

УДК 621.326

## АДАПТИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Сернов С.П., Балохонов Д.В., Колонтаева Т.В., Журавок А.А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Рассмотрены основные принципы реализации современных адаптивных систем сигнального светотехнического оборудования транспортных средств, проведен анализ используемых оптических систем; обоснована необходимость применения светодиодов. Приводится конструкция оптической системы заднего адаптивного комбинированного светодиодного фонаря транспортного средства с несколькими уровнями силы света, обсуждается алгоритм его работы в различных режимах. (E-mail: ssernov@bntu.by)

**Ключевые слова:** адаптивные системы световой сигнализации, светодиоды, светодиодный фонарь, автомобили.

### Введение

Возрастание скорости движения транспортных средств явилось первопричиной изменения подходов к обеспечению безопасности дорожного движения, в том числе повышению требований к световым характеристикам сигнального светотехнического оборудования. Согласно экспертным оценкам [1], при увеличении скорости транспортного средства с 40 до 80 км/час сила света задних огней

должна возрасти в 2 раза, передних – в 3 раза, боковых – в 4 раза. Динамика изменения требований к величине силы света в условиях дневного освещения для углов наблюдения в пределах  $3^\circ$  приведена на рисунке 1. Функциональное отличие зависимостей силы света для огней разного цвета обусловлено различной спектральной чувствительностью трех типов колбочек человеческого глаза, ответственных за восприятие различных участков видимого спектра.

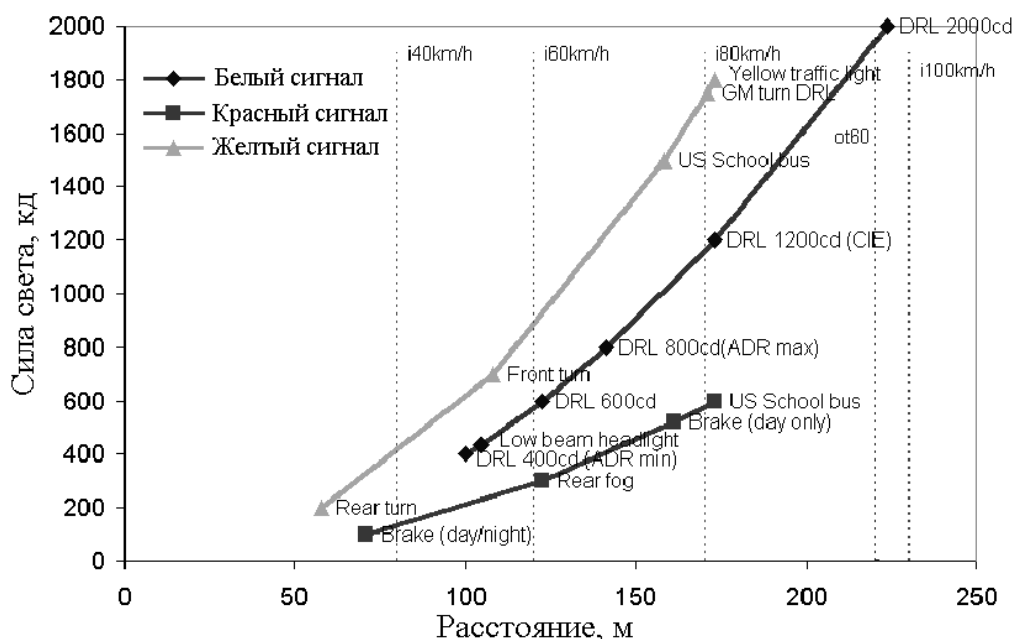


Рисунок 1 – Изменение требований к значениям силы света сигнальных устройств в зависимости от скорости движения (расстояния) до автомобиля [1]

Вместе с тем в силу отличия функциональной яркостной зависимости фактора адаптации  $F$  человеческого глаза в условиях скотопического (малой освещенности) и фотопического (большой освещенности) зрения следует учитывать влияние условий освещения на световые характеристики сигнальных приборов [2, 3]. В условиях скотопического зрения фактор адаптации  $F$  пропорционален яркости, а в условиях фотопического – кубическому корню из ее значения. Поэтому сила света сигнальных приборов в темноте, при движении ночью, должна быть значительно меньше, чем днем, чтобы избежать ослепления водителей.

В настоящее время существуют различные автомобильные системы активной безопасности, контролирующие скорость и дистанцию: системы предупреждения столкновения с транспортным средством и пешеходами, позволяющие избежать столкновений при движении в городе на скорости до 30 км/час. Однако не все системы эффективно действуют в ночное время и в условиях плохой видимости. Примером современных инженерных решений в области автомобильной светотехники является адаптивная система фар головного света (Advanced Frontlighting System – AFS), способная автоматически контролировать направление освещения в зависимости от угла поворота колес и скорости автомобиля.

### Основная часть

Для уменьшения числа аварий, связанных с экстренными ситуациями на дорогах, в условиях, когда требуется эффективное торможение, среди интеллектуальных средств защиты наряду с другими упреждающими системами безопасности наиболее перспективными являются адаптивные системы световой сигнализации с функцией анализа замедления автомобиля или при срабатывании антиблокировочной системы на скорости выше 30 км/час.

Эти изменения учтены в серии поправок в международных нормах по сертификации транспортных средств. Например, начиная с 2007 года в Правилах ЕЭК ООН № 6 наряду с наиболее распространенными указателями поворота категории 2а, фигурируют огни новой категории 2б, для которых предусмотрены 2 режима функционирования (2 уровня силы света) днем и ночью, причем минимальное значение силы света днем составляет 175 кд

(ночью – 40 кд), что значительно превосходит световой режим огней категории 2а с минимальным значением 50 кд. Аналогичные изменения предусмотрены и для других функциональных огней, за исключением фар заднего хода [4, 5]. Все новые редакции Правил ЕЭК ООН предусматривают возможность установки модулей источников света, в том числе с несменными источниками света на светодиодах. Широкое применение светодиодов в качестве несменных источников света для сигнальных огней всех категорий обеспечивают неоспоримые преимущества этих источников света [6, 7].

Существует несколько подходов построения задних адаптивных сигнальных систем (Adaptive Rearlighting Systems – ARS), отличающихся способом визуализации и алгоритмом работы. Например, авторами работы [8] предложена конструкция заднего многосекционного адаптивного фонаря с функциями совмещенного заднего габарита и стоп-сигнала ( $R/S$ ), сгруппированного с задней фарой ( $AR$ ) и противотуманным огнем ( $F$ ) на основе нескольких кластеров светодиодов белого и красного цвета.

На рисунке 2 приведен алгоритм работы фонаря в зависимости от условий внешнего освещения, тормозных усилий и направлений перемещения автомобиля. Секция совмещенного габарита и стоп-сигнала ( $R/S$ ) состоит из двух основных (рисунок 2а, б) и двух дополнительных кластеров красных светодиодов, расположенных слева и справа от основной и отличающихся формой и количеством светодиодов. Основной кластер представляет собой 2 цепочки из 11 светодиодов, с возможностью функционирования в двухуровневом режиме: низкий режим (1-го уровня с малой силой света) ( $R1/S1$ ) ночью (рисунок 2а) и высокий режим (2-го уровня) ( $R2/S2$ ) для индикации днем (рисунок 2б). Предусмотрено изменение силы света цепочек основного кластера в зависимости от тормозного усилия, определяющего условия замедления автомобиля (рисунок 2в, г), и включение дополнительного кластера большей площади с удвоенным числом светодиодов в случае экстренного торможения (рисунок 2д). При движении в тумане слева от основного кластера включается левая секция заднего противотуманного фонаря (рисунок 2е), обеспечивающая режим 1-го уровня с малой силой ( $F1$ ), которая при ухудшении погодных условий изменяет силу света в соот-

ветствии с режимом 2-го уровня ( $F2$ ), т.е. реализуются функции адаптивного заднего противотуманного фонаря в соответствии с новой редакцией Правил ЕЭК ООН № 38. К сожалению, нет сведений об алгоритмизации включения этой опции фонаря; возможно, как и в случае включения режимов габаритного и стоп-сигналов, в качестве критерия использу-

ется уровень внешней освещенности. Секция задней фары ( $AR$ ) состоит из четырех цепочек белых светодиодов, из них 2 центральные включаются одновременно при движении автомобиля задним ходом прямо (рисунок 2ж), а левая и правая включаются дополнительно при соответствующих поворотах рулем (рисунок 2з, и).

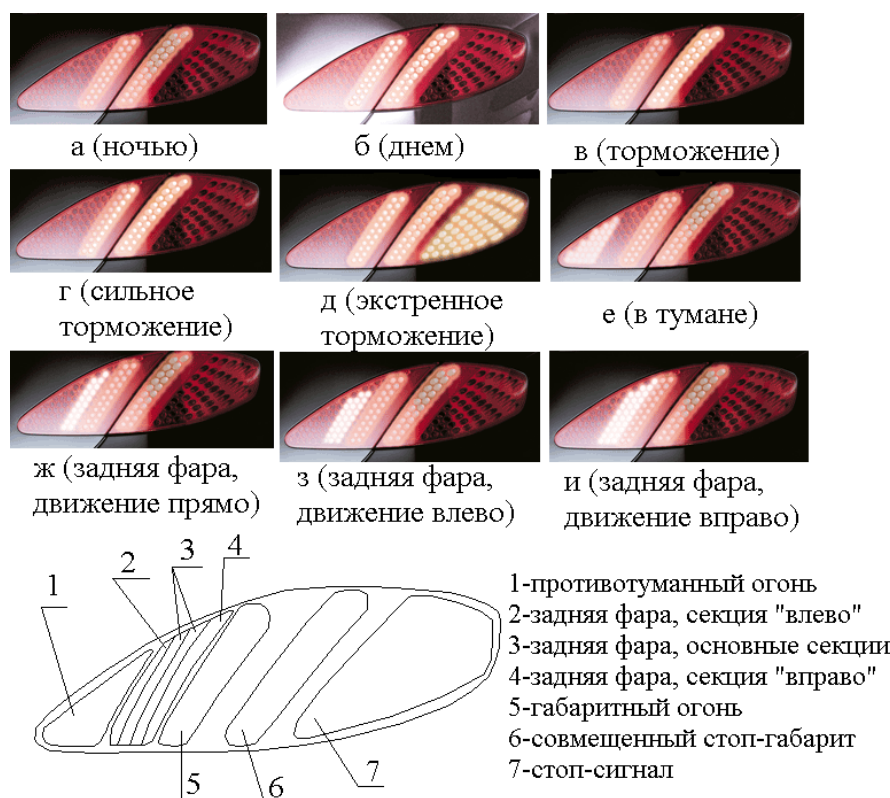


Рисунок 2 – Режимы работы адаптивного заднего комбинированного фонаря [8]

В целом алгоритм функционирования рассмотренной конструкции ARS полностью отвечает современным представлениям о задних адаптивных сигнальных системах, однако уровень их реализации с использованием кластеров, состоящих из множества светодиодов, не отвечает требованиям по надежности таких систем. В основу визуализации эффектов от внешних воздействий и условий движения положены изменения силы света и площади светящейся поверхности отдельных секций фонаря, хотя совмещение в одном кластере функций стоп-сигнала ( $S2$ ) и заднего противотуманного огня ( $F2$ ) представляется неудачным. Факультативные опции указателей

поворота в секции задней фары при наличии штатных указателей поворота и их повторителей излишни.

Аналогичное решение предлагается в работе [9], в которой число светящихся светодиодов в линейке дополнительного сигнала торможения ( $S3$ ), расположенного в салоне автомобиля, пропорционально ускорению замедления.

С 2005 г. в странах ЕС одобрено применение адаптивных стоп-сигналов (Adaptive Brake Lights – ABL), активируемых электронной системой стабилизации (ESP) во время резкого торможения транспортного средства при скорости свыше 50 км/ч, в результате чего стоп-сигналы начинают функционировать в

импульсном режиме с частотой вспышек 1,5–2,5 Гц, как показано на рисунке [10, 11].

Проведенные исследования показывают, что прерывистый свет стоп-сигналов существенно уменьшает количество аварий как в светлое, так и в темное время суток за счет значительного улучшения реакции водителей на сигнал – на 0,23 с [12, 13]. При этом тормозной путь автомобиля на скорости 80 км/ч уменьшается на 4,4 м, на скорости 100 км/ч – на 5,5 м. Сегодня такие фонари входят в стандартную комплектацию автомобилей премиум-сегмента *S* класса, и число их неуклонно растет.

Стремление обезопасить участников движения от «догоняющих» столкновений реализовано в конструкции универсальных адаптивных стоп-сигналов от фирмы The Third Eye [14], в которых предусмотрено 3 уровня визуального предупреждения, отличающихся частотой и длительностью вспышек стоп-сигналов в диапазоне скорости замедления (6–8 м/сек<sup>2</sup>), т.е. (0,6–0,8 *g*). Пороговое ускорение, при котором начинается мигание стоп-сигналов, определяется акселерометром и составляет –5 м/сек<sup>2</sup>.

В работе [15] предлагается учесть изменение замедления автомобиля при движении под уклон или на подъем, то есть учесть ускорение, обусловленное силой тяготения, значение которого может достигать 0,25 *g*. Нивелировать этот эффект позволяет компьютерная обработка сигнала от акселерометра или применение нескольких акселерометров, измеряющих составляющие ускорения по нескольким взаимно перпендикулярным осям для определения модуля и направления суммарного ускорения, действующего на автомобиль. Оптимальным вариантом является применение датчиков рывка (*jerk*), определяющих ускорение как изменение скорости.

Таким образом, в основу функционирования современных адаптивных задних сигнальных систем, которые адаптируются в виде изменений силы света, его частотных характеристик и площади свечения светоиспускающих поверхностей огней, положен анализ условий освещения и динамики движения автомобиля.

Существующие решения оптических систем адаптивной светотехники предполагают использование кластеров светодиодов, интегральное излучение которых обеспечивает пространственное распределение силы света в со-

ответствии с фотометрическими спецификациями ТНПА. Известно множество вариантов построения оптических систем, в которых излучение светодиодов предварительно трансформируется элементами вторичной оптики в виде системы линз Френеля и микрорефлекторов. Общим недостатком такого решения является необходимость использования большого числа светодиодов, которые в основном и определяют стоимость изделия.

Прогресс технологии позволил многократно увеличить эффективность светодиодов, в результате чего стало возможным использование одного мощного светодиода в качестве источника света одного независимого огня. Такое решение обеспечивает непревзойденную конструктивную надежность источника света и возможность его адаптации по всем ранее рассмотренным критериям. Ключевым элементом оптической системы задней адаптивной сигнализации, состоящей из совокупности независимых модулей, каждый из которых выполняет функцию независимого или совмещенного огня, является асферическая линза большого диаметра, обеспечивающая одновременно требуемое пространственное распределение силы света и визуализацию огня с комфортным зрительным восприятием. На рисунке 3 приведены зависимости пространственного распределения силы света указателя поворота категории 2а и минимальные значения фотометрических спецификаций в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 6.

Как видно из рисунка 3, вторичная оптика обеспечивает удовлетворительную корреляцию пространственных распределений силы света, что позволяет с учетом идентичности требований по распределению силы света различных категорий огней унифицировать ее применение. Поскольку вторичная оптика обладает осевой симметрией, это обеспечивает реализацию любых дизайнерских решений при компоновке оптических модулей в фонаре. Более того, в этом случае существенно упрощается процесс адаптации оптических модулей системы, поскольку процедура сводится к выбору электрического режима работы драйвера светодиода.

На рисунке 4 приведена разработанная авторами статьи блок-схема управления адаптивной системой сигнализации, состоящая из модуля питания, микроконтроллера, сопряженного с системой первичных преобразователей, и светодиодов оптических модулей, управляе-

мых полевыми транзисторами. Модуль питания с интегрированным индуктивным элементом выполнен в виде мощного синхронного регулятора напряжения, имеет низкий уровень электромагнитных помех (EMI) и удовлетворяет стандарту EN55022 (class B). В качестве первичных преобразователей возможно ис-

пользование сигналов акселерометров систем торможения Brake Assist System (BAS) или Electronic Brake Distribution (EBD) и встроенного в фонарь фоточувствительного элемента, выходной сигнал которого зависит от условий внешнего освещения и технического состояния изделия.

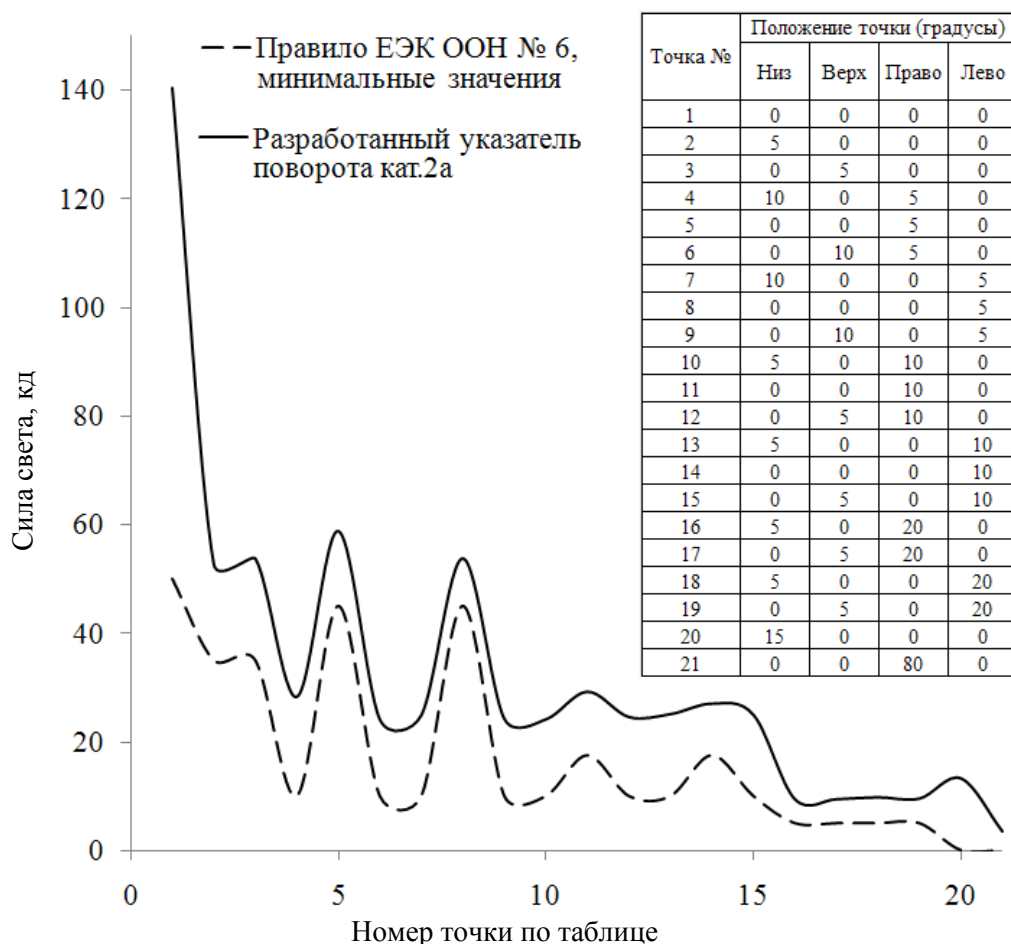


Рисунок 3 – Пространственное распределение силы света указателя поворота

При изменении погодных условий, загрязнении, ухудшении прозрачности рассеивателя фонаря в результате естественного старения полимеров или абразивного износа сила света остается в пределах поля допуска согласно требованиям Правил ЕЭК ООН. Поскольку в системах сигнализации для повышения надежности стоп-сигналов практикуется постоянное резервирование, один из них может дополнительно управляться акселерометром, обеспечивая прерывистое свечение в случае экстренного торможения. Кроме того, дополнительный стоп-сигнал может при этом излучать красный свет другого диапазона длин волн, например

650–655 нм, отличный от цвета основного огня, например 620–625 нм.

Это позволяет предложить новый принцип функционирования адаптивных систем, дополнив их возможностью изменения колориметрических характеристик света при внештатных ситуациях, с учетом выполнения требований Правил ЕЭК ООН. Очевидно, что выбор обоих источников света должен удовлетворять критерию эллипсов Мак-Адама для обеспечения нужного цветового контраста. В отличие от ранее рассмотренных решений, предлагаемая оптическая схема позволяет легко реализовать эту идею выбором соответствующих светодиодов.

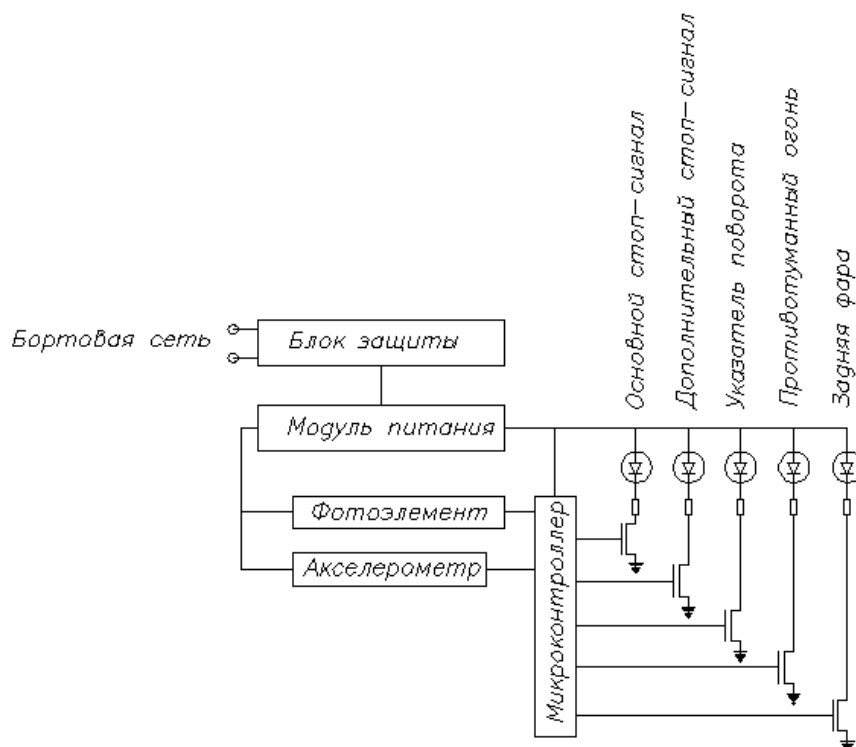


Рисунок 4 – Блок-схема управления адаптивной системой сигнализации

## Заключение

Обеспечение безопасности транспортного движения в светлое и темное время суток, а также в условиях плохой видимости предполагает развитие интеллектуальных систем освещения и сигнализации, логично дополняющих и взаимодействующих с иными адаптивными системами транспортного средства. Проведен анализ построения адаптивных сигнальных систем на основе светодиодов, их основных характеристик и элементной базы. Разработана концептуальная конструкция адаптивного светодиодного заднего комбинированного фонаря. Предложен новый принцип функционирования адаптивных систем торможения на основе различия колориметрических спецификаций стоп-сигналов.

## Список использованных источников

1. Paine, M. Daytime Running Lights for Motorcycles / M. Paine [et al.] // Optusnet [Electronic resource]. – 2010. – Mode of access: [http://members.optusnet.com.au/carsafety/esv19\\_paine\\_mc\\_drl.pdf](http://members.optusnet.com.au/carsafety/esv19_paine_mc_drl.pdf) / – Date of access : 15.09.2011.
2. Moroney, N. Field Trials of the CIECAM02 Color Appearance Model / N. Moroney, H. Zeng // Hewlett-Packard [Electronic resource]. – Mode of access : [www.hpl.hp.com/personal/Nathan\\_Moroney/cie-2003-moroney.pdf](http://www.hpl.hp.com/personal/Nathan_Moroney/cie-2003-moroney.pdf). – Date of access : 10.07.2008.
3. Балохонов, Д.В. Колориметрические системы, применяемые при измерении цветовых характеристик светодиодов и светодиодных светотехнических изделий / Д.В. Балохонов, С.П. Сернов, О.Б. Тарасова // Метрология и приборостроение. – 2009. – № 3(46). – С. 3–10.
4. UNECE Regulation No.7. Uniform Provisions Concerning the Approval of Front and Rear Position (Side) Lamps, Stop Lamps and End-outline Marker Lamps for Motor Vehicles (Except Motor Cycles) and Their Trailers / UNECE [Electronic resource]. – 2006. – Mode of access : [http://live.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R007rev5\\_r.pdf](http://live.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R007rev5_r.pdf). – Date of access : 22.09.2011.
5. UNECE Regulation No.38. Uniform Provisions Concerning the Approval of Fog Lamps for Power-driven Vehicles and Their Trailers / UNECE [Electronic resource]. – 2005. – Mode of access : <http://live.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r038r2e.pdf>. – Date of access : 22.09.2011.

6. *Годовицын, И.В.* Срок службы сверхъярких светодиодов. Причины отказов / И.В. Годовицын // Сверхъяркие светодиоды [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://www.bright-leds.ru/page-lifespan.html>. – Дата доступа : 9.09.2007.
7. *Сернов, С.П.* Вторичная неизображающая оптика модуля несменного источника света / С.П. Сернов, Д.В. Балохонов, А.С. Журавок // Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование. Т.2: Сборник трудов седьмой международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», 28-30.04.2009, Санкт-Петербург, Россия / под ред. А.П. Кудинова, Г.Г. Матвиенко. : СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2009. – С.143–144.
8. Adaptive rear lamps // Magneti Marelli [Electronic Resource]. – 2011. – Режим доступа : [http://www.magnetimarelli.com/english/automotive\\_fanali\\_adattivi.php](http://www.magnetimarelli.com/english/automotive_fanali_adattivi.php). – Mode of access: 25.09.2011.
9. *Roughan, C.* Adaptive Brake Lights: an Investigation into their Relative Benefits in regards to Road Safety / C. Roughan // Queensland University of Technology ePrint Archive [Electronic resource]. – 2010. – Mode of access : [http://eprints.qut.edu.au/16335/1/Craig\\_Roughan\\_Thesis.pdf](http://eprints.qut.edu.au/16335/1/Craig_Roughan_Thesis.pdf). – Date of access : 26.10.2011.
10. Evaluation of emergency brake light display (EBLD) systems //UNECE Official Site [Electronic resource]. – 2010. – Mode of access : <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2004/wp29gre/TRANS-WP29-GRE-53-02e.pdf>. – Date of access: 26.10.2011.
11. Study of perspective aspects of equipping vehicles with an informative brake signaling system (IBSS) // UNECE Official Site [Electronic resource]. – 2010. – Mode of access : <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2004/wp29gre/TRANS-WP29-GRE-52-35e.pdf>. – Date of access : 26.10.2011.
12. Adaptive Brake Light // Mercedes 500SEC.com [Electronic resource]. – 2010. – Mode of access : <http://500sec.com/adaptive-brake-light>. – Date of access : 26.10.2011.
13. *Schoeneburg, R.* Enhancement of active & passive safety by future pre-safe® systems / R. Schoeneburg, T. Breitling // National Highway Traffic Safety Administration [Electronic resource]. – 2010. – Mode of access : <http://www.nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0080-O.pdf>. – Date of access : 4.10.2011.
14. Adaptive Brake Light (ABL) // The Third Eye [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access : <http://feliogroup.com/swf/adaptive-brake-light.swf?width=480&height=400>. – Date of access : 15.09.2011.
15. *Кротков, А.* Идеальный стоп-сигнал / А. Кротков // EVROAVTOMOBILES.RU [Electronic resource]. – 2008. – Mode of access : <http://www.euroavtomobiles.ru/art19-3.html>. – Date of access: 14.10.2011.

---

Sernov S.P., Balokhonov D.V., Kolontaeva T.V., Zhuravok A.A.

### Adaptive optical systems lighting equipment vehicles

This article describes the main principles of implementation of modern adaptive signal lighting equipment of vehicles, provides an analysis of optical systems are used, the necessity of the use of LEDs. We present the design of adaptive optical system, rear combination LED lamp of a vehicle with several levels of intensity, we discuss the algorithm of its work in different modes. (E-mail: ssernov@bntu.by)

**Key Word:** adaptive signal lighting, adaptive optical system, LED lamp, vehicle.

*Поступила в редакцию 12.09.2011.*