

УДК 621.326

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ СВЕТОТЕХНИКИ С НЕСМЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СВЕТА НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Канд. физ.-мат. наук, доц. СЕРНОВ С. П., асп. БАЛОХОНОВ Д. В.,  
канд. техн. наук, доц. КОЛОНТАЕВА Т. В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в автомобильной светотехнике в качестве альтернативных источников света широко применяются светодиоды, обладающие высокими надежностными характеристиками и малым энергопотреблением. Развитие светодиодных технологий позволило многократно увеличить эффективность светодиодов, обеспечив их применение не только в сигнальных фонарях, но и в передней головной оптике. В настоящее время существует множество подходов к конструированию светодиодных фонарей. Данная статья касается исследования в области разработки конструкций фонарей с использованием различных источников света, эволюции развития светодиодных технологий.

Исторически первой удачной попыткой применения светодиодов следует считать их использование в задних и боковых габаритных огнях как независимых, так и совмещенных с ламповыми огнями других категорий. Следует отметить, что традиционно требования безопасности транспортного средства применительно к надежности габаритных огней обеспечивались использованием двух источников света в режиме постоянного резервирования двух ламп. Поэтому стремление обеспечить максимальный ресурс для огней этих категорий, обладающих к тому же максимальными значениями коэффициента дневного использования (day duty factor), и сравнительно малые требования по интегральному световому потоку позволили ограничиться матрицей из 3–5 маломощных «узкоугольных» светодиодов с малыми значениями половинных углов  $\Theta_{1/2}$ .

Гибридные конструкции фонарей в виде комбинации массива светодиодов и лампы накаливания в одном корпусе сохраняли все присущие ламповым изделиям недостатки, обуслов-

ленные низкой вибро- и удароустойчивостью, большими габаритами, малой степенью защиты от внешних воздействий и надежностью. Пример такого фонаря приведен в патенте [1], а его устройство представлено на рис. 1. При этом лампа накаливания 10 выполняет функцию источника света для ярких, но включаемых на небольшой срок секций фонаря (стоп-сигнал, указатель поворота), а светодиоды 12 работают в качестве источника света малой мощности, но долгого использования (например, для габаритных огней). Достоинством такой схемы является пониженное потребление энергии, особенно в ночное время. Однако недостатки, присущие ламповым фонарям, сохраняются.

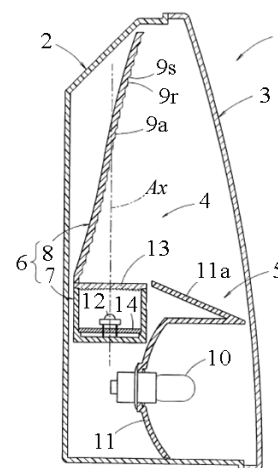


Рис. 1. Конструкция фонаря в соответствии с патентом US 6637923 B2:

- 1 – внешнее пространство; 2 – корпус фонаря;
- 3 – рассеиватель; 4 – светодиодный отсек фонаря;
- 5 – пространство дополнительного рефлектора; 6 – группа рефлекторов светодиода; 7, 8 – рефлекторы; 9а, г, s – отражающие бороздки на рефлекторе; 10 – лампа накаливания; 11 – рефлектор лампы накаливания; 11а – дополнительный рефлектор; 12 – светодиод; 13 – коллиматор; 14 – печатная плата светодиода; Ax – оптическая ось светодиода

Развитие технологии красных и желтых сверхъярких светодиодов позволило исключить лампы накаливания и обеспечить основные сигнальные огни фонарей источниками на основе кластеров маломощных светодиодов. Принцип действия фонаря приведен в патенте [2], а конструкция фонаря представлена на рис. 2.

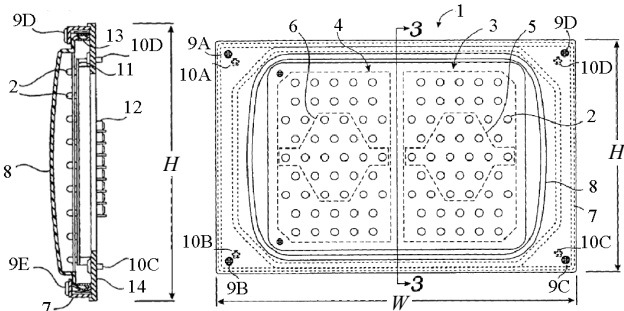


Рис. 2. Конструкция секции фонаря в соответствии с патентом US 6897771 B1:

1 – внешнее пространство; 2 – светодиоды; 3, 4 – элемент крепления светодиодов; 5, 6 – разделительные поверхности элементов крепления светодиодов; 7 – корпус фонаря; 8 – рассеиватель; 9А, В, С, D, E – крепления рассеивателя к корпусу; 10А, В, С, D – крепления печатной платы со светодиодами к корпусу фонаря; 11 – печатная плата со светодиодами; 12 – выводы питания светодиодов; 13, 14 – уплотнители;  $W, H$  – ширина и высота секции

Фонари этого типа устойчивы к вибрациям, ударам, перепадам температуры, а светоизлучающий модуль может иметь любую форму за счет перегруппировки светодиодов. Требуемая сила света и растр создаются путем добавления узкоугольных светодиодов 2, излучающих свет в требуемом направлении, которое оценивается по методу зонной интеграции, и известным значениям минимальных световых потоков для каждой секции (огня) фонаря. Несколько десятков светодиодов обеспечивают большую площадь светоиспускающей поверхности 8, что дает хороший визуальный эффект. Последовательно-параллельное соединение цепочек светодиодов многократно увеличивает надежность несменных источников света по сравнению с ламповыми аналогами, однако ее значение остается меньше надежности единичного светодиода. Однако, несмотря на относительно высокую стоимость таких изделий, их малое энергопотребление позволило нормализовать постоянно растущий отрицательный баланс в бортовой сети автомобилей, и появились работы, в которых приведены восторженные оценки эксплуатации светодиодных фонарей.

Для наиболее эффективного использования светового потока несменных источников света при формировании пространственного распределения света в конструкции фонарей широко применяются дополнительные оптические элементы в виде секционных рефлекторов и/или системы призм. Пример конструкции такого фонаря представлен в заявке на патент [3], иллюстрация из которого приведена на рис. 3.

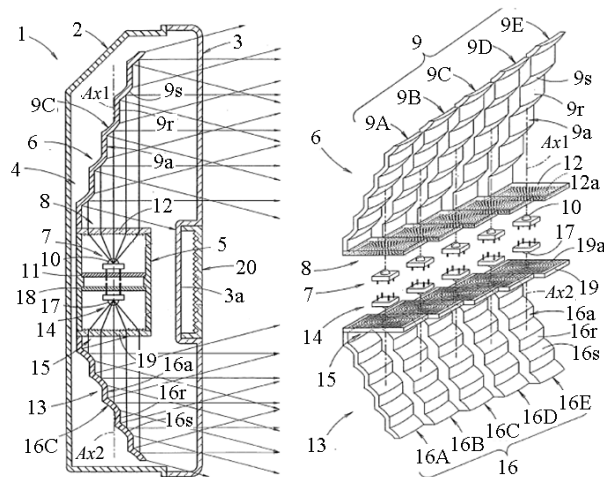


Рис. 3. Конструкция секции фонаря в соответствии с заявкой на патент US 20030053318A1:

1 – внешнее пространство; 2 – корпус фонаря; 3 – рассеиватель фонаря; 3а – выемка для световозвращателя; 4 – пространство между корпусом и рефлектором; 5 – кожух светодиодов; 6 – верхний секционный рефлектор; 7 – верхнее отделение светодиода; 8 – свет верхнего светодиода; 9 – верхняя часть секционного рефлектора (буквы – сегменты рефлектора); 10 – светодиод; 11 – печатная плата; 12 – верхнее выпускное окно; 13 – нижний секционный рефлектор; 14 – нижнее отделение светодиода; 15 – свет нижних светодиодов; 16 – нижняя часть секционного рефлектора (буквы – сегменты рефлектора); 17 – нижний светодиод; 18 – нижняя печатная плата; 19 – выпускное окно нижнего светодиода; 20 – световозвращатель;  $Ax1, Ax2$  – оптические оси верхнего и нижнего светодиода

В качестве источников света в этих изделиях применяются более мощные светодиоды 10 типа «Пирания» или «Барракуда», обладающие улучшенным теплоотводом и излучающие больше света, чем стандартный пятимиллиметровый светодиод. Уменьшение числа светодиодов обеспечивает увеличение надежности несменного источника света, однако необходимость точного позиционирования оптических деталей в фонаре и их высокая стоимость предопределяют значительное увеличение цены изделия в целом.

Параллельно со светодиодными и гибридными конструкциями разрабатываются фонари на основе световодов. Пример конструкции такого фонаря представлен в патенте [4], а его устройство показано на рис. 4. Гибкий световод 12 используется для подвода света источника к внешнему рассеивателю 5, при этом природа источника света (светодиод, лампа или нечто иное) значения не имеет. Разрабатываются проекты по централизации всего освещения в автомобиле, т. е. использование одного мощного источника света и множества световодов для каждого огня фонаря, однако данные разработки пока не вышли за пределы концептуальных прототипов. Достоинствами такого подхода являются отсутствие источника света в самом фонаре, высокая надежность (за счет одного центрального источника света) и малая потребность в обслуживании. Однако при отказе центрального источника света весь фонарь целиком выходит из строя и для управления светом требуются механические или иные приспособления.

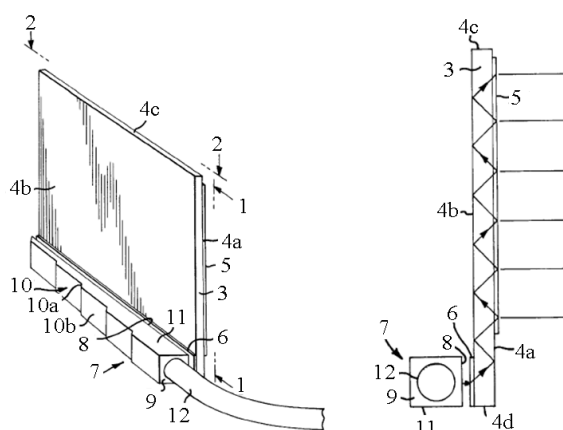


Рис. 4. Конструкция секции фонаря в соответствии с патентом US 5839813: 1 – вертикальная плоскость фонаря; 2 – горизонтальная плоскость фонаря; 3 – пластинчатый световод; 4а, б, с, d – рабочие поверхности пластинчатого световода; 5 – накладка с рисунком (необязательна); 6 – промежуточный светофильтр; 7 – светораспределительная насадка; 8 – передняя рабочая грань насадки; 9 – входная грань насадки; 10 – рабочие грани насадки (буквы – порядок граней); 11 – нижняя грань насадки; 12 – световод

После появления мощных светодиодов типа «Барракуда», Luxeon I и Luxeon K2 фирмы Philips стало возможно реализовать конструкции фонарей с несменными источниками света на основе единичных светодиодов. Согласно

оценкам, стоимость одного люмена света в долларовом эквиваленте значительно уменьшается с увеличением эффективности и светового потока светодиодов, что и предопределяет преимущества использования одного мощного светодиода в несменном источнике света. Для сравнения, стоимость 1 люмена света при использовании стандартных светодиодов диаметром 5 мм составляет 2–3 дол. США, а светодиода типа Luxeon K2 – 0,1 дол. США, при этом стоимость 50 штук стандартных светодиодов сопоставима со стоимостью одного мощного светодиода при меньшей структурной надежности источника света.

Пример конструкции фонаря на одном мощном светодиоде представлен в патенте [5], а внешний вид показан на рис. 5. Эта конструкция сочетает в себе достоинства любого светодиодного фонаря с большой надежностью за счет применения малого числа светодиодов. Несменный источник света, выполненный на основе мощного светодиода 4, закреплен на радиаторе 5, установленном на печатной плате 10 с управляющим драйвером 6, которая размещена в герметичном корпусе фонаря 1. Соосно оптической оси светодиода 4 расположена линза Френеля, выполненная в центральной части прозрачного рассеивателя 2, удаленного от светодиода на определенном расстоянии. Основной проблемой в такой конструкции является обеспечение теплоотвода светодиода 4 и эффективности используемой вторичной оптики, поскольку излучение в пределах малых углов  $\Theta_{1/2}$  (0–30°) практически не используется.

Как правило, мощные светодиоды имеют широкоугольное распределение света со значениями угла излучения на половине интенсивности  $\Theta_{1/2}$ , равными 60°–70°. Поэтому возникает задача эффективного использования светового потока в пределах больших углов распределения при формировании пространственного распределения света в соответствии с фотометрическими спецификациями ТНПА, обеспечения безопасного уровня яркости излучения и эстетического зрительного восприятия.

Для минимизации оптических потерь и повышения эффективности таких устройств необходима эффективная вторичная оптика, в качестве которой используются либо металлизированные полимерные рефлекторы, либо

коллимирующие насадки, с помощью которых свет, испускаемый в пределах малых углов светового распределения в результате полного внутреннего отражения, направляется параллельно оптической оси устройства. Однако применение металлизированных рефлекторов экономически нецелесообразно, а сложная геометрия коллимирующих линз не обеспечивает необходимую эффективность в силу многократного отражения от фронтальной и задней поверхностей.

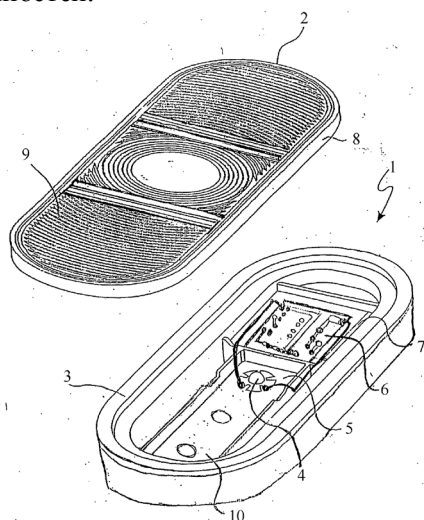


Рис. 5. Конструкция фонаря в соответствии с патентом 03/074931A1: 1 – корпусный узел фонаря; 2 – рассеиватель; 3 – корпус; 4 – мощный светодиод; 5 – радиатор светодиода; 6 – схема питания светодиода; 7 – отсек схемы питания; 8 – участок рассеивателя для ультразвуковой сварки; 9 – периферическая оптика фонаря; 10 – место для дополнительных светодиодов

Известны конструкции, в которых мощные светодиоды располагаются под углом к оптической оси фонаря, а световое распределение формируется с помощью рефлекторов или призм. Пример конструкции такого фонаря приведен в патенте [6], а его строение представлено на рис. 6. Оптическая система, состоящая из источника 7, линзы 9 и рефлектора 5, обеспечивает равномерное распределение яркости испускаемого света рассеивателем 4 и комфортное зрительное восприятие. Недостатком таких конструкций являются их высокая стоимость и меньшая световая эффективность, а также необходимость точного пространственного позиционирования оптических элементов.

Дальнейшим развитием идеи светодиодных фонарей являются фонари с монолитными из-

лучающими элементами. Источником света в таких фонарях служит полупроводник, закрепленный между прозрачной и непрозрачной токопроводящими обкладками, разделенный на зоны в соответствии с предполагаемыми функциями. Полупроводник можно заменить органическими материалами (технология OLED – органический светодиод). Ток подается на две параллельные обкладки, причем нижняя обкладка отражает свет, а верхняя является прозрачной.

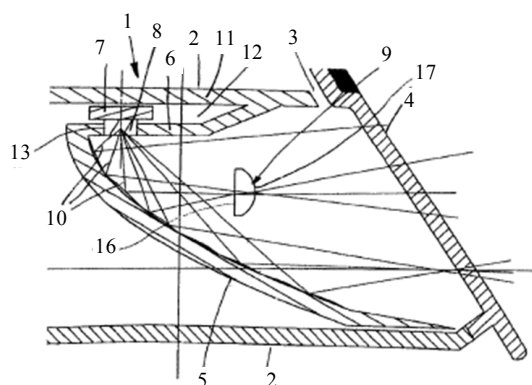


Рис. 6. Конструкция фонаря в соответствии с патентом US 6851843 BS2: 1, 2 – верхний и нижний корпуса фонаря; 3 – отверстие для теплоотвода; 4 – рассеиватель; 5, 6 – нижний и верхний рефлекторы; 7 – плата источника света; 8 – источник света; 9 – линза; 10 – лучи света с измененным направлением; 11 – тело корпуса; 12 – пространство между корпусом и рефлектором; 13 – отверстие для источника света; 16, 17 – задняя и передняя поверхности линзы

Эти фонари обладают хорошими визуальными характеристиками за счет большой площади светящейся поверхности и имеют малую толщину, что позволяет включать их в любую конструкцию транспортного средства. Конструкция, изготовленная по технологии органических светодиодов, допускает возможность изгиба практически под углом 90°, что существенно упрощает монтаж и улучшает дизайн фонарей на автомобиле. При всех своих достоинствах эти фонари еще долго не смогут широко использоваться из-за несовершенства технологии и, как следствие, высокой стоимости. Кроме того, фонари этого типа не приспособлены для формирования узконаправленного излучения, как, например, в случае противотуманных фонарей.

В некоторых научных статьях [7] описываются автомобильные фонари и другие свето-

технические изделия, в которых световое распределение источника преобразуется в требуемое пространственное распределение с помощью дифракционных оптических элементов (ДОЭ) на основе фотополимеров. Экспериментально доказано, что применение ДОЭ обеспечивает требуемое световое распределение фонаря, а большая светящаяся поверхность фонаря – привлекательный внешний вид изделия.

Очевидными недостатками фонарей с ДОЭ являются сложность изготовления микрорельефа, а также необходимость применения большого числа светодиодов, расположенных напротив ДОЭ, что уменьшает структурную надежность изделия.

Классификация рассмотренных конструкций фонарей иллюстрируется рис. 7.

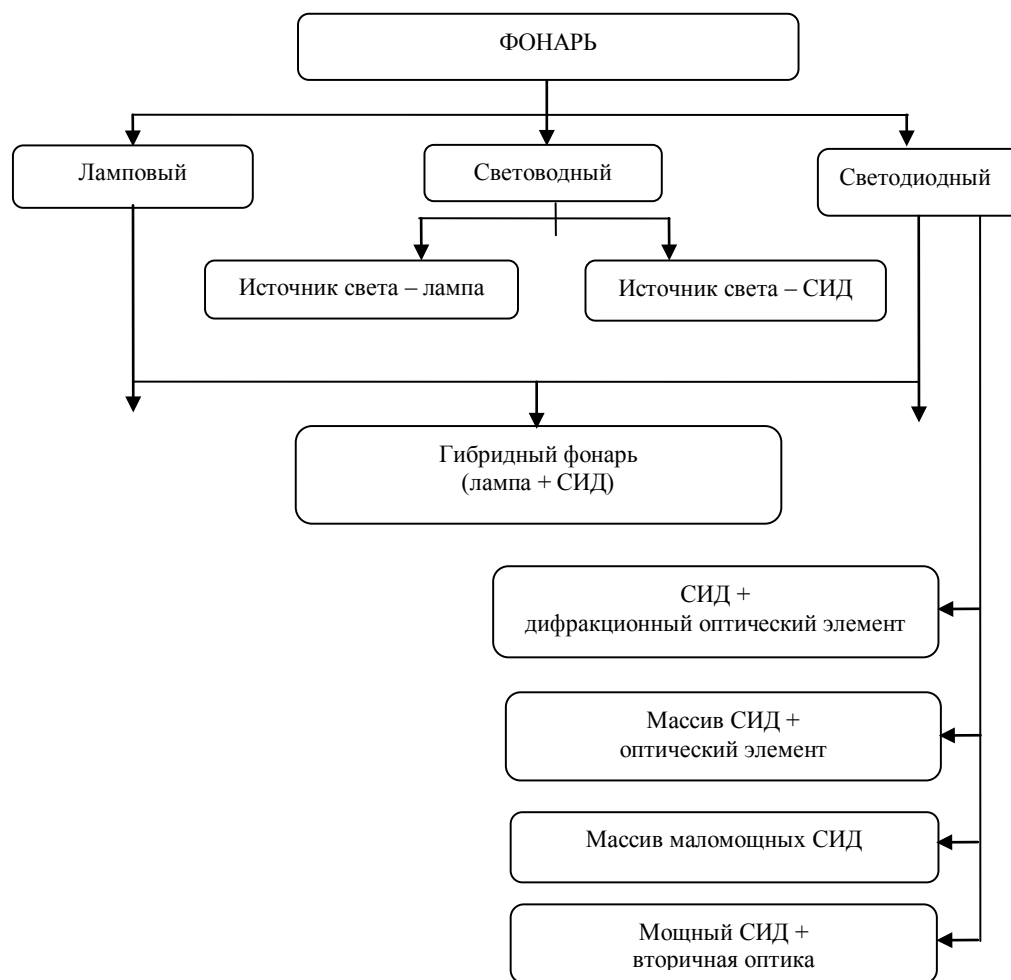


Рис. 7. Классификация конструкций фонарей: СИД – светоизлучающий диод

## ВЫВОДЫ

Рассмотрены основные современные конструкции автомобильных сигнальных фонарей. В результате проведенного анализа достоинств и недостатков установлено, что наилучшими показателями долговечности, надежности и энергопотребления обладают фонари с несменными источниками света на основе мощных светодиодов.

Наиболее перспективной и экономически целесообразной представляется модульная конструкция фонаря с несменными источниками света на основе мощных светодиодов с неизображающей вторичной оптикой большого диаметра, обеспечивающей требуемое пространственное световое распределение и комфортное зрительное восприятие, максимальную надежность и высокую степень защиты от внешних воздействий.

Предлагаемая конструкция наиболее эффективна при производстве многосекционных (сгруппированных) фонарей различного функционального назначения, поскольку позволяет не только упростить электрическую схему, но и в силу тождественности пространственного светового распределения огней различных категорий унифицировать элементы вторичной оптики светодиодов в модулях несменных источников света, существенно сократить финансовые расходы при их производстве. Кроме того, такой подход дает возможность реализовать все основные современные тенденции развития адаптивных сигнальных систем светотехнического оборудования транспортных средств, способных существенно повысить безопасность дорожного движения, в основе функционирования которых лежит мониторинг условий видимости и освещенности транспортного средства, исправного технического состояния светотехники и скоростных режимов транспортного средства.

Такое решение полностью соответствует техническим требованиям, разработанным отделом электрооборудования унитарной государственной корпорации «Минский автомобильный завод» для светотехнических изделий с полупроводниковыми источниками света, что использовано авторами статьи при разработке конструкции многосекционных комбинированных задних фонарей с несменными источниками света. Опытные образцы оптических модулей с несменными источниками света успешно прошли предварительные фотометрические испытания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Vehicular** lamp with LED light source having uniform brightness: пат. 6637923 B2 США, МПК F21W101/02 /

Yasuyuki Amano (Japan); заявитель Koito Manufacturing Co., Ltd. (Japan). – № 10/212,038; заявл. 06.08.2002; опубл. 20.02.2003 // IP [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.cs.indiana.edu/svp/5705037/FID54/OG/html/1275-4/US06637923-20031028.html>. – Дата доступа: 15.09.2010.

2. **Vehicle** signal light fixture performing multiple signaling functions using the array of LEDs: пат. 6897771 B1 США, МПК B60Q 1/44 / Pervaiz Lodhie (US) [et al.]; заявитель Rolling Hills CA. – № 10/622926; заявл. 19.07.2003; опубл. 24.05.2005 // Free Patents Online [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://www.freepatentsonline.com/6897771.pdf>. – Дата доступа: 14.07.2008.

3. **LED-type** vehicular lamp having uniform brightness: заявка на пат. 20030053318A1 США, МПК F21S8/10 / Yasuyuki Amano; заявитель Koito Manufacturing Co., LTD. – № 10/243776; заявл. 16.09.2002; опубл. 20.03.2003 // Free Patents Online [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://www.freepatentsonline.com/y2003/0053318.html>. – Дата доступа: 14.07.2008.

4. **Thin** rear combination lamp system: пат. 5839813 США, МПК F21V7/04 / Ronald T. Smith; заявитель Delco Electronic Corporation. – № 720582; заявл. 2.10.1996; опубл. 24.11.1998 // Free Patents Online [Электронный ресурс]. – 2002. – Режим доступа: <http://www.freepatentsonline.com/5839813.pdf>. – Дата доступа: 14.07.2008.

5. **Single** light-emitting diode vehicle lamp: пат. 03/074931 A1 ВОИС, МКИ F21S8/10 / Philip C. Roller [et al.]; заявитель The Bilicki law firm. – № PCT/IB03/00790; заявл. 03.03.2003; опубл. 12.09.2003 // esp@cenet [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: [www.espacenet.com](http://www.espacenet.com). – Дата доступа: 14.07.2008.

6. **Light** assembly, especially signal light, for motor vehicles: пат. 6851843 BS2 США, МПК F21V7/04 / Otto Rolf Müller [et al.]; заявитель Reitter and Schefenacker GmbH & Co. – № 10/050683; заявл. 16.01.2002; опубл. 8.02.2005 // Free Patents Online [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа: <http://www.freepatentsonline.com/6851843.pdf>. – Дата доступа: 14.07.2008.

7. **Экспериментальные** исследования светотехнических устройств с ДОО / А. В. Волков [и др.] // IPSI [Электронный источник]. – 2008. – Режим доступа: <http://www.ipssi.smr.ru/research/publication/KO/PDF/KO19/ko19226.pdf>. – Дата доступа: 17.09.2008.

Поступила 24.10.2011