 3,7 кг.

В настоящее время группа наших специалистов ведет научно-исследовательскую работу по созданию светового прибора для наружного освещения. Одной из целей данной работы является разработка уличного светодиодного светильника с использованием тепловых труб, который обеспечивает реализацию срока службы светодиодов, близкого к паспортным данным. В качестве объекта освещения, в связи

с выходом новой редакции СНиП 23-05-95 [9], выбрана дорога категории А класса А1, требующая для освещения мощных световых потоков. Параметры дороги:

- высота подвеса светильника 11 м;
- двухрядное прямоугольное расположение столбов;
- расстояние между столбами 35 м;
- ширина дороги 20 м;
- тротуар 2 м;
- вынос светильника поперек дороги 0 м.

Проектирование светодиодного светильника с использованием тепловых труб состояло из следующих этапов:

- определение требований и выбор параметров светодиодного источника света, обеспечивающего световые потоки 20–30 клм;
- светотехнический расчет распределения освещенности в плоскости дороги;
- макетирование элементов, позволяющих в дальнейшем разработать светильник для освещения дорог категории А с использованием мощных 5-Вт светодиодов с КПД не менее 80% и минимальным отношением веса к световому потоку.

Расчет элементов светоптической системы и параметров светового пучка светильника

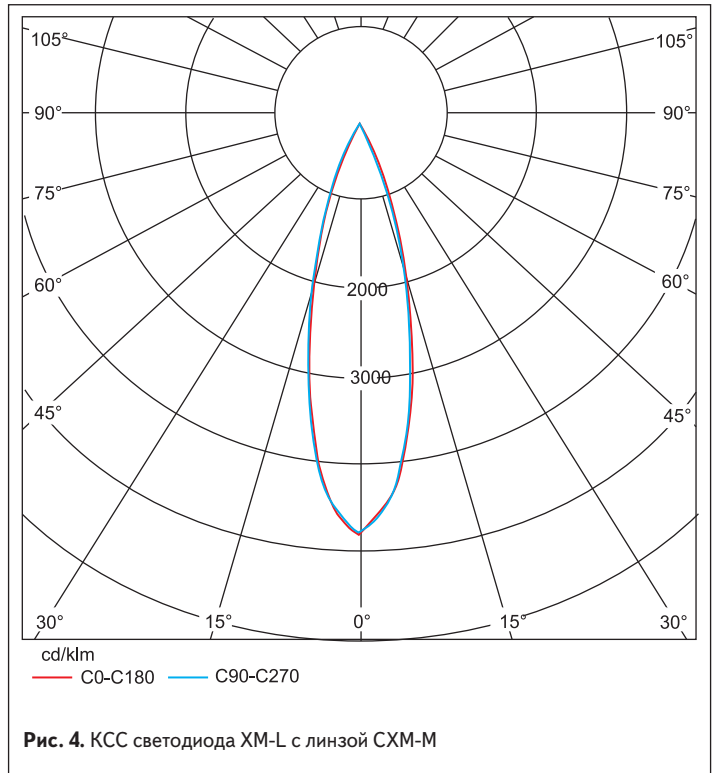
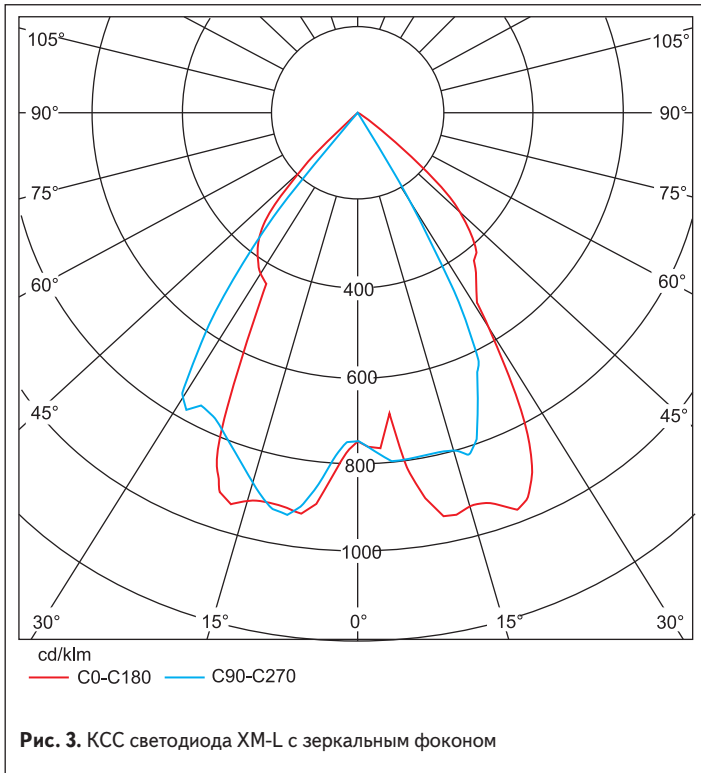
В основе светотехнического расчета лежит решение обратной задачи, заключающее-

ся в пересчете условий освещения дороги к параметрам светового пучка светодиодного светильника [10]. Исходя из практики конструирования светодиодных светильников, выбираем светодиодный источник света, состоящий из двух равнозначных источников, устанавливаемых на опоре и освещающих взаимно-противоположные стороны от нее. Каждый из источников света состоит из N светодиодных модулей (включающих вторичную оптику), световые пучки которых в плоскости дороги при частичном наложении их следов друг на друга должны обеспечить равномерное освещение. Количество светодиодных модулей, их параметры (сила света, светораспределение) и ориентация максимальной силы света относительно плоскости дороги выбирается на основе анализа соответствия расчетного и принимаемого значений силы света светодиодного модуля, обеспечивающего требуемую освещенность с учетом допустимых отклонений.

Расчет силы света в световом пучке проводится по известному выражению [11]. Результаты расчетов требуемых значений силы света светового пучка, обеспечивающего освещенность в 30 лк на участке дороги между столбами, задают геометрические и светотехнические требования к параметрам светового пучка оптической системы светодиодного светильника. Световой пучок, как минимум, должен полностью освещать расчетный участок дороги, исходя из чего получаем минимально допустимые его угловые размеры. Рассчитанные угловые



Рис. 2. Виды светодиодных светильников, использующих тепловые трубки



размеры освещаемой дороги на отдельных участках позволяют задать требования к угловым размерам световых пучков светодиодных модулей и, следовательно, определить требования к параметрам вторичной оптики.

Обеспечение равномерного освещения заданного участка дороги при достаточно высоком уровне освещенности (30 лк) с допустимыми пределами отклонения ее от норм согласно СНиП в сочетании с высоким коэффициентом использования светового потока светодиодов — многопараметрическая задача. Для ее решения необходим определенный компромисс между количеством используемых светодиодов и их режимом питания, параметрами вторичной оптики, ориентацией осей излучения светодиодного источника света относительно плоскости дороги.

Не останавливаясь на всех деталях анализа компоновки элементов световой оптики све-

тильника и конструкции светильника в целом, для дальнейших расчетов принимаем:

- В качестве единичного источника света выбран высокоинтенсивный светодиод фирмы Cree типа XM-L, имеющий световую отдачу 130 лм/Вт и потребляющий мощность до 10 Вт.
- В оптической системе светодиодного светильника будем использовать два типа светоизлучающих систем: светодиод в сочетании с отражательной оптикой (матричный фокус) [12] и светодиод в сочетании с линзой фирмы LEDIL, КСС которых в режиме питания светодиода током 1,5 А приведены на рис. 3 и 4.

В качестве варианта компоновки выбираем моделируемый светильник, состоящий из восьми светодиодных модулей (рис. 5). Светильник включает в себя 64 светодиода,

суммарная мощность питания 295 Вт. Система охлаждения активная — термосифонная труба, отводящая тепло от светодиодного модуля к внешнему радиатору.

Каждый модуль содержит определенное количество светодиодов, при этом он имеет оптическую систему только с линзами или только с зеркальными фоконами. Модули, в зависимости от того участка дороги, который они освещают, ориентированы по двум углам относительно вертикали. Для создания большей равномерности на дороге используется возможность управления светодиодами по току, чтобы регулировать их световой поток. При этом на одну часть модулей подается повышенный ток 1,5 А, что привело бы к увеличению выделяемой мощности светодиодом и нарушению температурного режима, если

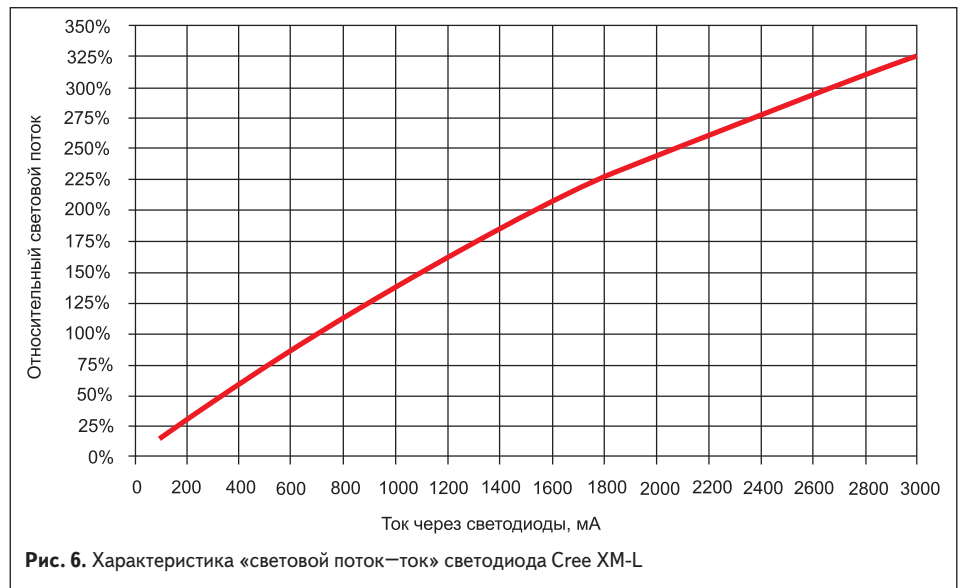
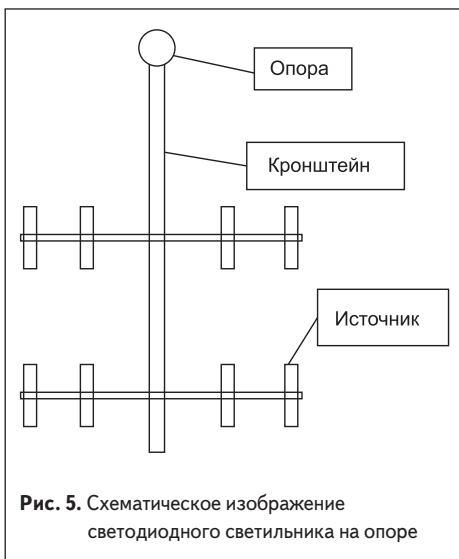




Рис. 7. Зависимость разности температур радиатора и окружающей среды (ΔT , °C) от режимов питания светодиодной линейки

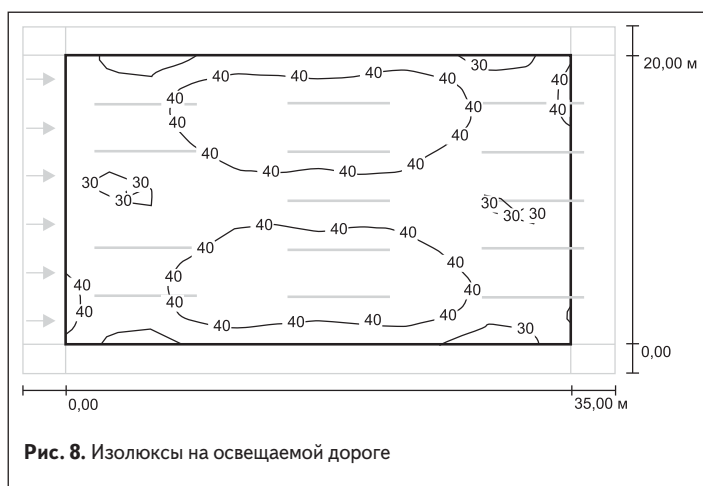


Рис. 8. Изолюксы на освещаемой дороге

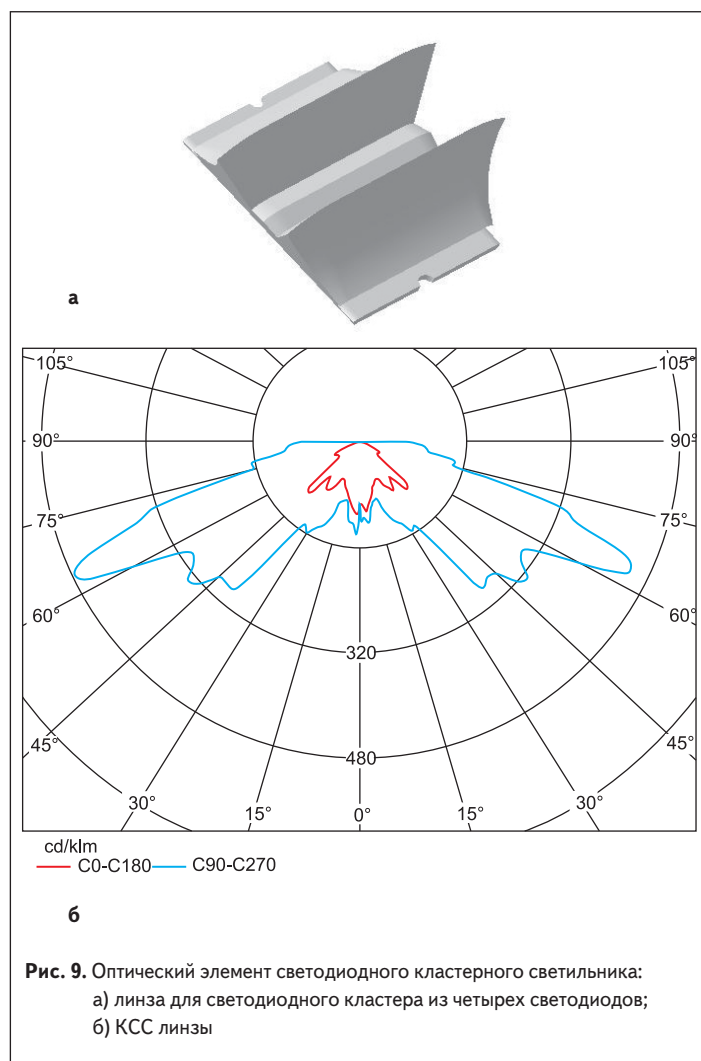


Рис. 9. Оптический элемент светодиодного кластерного светильника: а) линза для светодиодного кластера из четырех светодиодов; б) КСС линзы

бы не использовалась термосифонная труба, которая эффективно отводит избытки тепла на внешний радиатор (рис. 6 и 7).

Расчет распределения освещенности и параметров светового пучка

Расчет распределения освещенности в расчетной плоскости дороги, создаваемой моделируемыми светильниками, проводился в программе DIALux 4.9. При расчете освещенности в программу был введен коэффициент запаса по освещенности 1,25. В качестве параметра, характеризующего блескость светильника, был принят параметр порогового приращение яркости Tl [9, 13]. Результаты расчета нормируемых показателей согласно СНиП приведены в таблице 2, а общее распределение освещенности на дороге — на рис. 8.

Как видно из приведенных результатов расчета, выбранные параметры светодиодных модулей и их ориентация в пространстве позволяют обеспечить достаточно хорошую равномерность освещенности и ее уровень, соответствующие дороге категории А класса А1.

Показатель, характеризующий продольную равномерность яркости, может быть улучшен при проведении окончательного выбора и разработки светильника, так как это улучшение может быть выполнено за счет разных подходов — например, за счет увеличения светового потока первого модуля (путем увеличения силы тока либо за счет использования большего количества СИД) или же путем уменьшения силы света третьего модуля, а также при использовании многоэлементного кластера с четырьмя СИД с линзой (рис. 9).

Световой поток светильника, который непосредственно попадает на освещаемый участок до-

роги, отнесенный к полному потоку светильника, характеризует коэффициент использования по потоку, который составляет в данном случае 0,71. Полный поток светодиодов, работающих в заданном режиме, равен 32 330 лм. Для светотехнического расчета был взят световой поток светильника с коэффициентом запаса 1,4, что составило 20 020 лм, с целью учета возможного уменьшения светового потока светодиода на 30% в течение срока службы 50 000 ч. Начальный поток светильника, таким образом, равен 28 030 лм, а КПД светильника составляет 87%, поскольку основной вклад в потери потока вносит только оптика, характеризуемая высокими коэффициентами пропускания и отражения (порядка 85–95%).

Световая отдача смоделированного светильника со световым потоком 28 030 лм, включающего в себя 64 светодиода общей мощностью порядка 300 Вт, составляет 91,3 лм/Вт.

Таблица 2. Нормируемые и расчетные показатели освещенности в расчетной плоскости дороги

	Средняя яркость дорожного покрытия $L_{ср}$, кд/м, не менее	Общая равномерность распределения яркости дорожного покрытия $L_{мин}/L_{ср}$, не менее	Продольная равномерность распределения яркости дорожного покрытия $L_{мин}/L_{макс}$, не менее	Средняя освещенность дорожного покрытия $E_{ср}$, лк, не менее	Равномерность распределения освещенности дорожного покрытия $E_{мин}/E_{ср}$, не менее	Пороговое приращение яркости Tl , не более
Необходимо	2,0	0,4	0,7	30	0,35	10
Получено	2,8*	0,4*	0,4**	38*	0,61*	9*

Примечание: * — выполнено; ** — не выполнено.

Макетирование светодиодного модуля

На основании результатов расчета проведено макетирование светодиодного модуля с использованием тепловой трубы термосифонного типа (рис. 10).



Рис. 10. Фотография светодиодного модуля мощностью 43,5 Вт

Исследования параметров светодиодного модуля показали, что при весе модуля 1,4 кг, температура радиатора составляет 64 °С для температуры окружающей среды 22 °С, а световой поток равен 3330 лм, при этом температура на светодиодной плате не превышает 74 °С.

Исследования параметров светодиодного модуля показали, что при весе 1,4 кг температура радиатора составляет +54 °С для температуры окружающей среды +22 °С, а световой поток равен 3330 лм. При этом температура на светодиодной плате не превышает +64 °С.

Сравнение максимальной силы света макетных образцов светодиодного модуля с расчетными характеристиками показывает их хорошее совпадение и, следовательно, возможность реализации в конструкции

требуемых светотехнических параметров светового пучка.

В работе были проведены испытания тепловой трубы при разных углах ориентации светодиодного модуля в пространстве. По условиям работы тепловой трубы термосифонного типа конденсор должен быть всегда выше испарителя. В разрабатываемой конструкции это требование удачно komponуется на опоре с учетом наклона оси светильника поперек дороги на угол 20°. Применение тепловой трубы для переноса тепла от светодиодного модуля к радиатору позволило получить показатель «соотношение вес к 1000 лм» равным 0,51, что значительно ниже, чем у светильников с пассивной системой теплоотвода.

Следующий этап проектирования мощного многомодульного светодиодного светильника будет направлен на дальнейшую оптимизацию условий, улучшающих сброс тепла радиатором в окружающую среду, для уменьшения его температуры до уровня +55...+60 °С. Это позволит при достигнутых тепловых сопротивлениях в системе «печатная плата–тепловая труба–радиатор», при условии эксплуатации светильника при температурах –40...+45 °С, обеспечить долговечность работы СИД на уровне более 50 000 ч.

Заключение

Проведенный расчет и макетирование светодиодного светильника на тепловой трубе показали, что создание мощного светодиодного светильника для освещения дороги категории А класса А1 возможно со световой отдачей на уровне не менее 80 лм/Вт с КПД не менее

80% и реальным сроком службы светодиодов более 50 000 ч.

Литература

1. www.zers-group.ru
2. www.atomsvet.ru
3. www.galad.ru
4. www.elgo_li.ru
5. B. J. HUANG, H. H. HUANG, C. W. CHEN, M. S. WU. Development of High-power LED Lighting Luminaires Using Loop Heat Pipe // Journal of Light & Visual Environment. 2008. № 2 (32).
6. www.icepipeled.com
7. www.vasled.com
8. Чи С. Тепловые трубы. Теория и практика. М.: «Машиностроение». 1981.
9. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СП 52.13330.2010 от 20.05.2011.
10. Куц О. К. Оптический расчет световых и облучательных приборов на ЭВМ. М.: Энергоатомиздат. 1991.
11. Справочная книга по светотехнике. Изд. 2. М.: Энергоатомиздат. 1995.
12. Пат. № 2422720 (РФ). Способ наружного освещения, устройство для осуществления способа и светодиодный модуль для этого устройства / А. В. Митрофанов, В. И. Холодилов, А. С. Шевченко // Приоритет от 16.04.2009.
13. Худоба С. С., Хухтикова В. А., Гвоздев С. М. Видимость как критерий оценки качества энергоэффективного освещения // Доклад на научно-технической конференции «Молодые светотехники России». INTERLIGHT MOSCOW. 2011.