

Современное состояние и перспективы развития головного освещения транспортных средств

Часть 1. Стандартизация и основные применяемые конструкции головного освещения

Канд. физ.-мат. наук, доц. С. П. Сернов¹⁾, канд. техн. наук Д. В. Балохонов¹⁾, Л. М. Коничева²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Открытое акционерное общество «Руденск», испытательная лаборатория (Руденск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2023
Belarusian National Technical University, 2023

Реферат. Основной задачей головного освещения (фар) транспортных средств является освещение дороги для обеспечения безопасности дорожного движения. Принципы конструирования фар транспортных средств остаются неизменными уже на протяжении 50–60 лет, однако сами современные транспортные средства значительно отличаются от своих аналогов полувекковой давности. Современные автомобили быстрее, имеют меньшие габаритную высоту и массу, что усложняет задачу по обеспечению безопасности дорожного движения в темное время суток: водителю нужно видеть дальше, чтобы вовремя отреагировать на изменение дорожной обстановки, что является косвенной причиной увеличения силы света фар. Из-за низкой посадки водители гораздо чаще бывают ослеплены фарами попутного и встречного транспорта, что приводит к дорожно-транспортным происшествиям. Распределение силы света фар транспортных средств (особенно фар ближнего света) имеет резкую светотеневую границу, однако из-за большой силы света фар и низкого их размещения даже рассеянный свет может вызвать ослепление. Поэтому требования к резкости светотеневой границы стандартного распределения силы света фар все время ужесточаются. Для удовлетворения этих требований современные производители фар применяют различные подходы (использование проекционных систем, матриц светодиодов и т. п.), но из-за отсутствия общепризнанных критериев эффективности и сильного различия дизайна транспортных средств конструкции получаются слишком тяжелыми, имеют малую надежность и ресурс и неэффективны в использовании энергии источника света. В данной статье приводится краткий обзор наиболее часто используемых конструкций головного освещения и способов формирования стандартного европейского континентального распределения силы света фар. На основе обзора выявляются основные проблемы широко используемых конструкций головного освещения и ставится задача по формулировке требований и рекомендаций по конструированию перспективных видов головного освещения транспортных средств.

Ключевые слова: головное освещение транспортного средства, распределение силы света, формирование распределения силы света, адаптивное автомобильное освещение

Для цитирования: Сернов, С. П. Современное состояние и перспективы развития головного освещения транспортных средств. Часть 1: Стандартизация и основные применяемые конструкции головного освещения / С. П. Сернов, Д. В. Балохонов, Л. М. Коничева // Наука и техника. 2023. Т. 22, № 1. С. 60–68. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-1-60-68>

Current State and Prospects for Development of Head Lighting for Vehicles

Part 1. Standardization and Generally Used Vehicle Headlamp Designs

S. P. Sernov, D. V. Balokhonov, L. M. Konicheva

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus),

²⁾Open Joint Stock Company “Rudensk”, Testing Laboratory (Rudensk, Republic of Belarus)

Abstract. The main task of head lighting (headlights) of vehicles is to illuminate the road in front of it to ensure road safety. The design principles of vehicle headlights have remained unchanged for 50–60 years, but modern vehicles themselves differ

Адрес для переписки

Балохонов Дмитрий Валентинович
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 65,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 29 155-12-24
balokhonov@bntu.by

Address for correspondence

Balokhonov Dmitry V.
Belarusian National Technical University
65, Nezavisimosty Ave.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 29 155-12-24
balokhonov@bntu.by

significantly from their counterparts half a century ago. Modern cars are faster, have lower overall height and weight, which makes it difficult for drivers to ensure road safety at night: the driver needs to see farther in order to respond in time to changing traffic conditions, which is an indirect reason for the increase in headlight intensity. Due to the low landing, drivers are much more likely to be blinded by the headlights of passing and oncoming vehicles, which leads to traffic accidents. The distribution of the luminous intensity of headlights of vehicles (especially dipped beam headlights) has a sharp cut-off line, however, due to the high luminous intensity of the headlights and their low placement, even diffused light can cause blinding. Therefore, the requirements for the sharpness of the cut-off line of the standard headlight distribution are becoming more stringent all the time. To meet these requirements, modern headlight manufacturers use different approaches (the use of projection systems, LED matrices, etc.), but due to the lack of generally accepted efficiency criteria and the strong differences in vehicle design, the structures turn out to be too heavy, have low reliability and service life, and inefficient in using the energy of light source. This paper provides a brief overview of the most frequently used headlight designs and how to generate a standard European continental headlight distribution. Based on the review, the main problems of widely used head lighting designs are identified and the task is set to formulate requirements and recommendations for the design of promising types of head lighting for vehicles.

Keywords: vehicle headlights, luminous intensity distribution, shaping the distribution of light intensity, adaptive automotive lighting

For citation: Sernov S. P., Balokhonov D. V., Konicheva L. M. (2023) Current State and Prospects for Development of Head Lighting for Vehicles. Part 1: Standardization and Generally Used Vehicle Headlamp Designs. *Science and Technique*. 22 (1), 60–68. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-1-60-68> (in Russian)

Введение

В настоящее время скорость транспортных средств постоянно увеличивается, что заставляет водителей быстрее принимать решение о торможении или повороте. Поэтому границы освещенной области впереди транспортного средства должны быть как можно шире, а освещенность – выше [1]. Это особенно важно для фар ближнего света, которые должны обеспечить освещение области, находящейся непосредственно перед автомобилем и справа от него (для безопасности поворота направо и освещения обочины). Однако при увеличении размеров освещенной области и силы света фар вероятность ослепления водителей встречных транспортных средств значительно возрастает, что повышает риск дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [2]. Поэтому в настоящее время для уменьшения вероятности ослепления водителей встречных транспортных средств фары (особенно ближнего света) имеют стандартное распределение силы света с резкой светотеневой границей и строгим допуском на «размытие» светотеневой границы за счет рассеивания света, а также у них могут иметься адаптивные свойства, которые позволяют изменять распределение силы света фары в зависимости от обстановки на дороге. Однако современные конструкции головного освещения транспортных средств имеют ряд проблем, поиску решений которых посвящена данная статья.

Требования к головному освещению транспортных средств

В настоящее время рабочей группой по освещению ЕС ООН WP 29 практически завершена многолетняя работа по разработке требований, которые призваны заменить все предшествующие с учетом появившихся новых подходов к конструированию систем головного освещения транспортных средств с современными источниками света. В частности, предусмотрена новая маркировка фар с указанием различных источников света (галогенные лампы, светодиоды и т. п.), включены фары с горизонтальным распределением светового потока, используемые в США, что отражено в Правилах ООН № 149 (которые действуют в том числе и на территории Республики Беларусь) [3]. Основные категории и символика обозначений фар по новой классификации приведены в табл. 1 [3].

В соответствии с Правилами ООН № 149 распределения силы света фар ближнего света имеют вид, показанный: на рис. 1а – неадаптивных категорий С, НС; на рис. 1б – адаптивной категории ХС.

Как видно из рис. 1, и у адаптивных, и у неадаптивных фар распределение силы света содержит ярко выраженную светотеневую границу (ломаная линия с началом в точке $-4L0H$, точкой перелома с координатами $0H0L$ и окончанием в точке $1,5R1,5H$). Именно она обеспечивает отсутствие ослепления у водителей встречных транспортных средств.

Основные категории фар
Main categories of headlights

	Огонь (функция) Lamp (function)	Символ (Symbol)
Driving beam headlamp of Class A	Фара дальнего света класса А	R
Passing beam headlamp of Class A (asymmetrical)	Фара ближнего света класса А (асимметричный луч)	C
Driving beam headlamp of Class B	Фара дальнего света класса В	HR
Passing beam headlamp of Class B (asymmetrical)	Фара ближнего света класса В (асимметричный луч)	HC
Driving beam headlamp of Class D (GDL)	Фара дальнего света класса D (ГРЛ)	DR
Passing beam headlamp of Class D (GDL asymmetrical)	Фара ближнего света класса D (ГРЛ, асимметричный луч)	DC
Adaptive Front lighting System (AFS): basic passing beam	Адаптивная система переднего освещения (АСПО): базовый луч ближнего света	XC
Adaptive Front lighting System (AFS): motorway passing beam	Адаптивная система переднего освещения (АСПО): луч ближнего света для движения по автомагистрали	XCE
Adaptive Front lighting System (AFS): town passing beam	Адаптивная система переднего освещения (АСПО): луч ближнего света для движения в черте города	XCV
Adaptive Front lighting System (AFS): adverse weather passing beam	Адаптивная система переднего освещения (АСПО): луч ближнего света при неблагоприятных погодных условиях	XCW
Adaptive Front lighting System (AFS): driving beam	Адаптивная система переднего освещения (АСПО): луч дальнего света	XR
Passing beam headlamp of Class AS (symmetrical)	Фара ближнего света класса AS (симметричный луч)	C-AS
Passing beam headlamp of Class BS (symmetrical)	Фара ближнего света класса BS (симметричный луч)	C-BS
Passing beam headlamp of Class CS (symmetrical)	Фара ближнего света класса CS (симметричный луч)	WC-CS
Passing beam headlamp of Class DS (symmetrical)	Фара ближнего света класса DS (симметричный луч)	WC-DS
Passing beam headlamp of Class ES (GDL symmetrical)	Фара ближнего света класса ES (ГРЛ, симметричный луч)	WC-ES
Driving beam headlamp of Class BS	Фара дальнего света класса BS	R-BS
Driving beam headlamp of Class CS	Фара дальнего света класса CS	WR-CS
Driving beam headlamp of Class DS	Фара дальнего света класса DS	WR-DS
Driving beam headlamp of Class ES (GDL)	Фара дальнего света класса ES (ГРЛ)	WR-ES
Front fog lamp Class F3	Передняя противотуманная фара класса F3	F3
Cornering lamp	Огонь подсветки поворота	K

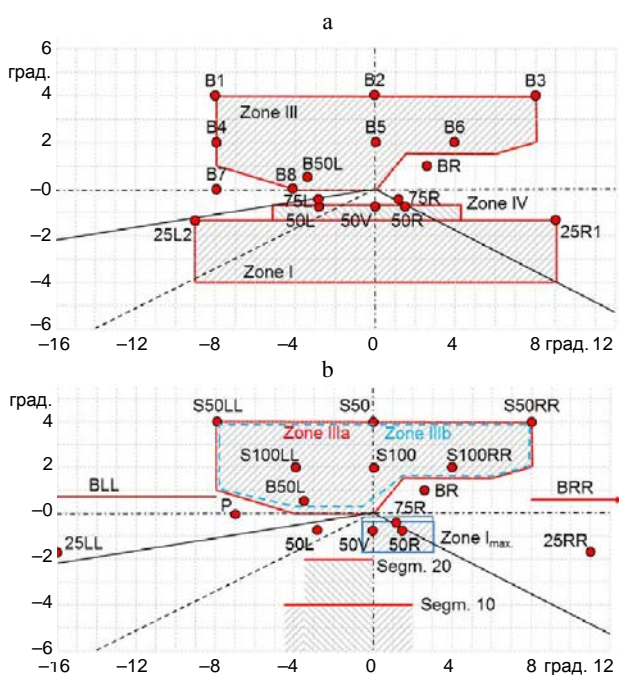


Рис. 1. Двумерное распределение силы света с контрольными точками для измерения распределения освещенности для фар ближнего света в соответствии с Правилами ООН № 149 (правостороннее движение): 1а – фары категории C, HC; 1б – адаптивное головное освещение категории XC

Fig. 1. Two-dimensional luminous intensity distribution with reference points for measuring the illumination distribution for dipped-beam headlights according to UN Regulations No 149 (right-hand traffic): 1a – headlights of C, HC category; 1b – adaptive head lighting of XC category

Вид данной границы в ночных условиях на дорожном полотне показан на рис. 2. Светотеневая граница показана линией белого цвета. Область, обозначенная «Дальний свет», является рабочей для фар дальнего света и приводится для сравнения.

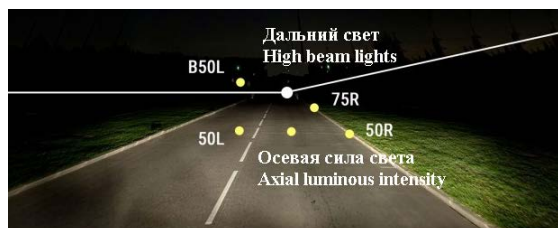


Рис. 2. Вид распределения освещенности на дороге из кабины водителя [4]

Fig. 2. Type of illumination distribution on the road from the driver's cab [4]

Из рис. 2 хорошо видно, что при резкой светотеневой границе ослепление встречных водителей маловероятно и возможно только при отражении от воды или льда на дорожном покрытии.

Проекция контрольных точек на дорожное покрытие приведена на рис. 3.

Из рис. 2 и 3 видно, что если граница света и тени сформирована не резко, часть света будет направлена выше горизонтали. Это является основной причиной ослепления водителей встречных транспортных средств, что обычно приводит к ДТП. Причиной нерезкой светотеневой границы является в основном дифракция, однако иногда светотеневая граница становится нечеткой из-за смещения источника света фары от проектного положения или неточности источника света (например, длинное тело накала лампы, линейка светодиодов с кристаллами сравнительно большого размера и/или несимметричной формы). Кроме того, целесообразным является дополнительное освещение обочины, в том числе при повороте транспортного средства, что нашло отражение в конструкции

адаптивных фар, поворачивающих свой луч вслед за поворотом руля транспортного средства.

Современные типовые конструкции головного освещения транспортных средств

Конструкции на основе ламп накаливания (ЛН) являются традиционными для транспортных средств [5]. В настоящее время ЛН наиболее распространены в качестве источника света для фар, особенно в бюджетном сегменте автомобилей и сельскохозяйственной техники, так как легко обеспечивают нужный световой поток и при этом сравнительно недорогие, несмотря на ресурс порядка 500 ч. Неточное тело накала делает невозможным формирование резкой светотеневой границы только за счет оптических деталей, поэтому применяют многонитевые ЛН, в которых предусмотрена шторка в верхней части лампы для затенения нижней части светового потока ЛН. За счет применения металлизированного или металлического рефлектора свет ЛН направляется на дорожное полотно (ниже горизонтали), что обеспечивает достаточно резкую светотеневую границу. Для дополнительной коррекции формы распределения силы света в данной конструкции может применяться внешний рассеиватель. Недостатком данного способа формирования распределения силы света являются потери светового потока от нити ближнего света, что при малом КПД ЛН приводит к низкой светоотдаче фары.

Время наработки до отказа ЛН также невелико (около 500 ч) и может уменьшаться от ударов, вибрационных воздействий и нестабильности напряжения в бортовой сети транспортного средства.

Галогенные ЛН используются в однопроводном варианте по принципу, показанному на рис. 4.

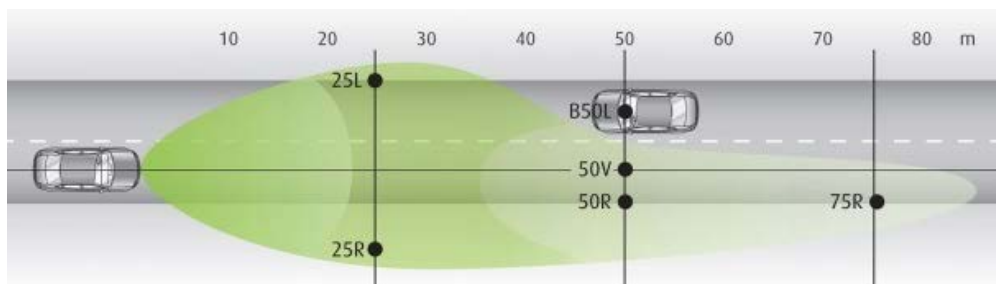


Рис. 3. Расположение точек измерения распределения освещенности на поверхности дороги [4]

Fig. 3. Location of measurement points for illumination distribution on the road surface [4]

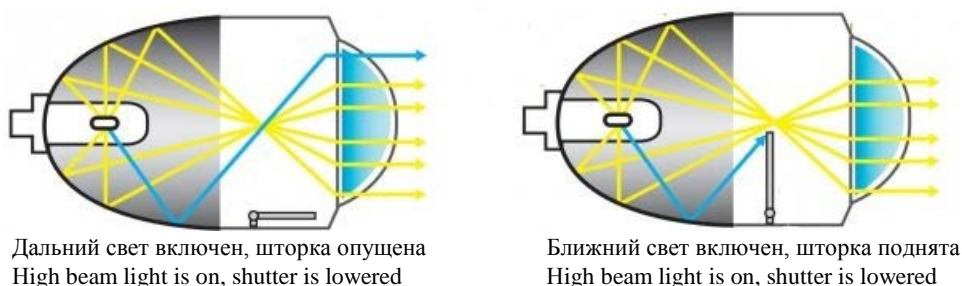


Рис. 4. Конструкция фары с галогенной однонитевой лампой накаливания [4]

Fig. 4. Headlight design with halogen single-filament incandescent lamp [4]

В фарах с галогенными ЛН светонепроницаемая шторка для формирования светотеневой границы имеется внутри самой фары и управляется механически. Если шторка находится в верхнем положении, то фара работает в режиме ближнего света, если шторка не поднята – дальнего. В качестве деталей вторичной оптики применяются рефлектор, собирающий свет в пучок, и массивная линза, которая позволяет спроецировать светотеневую границу на дорогу. Таким образом, фара данной конструкции представляет собой проекционную систему, создающую на дороге изображение края шторки, которое повторяет стандартную светотеневую границу.

Недостатками данной конструкции являются потери светового потока (шторка его задерживает или рассеивает) и наличие движущихся деталей внутри фары, что уменьшает надежность фары (фара отказывает, если выходит из строя лампа, шторка или механизм для поднятия/опускания шторки). Из-за большой температуры галогеновой ЛН линза должна быть изготовлена из стекла, что увеличивает стоимость и массу фары. Также наблюдается выгорание рефлектора, что уменьшает силу света фары.

Данная конструкция известна достаточно давно, запатентовано множество ее типов (например, патент US 8029176 [6], выданный в 2011 г., который отличается специальной формой шторки для компенсации дифракции и уменьшения рассеивания света), но постоянно появляются новые (например, заявка на патент US 2013/0258695 [7], отличающаяся электродвигателем, способным не только поднимать и опускать шторку, но и вращать ее).

Таким образом, конструкции на основе ЛН не являются эффективным решением, так как

у них малая световая эффективность (из-за малого КПД источника) и большие потери, связанные с наличием неэффективно использующей свет шторки либо в источнике света, либо в фаре.

Конструкции на основе светоизлучающих диодов (СИД) отличаются от конструкций на основе ЛН в основном направленностью распределения силы света. Кроме того, светодиоды имеют лучшее люмен-ваттное соотношение, меньший размер и лучшую надежность по сравнению с ЛН. Прогнозируется, что мировой рынок светодиодных фар транспортных средств к 2024 г. увеличится на 2,34 млрд дол. США по сравнению с 2020 г. [8]

Для использования СИД в качестве источника света в фарах были созданы «эрзац-лампы накаливания», схема одной из которых приводится на рис. 5.

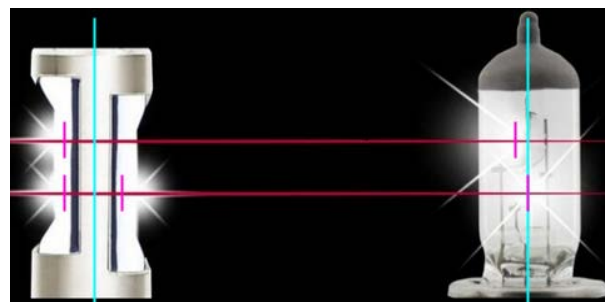


Рис. 5. Двухнитевая лампа накаливания (справа) и ее светодиодный аналог (слева). Положение источников света идентично у обеих конструкций

Fig. 5. Double-filament incandescent lamp (right) and its LED counterpart (left). The position of the light sources is identical for both designs

Такой подход позволяет заменять двухнитевые ЛН на СИД без изменения конструкции фар (англ. retrofit), так что основными деталями вторичной оптики в фаре остаются параболиче-

ский рефлектор, рассеиватель (линза) и экран для формирования светотеневой границы (он может быть установлен прямо на светодиод в «эрзац-лампе»). Серийные изделия такого типа в настоящее время выпускаются множеством фирм.

Недостатки такой конструкции являются суммой недостатков конструкций на основе ЛН и СИД: потери светового потока из-за наличия экрана, нерезкость границы свет – тень, чувствительность к перегреву (световой поток теряется на экране, поэтому ток инжекции СИД увеличивают и происходит перегрев), неточечность светящейся области. Кроме того, в спектре белого светодиода велика доля синего излучения от кристалла, и поэтому при проецировании в результате дисперсии край границы свет – тень будет синего цвета, что противоречит стандарту и приводит к более медленному восстановлению зрения у ослепленных встречных водителей.

Следует отметить, что водители склонны самостоятельно заменять галогеновые многонитевые ЛН на ксеноновые лампы или на отдельные СИД (кустарные СИД-модули) в фарах принадлежащих им транспортных средств, чтобы снизить потребление энергии и улучшить эффективность фар. Замена, как правило, производится кустарным способом, и поэтому источники света (СИД или ксеноновые лампы) не располагаются в идентичных нитях накала ЛН местах. Из-за этого переоборудованное таким образом головное освещение не только не соответствует требованиям, предъявляемым к распределению силы света, но и является источником опасности на дороге: его нерезкая светотеневая граница приводит к ослеплению водителей встречного и попутного транспорта. Дисперсия в таких самодельных конструкциях также значительно превышает стандартное значение, из-за чего при включенном дальнем свете цвет фары на расстоянии, превышающем 50 м, становится почти что синим, что приводит к более медленному восстановлению зрения у ослепленных водителей. Надежность «модифицированной» фары также понижается за счет некачественной кустарной герметизации корпуса фары после установки СИД или ксеноновых ламп. В настоящее время такая «модификация» головного освещения приобре-

ла характер эпидемии в Российской Федерации (несмотря на законодательный запрет и штрафы), а отдельные случаи отмечаются почти во всех странах с достаточно большой протяженностью магистральных дорог и наличием территорий, где контроль светотехнического оборудования транспортных средств не производится или производится нерегулярно (Китай, США, страны Южной Америки и др.). Кроме этого, сообщается о некачественно выполненной проводке таких фар, что неизбежно ведет за собой понижение надежности [9].

Для ликвидации присущих ЛН недостатков создана фара модульной конструкции, в каждом модуле которой имеется отдельный СИД в качестве источника света и шторка, которая практически повторяет конструкцию с галогеновой ЛН (рис. 6).

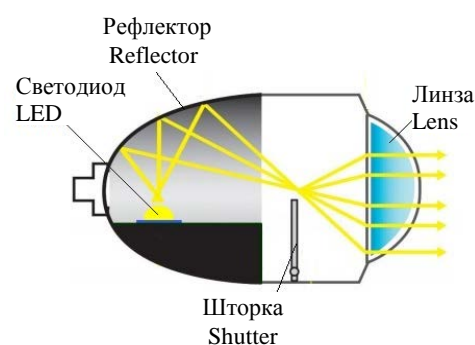


Рис. 6. Конструкция светодиодной фары со шторкой [4]

Fig. 6. LED headlight with shutter [4]

Данная конструкция также представляет собой проекционную систему, создающую на проезжей части дороги изображение края шторки, которое и является светотеневой границей. Так как требования по силе света фар достаточно высоки, светодиод работает при большом токе инжекции, что приводит к его нагреву, последующей деградации его светового потока и уменьшению времени наработки до отказа. Чтобы избежать излишнего нагрева, СИД охлаждают активно (с помощью вентилятора, элементов Пельтье и др.), что приводит к уменьшению надежности фары в целом: при отказе системы охлаждения (время наработки до отказа около 5000 ч) светодиод быстро перегревается и выходит из строя. Образцы серийно выпускаемых светодиодных модулей такой конструкции показаны на рис. 7.



Рис. 7. Серийные модули фар ближнего света на основе светодиодов с принудительным охлаждением (слева направо): Lumisfera – Wide, i-Lens, Lumisfera – Far [4]

Fig. 7. Standard low-beam headlight modules based on forced-cooled LEDs (from left to right): Lumisfera – Wide, i-Lens, Lumisfera – Far [4]

Кроме того, при высокой рабочей температуре рефлекторы из металлизированного пластика (или алюминия) быстро окисляются, снижается их коэффициент отражения, что приводит к уменьшению силы света фары. Линзы светодиодных фар описываемой конструкции изготавливают методом литья из массива стекла (что делает линзу дорогой и тяжелой) либо из массива полимера, что является приемлемым по массе и цене, но не позволяет точно соблюсти форму линзы из-за усадки при литье.

Из-за наличия в излучении светодиода ультрафиолетовой составляющей и повышенной температуры фары полимер линзы деградирует, линза постепенно желтеет и может разрушиться. Наличие в белом свете светодиода большой доли синего излучения приводит к «посинению» светотеневой границы, из-за чего при ослеплении у водителей встречного транспорта медленнее восстанавливается зрение. Следует отметить, что дисперсия (зависимость координат цветности от направления наблюдения, цветовой растр) обусловлена в основном наличием монолитной линзы, показатель преломления материала которой зависит от длины волны излучения. Если отойти от конструкции на базе проекционной оптики, т. е. применить не изображающую деталь вторичной оптики, то можно существенно уменьшить дисперсию за счет использования светового потока из нескольких областей распределения силы света светодиода для формирования центральной области распределения силы света модуля.

Достоинства светодиодных модулей следующие:

- можно встраивать в конструкцию новых фар или заменять ими штатные источники света в существующих фарах, если размер фары это позволяет;
- имеют лучший КПД, чем ЛН, что позволяет экономить энергию, особенно при стоянке транспортного средства с заглушенным двигателем, кроме того, улучшается баланс в бортовой сети транспортного средства;
- светодиоды способны прослужить около 10000 ч даже при больших токах инжекции и высоких температурах (если система активного охлаждения работает штатно).

Прогресс в области разработки светодиодных модулей не останавливается, регулярно патентуются новые конструкции, например патент US 9482404 [10], в котором представлена конструкция с разделенными источниками света, причем эти источники развернуты друг относительно друга на 180°, что позволяет использовать один источник для реализации функции дальнего света, а другой – ближнего, так что лучи этих источников даже не пересекаются. Конструкция предусматривает возможность совместного использования источников света разного типа (рис. 8).

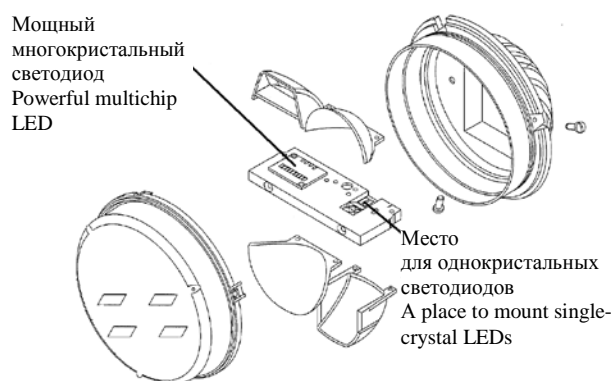


Рис. 8. Конструкция модуля фары в соответствии с патентом US 9482404. Предусмотрено использование разнотипных источников света

Fig. 8. Headlight module design in accordance with US 9482404 patent. Light sources of different types can be used

На рис. 8 изображен модуль фары, в котором на общем основании в одном корпусе расположен мощный многокристалльный светодиод

для обеспечения дальнего света и предусмотрено место для установки одного или нескольких однокристалльных светодиодов для обеспечения ближнего света. Это может обеспечить более экономное потребление энергии при передвижении по ровным участкам дороги за счет использования светодиодного дальнего света, а при необходимости включения ближнего света позволяет воспользоваться однокристалльными светодиодами, которые не так сильно нагреваются при работе и поэтому могут дать лучший световой поток на единицу потребленной мощности.

ВЫВОДЫ

1. Основной целью всех широко применяемых подходов к конструированию фар транспортных средств является формирование резкой светотеневой границы с малым размытием для обеспечения безопасности дорожного движения путем предотвращения ослепления его участников при сохранении достаточной освещенности проезжей части на заданной дистанции перед транспортным средством.

2. Распространенные конструкции головного освещения не всегда способны сформировать резкую светотеневую границу, соответствующую требованиям современных международных стандартов. Это означает, что при наличии прогресса в области автомобилестроения и последующем увеличении средней скорости транспортных средств фары текущей конструкции не смогут удовлетворять требованиям следующих версий международных стандартов. Это будет происходить не столько из-за применения неподходящего и неэффективного с точки зрения преобразования энергии источника света, сколько из-за конструкции головного освещения, текущие варианты которой не учитывают особенности современных и перспективных источников света.

3. Таким образом, актуальной является задача по дальнейшему анализу перспективных конструкций головного освещения транспортных средств для выработки требований к ним, а также рекомендаций по их конструированию

и применению не только в условиях современных стандартов, но и с учетом прогресса в области автомобиле-, приборостроения и светотехники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Daytime Running Lights for Motorcycles [Electronic Resource] / M. Paine [et al.] // Optusnet. 2010. Mode of access: http://members.optusnet.com.au/carsafety/esv19_paine_mc_drl.pdf. Date of access: 10.05.2022.
2. Larson, M. V. The Dangers of Overly Bright Headlights at Night [Electronic Resource] / M. V. Larson // Larson Law Firm P.C. 2021. Mode of access: <https://ndakotalaw.com/the-dangers-of-overly-bright-headlights-at-night>. Date of access: 01.09.2022.
3. Concerning the Adoption of Harmonized Technical United Nations Regulations for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which Can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these United Nations Regulations. Addendum 148 – UN Regulation No 149. Uniform Provisions Concerning the Approval of Road Illumination Devices (Lamps) and Systems for Power-Driven Vehicles [Electronic Resource] // UNECE. 2019. Mode of access: <https://unece.org/sites/default/files/2021-05/R149e.pdf>. Date of access: 10.05.2022.
4. Казанцев, С. Тест 8 светодиодных линз, часть № 2 [Электронный ресурс] / С. Казанцев // Светодиодные лампы для авто. Тесты, обзоры, отзывы, сравнения. 2017. Режим доступа: <http://led-obzor.ru/test-8-svetodiodyih-linz-chast-2>. Дата доступа: 10.05.2022.
5. Sabhadiya, J. 7 Types Of Headlights With Their Pros and Cons [Electronic Resource] / J. Sabhadiya // Engineering Choice. 2021. Mode of access: <https://www.engineeringchoice.com/author/jigneshsabhadiya/>. Date of access: 02.09.2022.
6. Vehicle Headlight Capable of Compensating for Light Intensity of Dark Region [Electronic Resource]: Pat. US 8029176 B2 / Ming-Jhih Shih. Publ. Date 4.10.2011. Mode of access: <https://patentimages.storage.googleapis.com/3e/a1/87/b3eaf1b113cdba/US8029176.pdf>. Date of access: 10.05.2022.
7. Automotive Headlamp [Electronic Resource]: pat. US 2013/0258695 / H. Yamazaki, N. Minakawa, S. Yokoi. Publ. Date 03.10.2013. Mode of access: <https://patentimages.storage.googleapis.com/87/21/7f/4f80334391ad5b/US20130258695A1.pdf>. Date of access: 10.05.2022.
8. Maida, J. Automotive LED Headlamps Market by Application (Passenger Cars, Commercial Vehicles, and Others) and Geography (APAC, North America, Europe, South America, and MEA) – Forecast and Analysis 2020–2024 [Electronic Resource] / J. Maida // Technavio. 2022. Mode of access: [https://www.technavio.com/report/automotive-led-headlamps-market-industry-analysis?utm_source=prnewswire&utm_medium=pressrelease&utm_campaign=T50\(DCVO\)_report_wk29_2022_006&utm_content=IRTNTR40893](https://www.technavio.com/report/automotive-led-headlamps-market-industry-analysis?utm_source=prnewswire&utm_medium=pressrelease&utm_campaign=T50(DCVO)_report_wk29_2022_006&utm_content=IRTNTR40893). Date of access: 01.09.2022.

9. Hitch, J. Giving LEDs some TLC: Inspection and Diagnostic Best Practices [Electronic Resource] / J. Hitch // Fleet Maintenance. 2022. Mode of access: <https://www.fleetmaintenance.com/equipment/battery-and-electrical>. Date of access: 01.09.2022.
10. LED Reflector Optic for an Automotive Headlight [Electronic Resource]: Pat. US 9482404 / J. P. Peck, C. D. Thomas, F. J. Natividad. Publ. Date 01.11.2016. Mode of access: <https://patentimages.storage.googleapis.com/6b/4d/b6/b040df43f91ec3/US9482404.pdf>. Date of access: 10.05.2022.

Поступила 31.08.2022

Подписана в печать 08.11.2022

Опубликована онлайн 31.01.2023

REFERENCES

1. Paine M., Paine D., Haley J., Cockfield S. (2010) Day-time Running Lights for Motorcycles. *Optusnet*. Available at: http://members.optusnet.com.au/carsafety/esv_19_paine_mc_drl.pdf (accessed 10 May 2022).
2. Larson M. V. (2021) The Dangers of Overly Bright Headlights at Night. *Larson Law Firm P.C.* Available at: <https://ndakotalaw.com/the-dangers-of-overly-bright-headlights-at-night> (accessed 1 September 2022).
3. Concerning the Adoption of Harmonized Technical United Nations Regulations for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts which can be Fitted and/or be Used on Wheeled Vehicles and the Conditions for Reciprocal Recognition of Approvals Granted on the Basis of these United Nations Regulations. Addendum 148 – UN Regulation No 149. Uniform Provisions Concerning the Approval of Road Illumination Devices (Lamps) and Systems for Power-Driven Vehicles. *UNECE* (2019). Available at: <https://unece.org/sites/default/files/2021-05/R149e.pdf> (accessed 10 May 2022).
4. Kazantsev S. (1017) Test 8 LED Lenses, Part 2. *LED Lamps for Cars. Test, Reviews, Feedback, Comparisons.*

Available at: <http://led-obzor.ru/test-8-svetodiodnyih-linz-chast-2> (accessed 10 May 2022) (in Russian).

5. Sabhadiya J. (2021) 7 Types of Headlights with Their Pros and Cons. *Engineering Choice*. Available at: <https://www.engineeringchoice.com/author/jigneshsabhadiya/> (accessed 2 September 2022).
6. Ming-Jhih Shih (2011) *Vehicle Headlight Capable of Compensating for Light Intensity of Dark Region*. Patent US 8029176 B2. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/3e/a1/87/b3eaf1b113cdba/US8029176.pdf> (accessed 10 May 2022).
7. Yamazaki H., Minakawa N., Yokoi S. (2013) *Automotive Headlamp*. Patent US 2013/0258695. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/87/21/7f/4f80334391ad5b/US20130258695A1.pdf> (accessed 10 May 2022).
8. Maida J. (2022) Automotive LED Headlamps Market by Application (Passenger Cars, Commercial Vehicles, and Others) and Geography (APAC, North America, Europe, South America, and MEA) – Forecast and Analysis 2020–2024. *Technavio*. Available at: [https://www.technavio.com/report/automotive-led-headlamps-market-industry-analysis?utm_source=prnewswire&utm_medium=pressrelease&utm_campaign=T50\(DCVO\)_report_wk29_2022_006&utm_content=IRTNTR40893](https://www.technavio.com/report/automotive-led-headlamps-market-industry-analysis?utm_source=prnewswire&utm_medium=pressrelease&utm_campaign=T50(DCVO)_report_wk29_2022_006&utm_content=IRTNTR40893) (accessed 1 September 2022).
9. Hitch J. (2022) Giving LEDs some TLC: Inspection and Diagnostic Best Practices. *Fleet Maintenance*. Available at: <https://www.fleetmaintenance.com/equipment/battery-and-electrical> (accessed 1 September 2022).
10. Peck J. P., Thomas C. D., Natividad F. J. (2016) *LED Reflector Optic for an Automotive Headlight*. Patent US 9482404 Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/6b/4d/b6/b040df43f91ec3/US9482404.pdf> (accessed 10 May 2022).

Received: 31.08.2022

Accepted: 08.11.2022

Published online: 31.01.2023