

УДК 629.1.06

Лоренц Анатолий Сергеевич, к.т.н., доцент, зав. кафедрой, Северный Арктический Федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия

Витязев Михаил Владиславович, старший преподаватель, Северный Арктический Федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия

Цехмистрова Татьяна Евгеньевна, старший преподаватель, Северный Арктический Федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО
ОСВЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ: АНАЛИЗ ПРИЧИН ДЕГРАДАЦИИ
ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ И СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Аннотация

В процессе длительной эксплуатации автомобиля светотехнические характеристики головного освещения неуклонно снижаются, что напрямую влияет на безопасность дорожного движения в тёмное время суток. Цель работы – систематизация причин деградации оптических модулей и разработка комплексного подхода к восстановлению их светотехнических параметров. Методология базируется на анализе научных публикаций, нормативных документов (Правила ООН №149) и практического опыта восстановления линзованной оптики. Результаты: выявлены основные факторы деградации (термопластичные отражатели, несоответствие типов ламп, естественный износ), предложена классификация методов восстановления, обоснована необходимость замены штатных модулей на Bi-LED комплекты с использованием переходных рамок. Область применения результатов – сервисные предприятия и специализированные мастерские,

занимающиеся ремонтом и модернизацией головного света автомобилей. Научная новизна заключается в систематизации технических решений по адаптации современных Bi-LED модулей с обеспечением корректной светотеневой границы. Практическая значимость подтверждена возможностью многократного улучшения светотехнических характеристик по сравнению с заводскими показателями.

Annotation

Summary. During long-term vehicle operation, the lighting performance of headlights steadily deteriorates, directly affecting road safety at night. Purpose of the work is to systematize the causes of optical module degradation and develop an integrated approach to restoring their lighting parameters. Methodology is based on the analysis of scientific publications, regulatory documents (UN Regulation No. 149), and practical experience in restoring lensed optics. Results: the main degradation factors (thermoplastic reflectors, lamp type mismatch, natural wear) are identified; a classification of restoration methods is proposed; the necessity of replacing standard modules with Bi-LED kits using adapter frames is substantiated. Application area of the results is service enterprises and specialized workshops engaged in the repair and modernization of automotive headlights. The scientific novelty lies in the systematization of technical solutions for adapting modern Bi-LED modules while maintaining the correct cut-off line. The practical significance is confirmed by the possibility of significantly improving lighting performance compared to factory specifications.

Ключевые слова: головной свет, линзованная оптика, отражатель, светотеневая граница, Bi-LED модули, переходные рамки, герметизация.

Keywords: headlight, lensed optics, reflector, cut-off line, Bi-LED modules, adapter frames, sealing.

Введение

В процессе длительной эксплуатации автомобиля светотехнические характеристики головного освещения неуклонно снижаются, что оказывает прямое влияние на комфорт вождения в темное время суток, степень утомляемости водителя и, как следствие, на общий уровень безопасности дорожного движения [15, 16]. Ухудшение качества света может проявляться в виде снижения яркости, нарушения формы светотеневой границы и уменьшения дальности освещения. Для восстановления штатных параметров либо их превышения применяется ряд технических решений, выбор которых зависит от конструктивных особенностей оптического узла и характера его повреждений.

Современные требования к головному освещению регламентируются Правилами ООН №149, которые устанавливают чёткие параметры распределения силы света, особенно для ближнего режима [18]. Как отмечают Сернов и др. [9, 10], резкость светотеневой границы является критическим фактором предотвращения ослепления водителей встречных транспортных средств. Однако широко распространённые конструкции фар (галогенные, ксеноновые и даже некоторые светодиодные) не всегда способны обеспечить необходимую чёткость границы в условиях реальной эксплуатации [3].

Причины деградации линзованных оптических модулей

Практический опыт свидетельствует, что в подавляющем большинстве случаев (до 90 %) причиной неудовлетворительной работы головного света является выгорание отражателя, размещённого внутри линзованного модуля. Указанная неисправность имеет многофакторную природу.

Одним из ключевых факторов выступает качество заводских компонентов. В целях снижения производственной себестоимости многие автопроизводители применяют отражатели из термопластичных материалов с хромированным покрытием вместо металлических аналогов [9]. Данное конструктивное решение характерно не только для автомобилей экономичного и среднего сегментов, но и для премиальных марок. В качестве

примера можно привести оптические модули Visteon, устанавливаемые на Land Rover Freelander, ресурс которых при интенсивной эксплуатации не превышает нескольких лет [8].

Вторым значимым фактором является использование ламп, не соответствующих типу установленного оптического модуля. Установка ксеноновых источников света в штатные галогеновые линзы не приводит к ожидаемому приросту освещённости, однако создаёт повышенную тепловую нагрузку, ускоряющую деструкцию отражающего слоя. Аналогичное воздействие оказывает применение ламп накаливания повышенной мощности, рабочая температура которых превышает расчётные параметры модуля [17].

Наконец, естественный износ проявляется в результате длительного срока службы (10–15 лет) и накопленного пробега. Постоянное воздействие высоких температур независимо от исходного качества компонентов приводит к постепенной деградации отражающей способности. Кроме того, нарушение герметичности корпуса фары, вызванное дефектами уплотнений или микротрещинами, ведёт к попаданию влаги и ускоренному окислению контактов и отражающих поверхностей [13].

Способы восстановления светотехнических характеристик

Существующие подходы к решению проблемы могут быть классифицированы по степени сложности и достигаемому результату.

Минимальные вмешательства. Наиболее простым, но наименее эффективным является игнорирование проблемы, что противоречит принципам обеспечения активной безопасности. Альтернативой выступает замена ламп на новые либо на более мощные легитимированные источники, однако данный метод не устраняет деградацию отражателя [5].

Полная замена осветительных приборов. Замена фары в сборе на оригинальное изделие позволяет полностью восстановить заводские параметры, однако сопряжена с максимальными финансовыми затратами. Использование неоригинальных (аналоговых) фар снижает стоимость решения, но зачастую сопровождается ухудшением светотехнических

характеристик по сравнению с заводскими образцами и повышенным риском рецидива проблемы [10].

Восстановление отражающих элементов. Ремонт штатных модулей с перехромированием отражателя либо заменой его на восстановленный экземпляр технически реализуем, однако требует соблюдения специализированных технологий нанесения гальванических покрытий. Нарушение технологического процесса делает данный способ экономически неоправданным [4].

Замена линзованных модулей. Наиболее перспективным с позиции соотношения «стоимость – результат» является замена штатных линзованных модулей на современные Vi-LED комплекты [7]. Данное решение позволяет многократно улучшить параметры ближнего и дальнего света, включая яркость, равномерность светового пучка и чёткость светотеневой границы, даже относительно новых заводских аналогов. Использование мощных светодиодов с рефлекторами полного внутреннего отражения (TIR) обеспечивает высокую эффективность преобразования светового потока и стабильность характеристик в широком диапазоне температур [9].

Техническая сложность данной операции обусловлена несовпадением посадочных размеров и крепёжных отверстий устанавливаемых модулей со штатными. Для решения этой задачи применяются переходные рамки, изготавливаемые индивидуально под конкретную модель автомобиля. Такие пластины обеспечивают надёжную фиксацию нового модуля в штатном посадочном месте, сохраняя корректную геометрию установки и ориентацию оптической оси. Как показано в работах Ашанина и др. [1, 2], точность позиционирования линзы и отражателя критически важна для формирования правильной светотеневой границы и минимизации ослепления. В отдельных случаях применение рамок не требуется, однако в любом варианте необходима адаптация крепёжных элементов.

Вспомогательные операции

Очистка внутренних полостей. При эксплуатации автомобиля в условиях российских дорог в течение трёх и более лет внутри фары неизбежно накапливаются загрязнения, снижающие светопропускание. Рекомендуется выполнять очистку внутренних поверхностей корпуса, оптических элементов и рассеивателя с применением мыльного раствора или специализированных средств. Наличие конденсата и пылевых отложений может приводить к рассеянию света и ухудшению равномерности освещения [13].

Регулировка направления светового пучка. Корректная настройка угла наклона фар является обязательным условием безопасности. Неправильно отрегулированный световой пучок снижает эффективную зону видимости и создаёт риск ослепления водителей встречного транспорта. Регулировка должна выполняться с использованием специализированного оборудования на профильных сервисных предприятиях. При применении качественных переходных рамок, сохраняющих штатную геометрию установки модуля, необходимость в дополнительной регулировке может быть минимизирована [6].

Герметизация после ремонтных воздействий. Технология сборки фары определяется типом герметика, использованного производителем. При наличии термопластичного герметика возможно повторное использование после разогрева. В случае применения жёсткого герметика, не поддающегося нагреву, шов подлежит полной очистке, а сборка выполняется с использованием нового герметика, что обеспечивает надёжную защиту от запотевания [13].

Заключение

Наиболее эффективной стратегией восстановления головного освещения является комплексный подход, включающий:

- очистку и при необходимости полировку внешних и внутренних поверхностей оптики;
- замену штатных линзованных модулей на современные Bi-LED источники с использованием адаптированных переходных рамок;

– последующую проверку и корректировку светотеневой границы с применением сертифицированного оборудования.

Реализация указанных мероприятий позволяет не только восстановить утраченные характеристики освещения, но и существенно превысить заводские показатели, обеспечивая высокий уровень активной безопасности в тёмное время суток. Дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию предложенных методов для автомобилей с адаптивными системами освещения, включая матричные и лазерные фары, а также на разработку унифицированных переходных рамок для массового применения [2, 10].

Литература

- 1 Ашанин В.Н., Ларкин С.Е. Инновационная система головного освещения автомобиля // Автомобильная промышленность. 2020. № 1. С. 22–26.
- 2 Ашанин В.Н., Ларкин С.Е., Исаев С.Г., Чапаев В.С. Реализация концепции безопасного адаптивного освещения дороги автотранспортным средством // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3. С. 83–91. <https://doi.org/10.21685/2307-5538-2022-3-10>
- 3 Дьяков А.А., Лихачева Т.Е., Егоров Д.Г. Запотеваящие фары – дефект или физический закон природы? // Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли. 2023. № 3(8). С. 3–15.
- 4 Запотевшая фара: лечить или менять? // За рулём. URL: <https://www.zr.ru/content/articles/906921-zapotevshaya-fara-v-chem-prichina/> (дата обращения: 23.03.2026).

5 Как вернуть свет в фары: причины потускнения и способы восстановления. URL: <https://xn---dtbhbqhwaixefe.xn--p1ai/articles/kak-vernut-svet-v-fari> (дата обращения: 23.03.2026).

6 Казанцев С. Тест 8 светодиодных линз, часть № 2 // Светодиодные лампы для авто. Тесты, обзоры, отзывы, сравнения. 2017. URL: <http://led-obzor.ru/test-8-svetodiodnyih-linz-chast-2> (дата обращения: 23.03.2026).

7 Как бюджетно улучшить свет автомобиля: обзор методов модернизации оптики // Wesem Light. URL: <https://wesem-light.ru/stati/optika-wesem/kak-byudzhetno-uluchshit-svet-avtomobilya/> (дата обращения: 23.03.2026).

8 Пахомова Е.Э., Горкин В.П., Якунов Д.М. Конструктивные особенности автомобильных фар головного освещения на светодиодах // Известия МГТУ «МАМИ». Серия 1: Наземные транспортные средства, энергетические установки и двигатели. 2014. Т. 1, № 2(20). С. 50–54.

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

10 Сернов С.П., Балохонов Д.В., Коницева Л.М. Современное состояние и перспективы развития головного освещения транспортных средств. Часть 2: Перспективные конструкции головного освещения транспортных средств // Наука и техника. 2023. Т. 22, № 2. С. 168–174. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-2-168-174>

11 Chang Y.P., Liu C.-N., Pei Z., Lee S.-M., Lai Y.-K., Han P., Shih H.-K., Cheng W.-H. New Scheme of LiDAR-Embedded Smart Laser Headlight for Autonomous Vehicles // Optics Express. 2019. Vol. 27, No 20. P. A1481–A1489. <https://doi.org/10.1364/oe.27.0a1481>

12 Farris J., Ballard B. Trends in High Resolution Headlamps. Application Report DLPA105. Texas Instruments, 2019.

URL: <https://www.ti.com/lit/wp/dlpa105/dlpa105.pdf> (дата обращения: 23.03.2026).

13 Hitch J. Giving LEDs some TLC: Inspection and Diagnostic Best Practices // Fleet Maintenance. 2022.

URL: <https://www.fleetmaintenance.com/equipment/battery-and-electrical> (дата обращения: 23.03.2026).

14 Hung C.-C., Fang Y.-C., Huang M.-S., Hsueh B.-R., Wang S.-F., Wu B.-W., Lai W.-S., Chen Y.-L. Optical Design of Automotive Headlight System Incorporating Digital Micromirror Device // Applied Optics. 2010. Vol. 49, No 22. P. 4182–4187. <https://doi.org/10.1364/ao.49.004182>

15 Larson M.V. The Dangers of Overly Bright Headlights at Night // Larson Law Firm P.C. 2021. URL: <https://ndakotalaw.com/the-dangers-of-overly-bright-headlights-at-night> (дата обращения: 23.03.2026).

16 Paine M., Paine D., Haley J., Cockfield S. Daytime Running Lights for Motorcycles // Optusnet. 2010.

URL: http://members.optusnet.com.au/carsafety/esv19_paine_mc_drl.pdf (дата обращения: 23.03.2026).

17 Sabhadiya J. 7 Types of Headlights with Their Pros and Cons // Engineering Choice. 2021.

URL: <https://www.engineeringchoice.com/author/jigneshsabhadiya/> (дата обращения: 23.03.2026).

18 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. 58 p. URL: <https://unece.org/sites/default/files/2021-05/R149e.pdf> (дата обращения: 23.03.2026).

19 Wang L., Ma J., Su P., Huang J. High-Resolution Pixel LED Headlamps: Functional Requirement Analysis and Research Progress // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No 8. P. 3368. <https://doi.org/10.3390/app11083368>

Literature

1. Ashanin V.N., Larkin S.E. Innovative Automotive Headlight System // Automotive Industry. 2020. No. 1. P. 22–26.

2. Ashanin V.N., Larkin S.E., Isaev S.G., Chapaev V.S. Implementation of the Concept of Safe Adaptive Road Lighting by a Motor Vehicle // Measurements. Monitoring. Management. Control. 2022. No. 3. P. 83–91. <https://doi.org/10.21685/2307-5538-2022-3-10>

3. Dyakov A.A., Likhacheva T.E., Egorov D.G. Fogging Headlights – A Defect or a Physical Law of Nature? // Problems of Expertise in the Automotive and Road Industry. 2023. No. 3(8). P. 3–15.

4. Fogged Headlight: To Repair or Replace? // Behind the Wheel. URL: <https://www.zr.ru/content/articles/906921-zapotevshaya-fara-v-chem-prichina/> (accessed: 23.03.2026).

5. How to Restore Light to Headlights: Causes of Dimming and Restoration Methods. URL: <https://xn----dtbhbqhwaixefe.xn--p1ai/articles/kak-vernut-svet-v-fari> (accessed: 23.03.2026).

6. Kazantsev S. Test of 8 LED Lenses, Part No. 2 // LED Lamps for Auto. Tests, Reviews, Feedback, Comparisons. 2017. URL: <http://led-obzor.ru/test-8-svetodiodnyih-linz-chast-2> (accessed: 23.03.2026).

7. How to Cost-Effectively Improve Car Lighting: An Overview of Optics Modernization Methods // Wesem Light. URL: <https://wesem-light.ru/stati/optika-wesem/kak-byudzhethno-uluchshit-svet-avtomobilya/> (accessed: 23.03.2026).

8. Pakhomova E.E., Gorkin V.P., Yakunov D.M. Design Features of Automotive LED Headlights // Bulletin of MSTU "MAMI". Series 1: Ground Vehicles, Power Plants and Engines. 2014. Vol. 1, No. 2(20). P. 50–54.

9. Sernov S.P., Balokhonov D.V., Konicheva L.M. Current State and Development Prospects of Vehicle Head Lighting. Part 1: Standardization and Main Applied Head Lighting Designs // Science and Technology. 2023. Vol. 22, No. 1. P. 60–68. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-1-60-68>
10. Sernov S.P., Balokhonov D.V., Konicheva L.M. Current State and Development Prospects of Vehicle Head Lighting. Part 2: Advanced Vehicle Head Lighting Designs // Science and Technology. 2023. Vol. 22, No. 2. P. 168–174. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-2-168-174>
11. Chang Y.P., Liu C.-N., Pei Z., Lee S.-M., Lai Y.-K., Han P., Shih H.-K., Cheng W.-H. New Scheme of LiDAR-Embedded Smart Laser Headlight for Autonomous Vehicles // Optics Express. 2019. Vol. 27, No 20. P. A1481–A1489. <https://doi.org/10.1364/oe.27.0a1481>
12. Farris J., Ballard B. Trends in High Resolution Headlamps. Application Report DLPA105. Texas Instruments, 2019. URL: <https://www.ti.com/lit/wp/dlpa105/dlpa105.pdf> (accessed: 23.03.2026).
13. Hitch J. Giving LEDs some TLC: Inspection and Diagnostic Best Practices // Fleet Maintenance. 2022. URL: <https://www.fleetmaintenance.com/equipment/battery-and-electrical> (accessed: 23.03.2026).
14. Hung C.-C., Fang Y.-C., Huang M.-S., Hsueh B.-R., Wang S.-F., Wu B.-W., Lai W.-S., Chen Y.-L. Optical Design of Automotive Headlight System Incorporating Digital Micromirror Device // Applied Optics. 2010. Vol. 49, No 22. P. 4182–4187. <https://doi.org/10.1364/ao.49.004182>
15. Larson M.V. The Dangers of Overly Bright Headlights at Night // Larson Law Firm P.C. 2021. URL: <https://ndakotalaw.com/the-dangers-of-overly-bright-headlights-at-night> (accessed: 23.03.2026).
16. Paine M., Paine D., Haley J., Cockfield S. Daytime Running Lights for Motorcycles // Optusnet. 2010. URL: http://members.optusnet.com.au/carsafety/esv19_paine_mc_drl.pdf (accessed: 23.03.2026).

17. Sabhadiya J. 7 Types of Headlights with Their Pros and Cons // Engineering Choice. 2021. URL: <https://www.engineeringchoice.com/author/jigneshsabhadiya/> (accessed: 23.03.2026).

18. 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. 58 p. URL: <https://unece.org/sites/default/files/2021-05/R149e.pdf> (accessed: 23.03.2026).

19. Wang L., Ma J., Su P., Huang J. High-Resolution Pixel LED Headlamps: Functional Requirement Analysis and Research Progress // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, No 8. P. 3368. <https://doi.org/10.3390/app11083368>