

Влияние шероховатости и деформаций отражающих поверхностей светодиодного прожектора на его светотехнические характеристики

С.Р. Абульханов¹, Н.Л. Казанский^{1,2}, Д.С. Горяинов³, Ю.С. Стрелков^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва, Московское шоссе, 34, Самара, Россия, 443086

²Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" РАН, Молодогвардейская, 151, Самара, Россия, 443001

³Самарский государственный технический университет, Галактионовская, 141, Самара, Россия, 443100

Аннотация. Предложена конструкция осветительного устройства с точечными источниками света, расположенными на трёх поверхностях, находящихся на разных уровнях. Визуализация и последующий анализ формирования светового потока позволили определить необходимую форму отражающих поверхностей и число светодиодов в качестве точечных источников света. Важным этапом оптимизации конструкции осветительного устройства является анализ способности конструкции сопротивляться деформациям, обусловленным вибрациями. На основе полученных результатов проанализировано влияние шероховатости светоотражающих поверхностей на эффективность работы осветительного устройства. При этом особое внимание уделено моделированию совместного влияния вибрационных деформаций и характера микронеровностей отражающих поверхностей на эксплуатационные свойства осветительного устройства. Была получена трассировка лучей каждой светоизлучающей поверхности осветительного устройства, которая позволила определить распределение интенсивности светового потока каждой светоизлучающей поверхности и всего осветительного устройства на его собственных частотах. Предложенный подход обеспечивает осознанный выбор наилучшей конструкции осветительного устройства, работающего в конкретных условиях. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании сигнальных судовых огней, прожекторов высотных строительных кранов и посадочно-рулѐжных фар самолѐтов.

1. Введение

Осветительные устройства, используемые на самолѐтах [1], на железнодорожном [2] и морском транспорте [3], а также на подъёмных строительных кранах [4], работают в условиях вибраций широкого частотного диапазона. Технологические методы, применяемые для изготовления отражающих поверхностей осветительных устройств, формируют на зеркальных поверхностях

определённые микронеровности. Оба этих обстоятельства определяют светотехнические характеристики осветительного устройства.

Для исследования эксплуатационных свойств конструкции мы построили размерную 3D модель светодиодного осветительного устройства (прожектора). Для модели были определены деформации отражающих поверхностей на различных частотах, включая собственные частоты конструкции. Мы смоделировали световой поток в рамках геометрической оптики для деформированных отражающих поверхностей с различным микрорельефом.

Проведённые нами на модели исследования способности сопротивляться деформациям (жесткости) светодиодного осветительного устройства показывают, что исследуемая конструкция после оптимизации в соответствии с разработанными рекомендациями может использоваться, как посадочно-рулëжная фара на самолёте, сигнальные судовые огни и строительные прожекторы (рисунок 1).

Цель статьи: сформулировать рекомендации по выбору конструкции светодиодного осветительного устройства и используемых технологий изготовления его отражающих поверхностей. Выполнение сформированных рекомендаций повысит сопротивление конструкции осветительного устройства к воздействию вибраций и уменьшит разброс светотехнических характеристик, обусловленный технологическими микронеровностями отражающих поверхностей.



Рисунок 1. Осветительные устройства различного назначения: *a* - посадочно-рулëжная фара самолёта; *b* - взлётно-посадочная фара самолёта; *c* - корабельный навигационный фонарь; *d* - сигнальные судовые огни; *e* - строительный прожектор с лампой накаливания; *f* - светодиодный строительный прожектор.

2. Постановка задачи

В работе [5] была приведена конструкция взлётно-посадочного прожектора самолёта, которые испытывают вибрации широкого диапазона частот и больших амплитуд.

На основании конструкторских решений и выбранной оптической схемы осветительного устройства была построена 3D прожектора (рисунок 1). Выбор марки светодиода BL-L513 LEDs определили их количество и геометрические размеры светоизлучающих поверхностей (рисунок 2). Для выбранных размеров основных элементов прожектора в рамках геометрической оптики был построен световой поток, формируемый осветительным

устройством (рисунок 3). При этом мы предполагали, что на отражающих поверхностях имеет место зеркальное отражение лучей, а сами отражающие поверхности не имеют отклонений от расчётной формы. Кроме того, мы считали, что поверхность каждого световода, генерирующая световой поток, находится в фокусе параболоида (рисунок 4).

В качестве материала светоотражающих поверхностей нами был выбран лист толщиной 0,75 мм из алюминиевого сплава 6063 EN 573-1: EN AW-6063, высокая пластичность которого позволяет выполнять сложную форму светоотражающей поверхности. Мы предполагали, что параметр шероховатости Ra светоотражающей поверхности составляет 0,16 мкм.



Рисунок 2. Взлётно-посадочный прожектор самолёта: *a* – внешний вид прожектора; *b* – сечение прожектора.

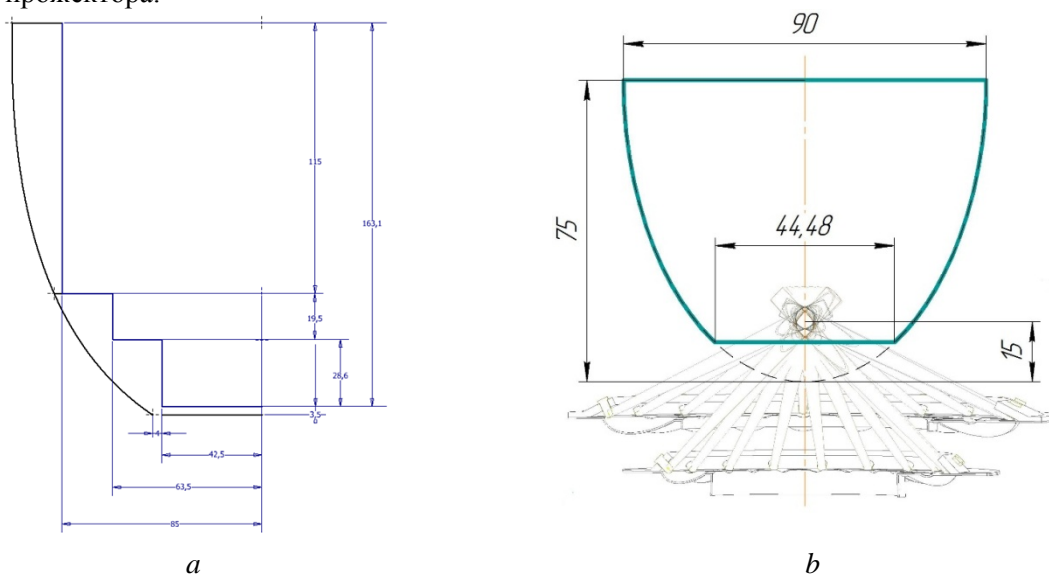


Рисунок 3. Геометрические размеры светоизлучающих поверхностей прожектора: *a* – радиусы окружностей наружного контура светоизлучающих поверхностей и смещения их относительно друг друга; *b* – размеры четвертой светоизлучающей поверхности (параболоид).

В конструкции светотехнического устройства использовались также следующие материалы: силикатное стекло, кремнийорганическая резина и жесткие пластиковые массы (полиметилметакрилат).

Мы предполагали определить собственные частоты конструкции светотехнического устройства, диапазон которых укажет наиболее приемлемые условия эксплуатации прожектора. Для определения светотехнических характеристик прожектора, работающего в экстремальных условиях, по нашему мнению, необходимо определить распределение интенсивности светового потока на различных расстояниях от осветительного устройства, а также определить траектории световых лучей в световом потоке, формируемом прожектором (трейсинг). При

этом светоизлучающие поверхности осветительного устройства должны иметь наибольшие возможные деформации.

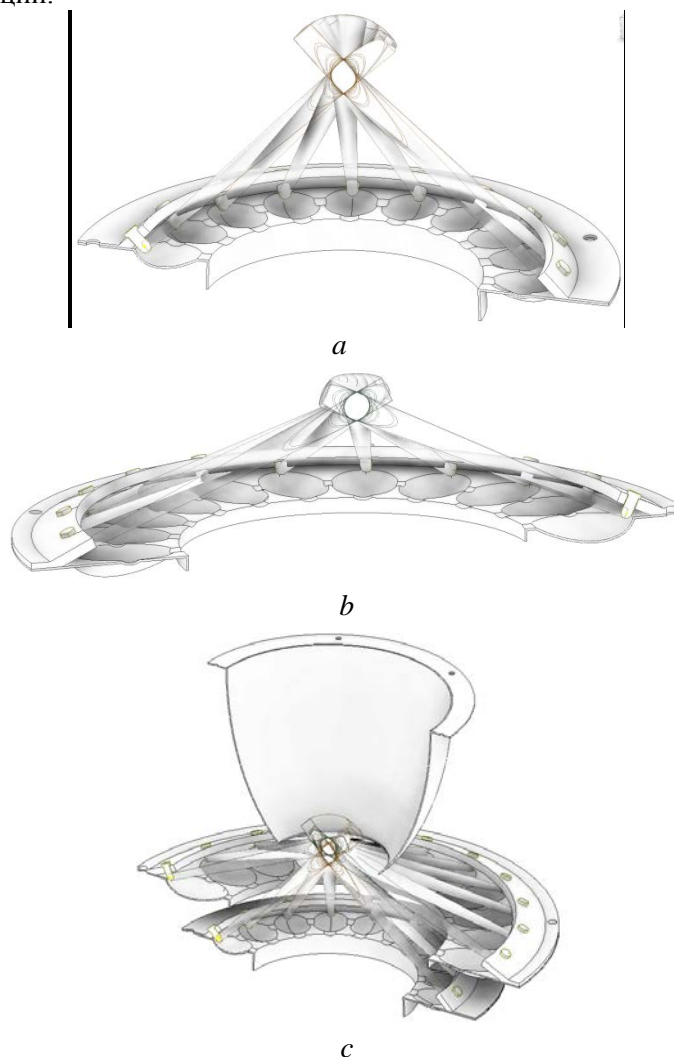


Рисунок 4. Трассировка световых лучей для различных светоизлучающих поверхностей: *a* – сечение второй светоизлучающая поверхности; *b* - сечение третьей светоизлучающая поверхности.

Для изучения влияния технологии изготовления светоизлучающих поверхностей мы предполагали исследовать аналогичные задачи для шероховатых светоизлучающих поверхностей. В этом случае отражение световых лучей от отражателей происходила диффузно.

3. Результаты исследований

Определение собственных частот 3D модели прожектора мы осуществили в программной среде ANSYS Workbench. Большинство собственных частот конструкции находились в диапазоне частот (ультразвук), которые не имеют вибрации, воздействующие на прожектор. В противном случае произошло бы разрушение транспортного средства или строительной техники. Наиболее возможной частотой вибраций, совпадающей с резонансной частотой конструкции есть 2034 Гц. Картина деформаций светоотражающих поверхностей прожектора на частоте 2034 Гц показана на рисунок 5.

Отметим, что колебания конструкции самолёта или судна на частоте 2034 Гц указывают на аварийную ситуацию, предшествующую разрушению транспортного средства. В этом случае эксплуатационные характеристики светотехнического устройства не актуальны. По этой

причине мы считаем, что на штатных режимах эксплуатации строительной техники или транспортных средств светоизлучающие поверхности прожектора на рисунок 1 практически не деформируются.

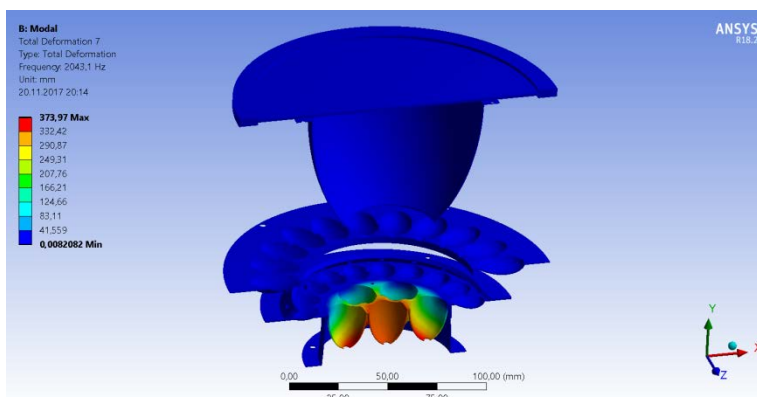


Рисунок 5. Деформации светоотражающих поверхностей прожектора на собственной частоте 2034 Гц.

Распределение интенсивности светового потока на экранах, находящихся на расстоянии от прожектора 5 и 10 метров приведены на рисунок 6. При этом поверхность светоотражающих поверхностей не имеют прожектора не имеет шероховатостей.

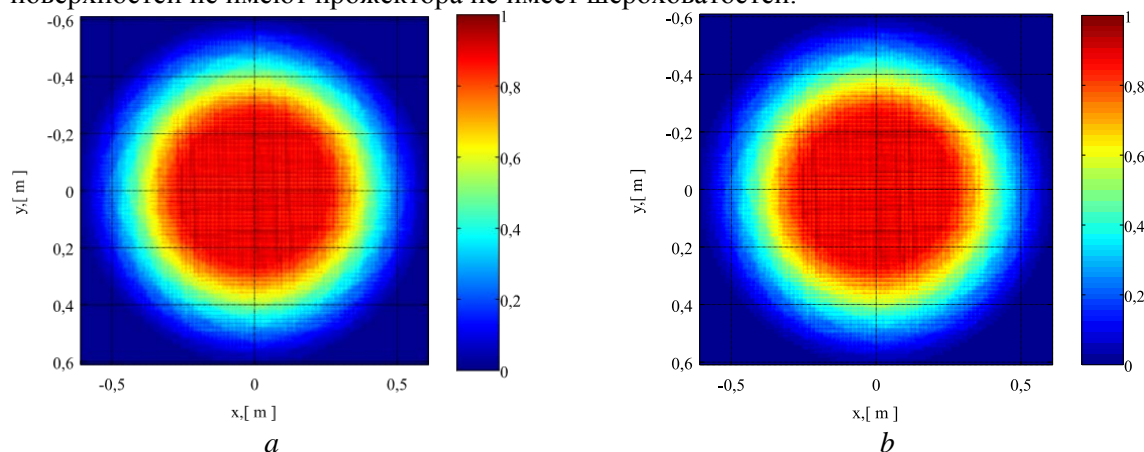


Рисунок 6. Распределение интенсивности светового потока на экранах, находящихся на различных расстояниях для светоизлучающих поверхностей без микронеровностей: *a* – 5 метров, *b* – 10 метров.

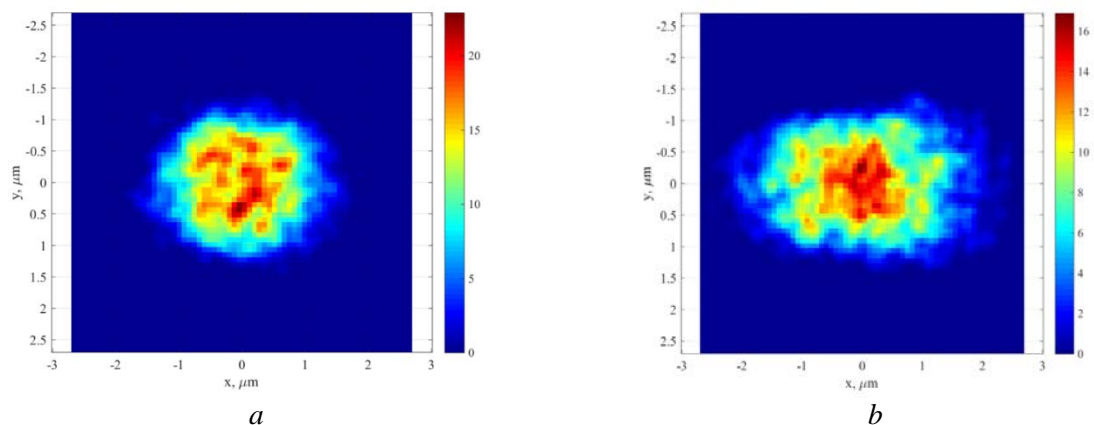


Рисунок 7. Распределение интенсивности светового потока на экранах, находящихся на различных расстояниях для шероховатых светоизлучающих поверхностей с Ra 0,16 мкм: *a* – 5 метров, *b* – 10 метров.

На рисунок 7 показано распределение интенсивности светового потока на экранах, находящихся на расстоянии от прожектора 5 и 10 метров для шероховатых светоизлучающих поверхностей (R_a 0,16 мкм).

4. Заключение

Проведённые нами исследования показали следующее:

1. При эксплуатации транспортных средств и строительной техники в штатных режимах исследуемой конструкции прожектора практически не деформируется на собственных частотах.
2. На частоте вибраций, критической для транспортных средств и строительной техники, соответствующей собственной частоте прожектора (2034) Гц деформируется только первая светоизлучающая поверхность осветительного устройства. Этот дефект может быть преодолён увеличением толщины алюминиевого листа, который используется для изготовления светоотражающих поверхностей.
3. Шероховатость влияет на распределение интенсивности светового потока, а также на трейсинг световых лучей.
4. Исследуемая конструкция прожектора может быть рекомендована для использования в качестве взлётно-посадочной фары самолёта, сигнальных огней судов и для использования на высотных строительных кранах.

5. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства научных организаций (соглашение № 007-ГЗ/ЧЗ363/26) и грантов РФФИ 16-29-09528, 17-47-630164.

6. Литература

- [1] Abulkhanov, S.R. Optimization of strength characteristics of lighting devices aircraft by construction of virtual models / S.R. Abulkhanov, D.S. Goryainov, D.L. Skuratov // Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering. – 2012. – Vol. 36(5). – P. 67-72.
- [2] Raslear, T. Alerting Lights on Locomotives / T. Raslear // Research Results. U.S. Department of Transportation. Federal Railroad Administration. – 2007. – RR07-17. – P. 1-4.
- [3] Volkov, V. LED special purpose lights / V. Volkov // Solid-State Lighting magazine. – 2015. – Vol. 5(37). – P. 60-66.
- [4] Galushchak, V.S. Energy-saving projector lighting for construction sites / V.S. Galushchak // Internet-vestnik VGASU. – 2011. – Vol. 2(16). – 8 p.
- [5] Singer, J.M. LED spotlight including elliptic and parabolic reflectors / J.M. Singer, D. Barnett, S.R. Mangum // Patent US 8403530 B2. 26.03.2013.

The effect of roughness and deformation of the reflecting surfaces of the LED spotlight on its lighting performance

S. Abulkhanov¹, N. Kazanskiy^{1,2}, D. Goryainov³, Y. Strelkov^{1,2}

¹Samara National Research University, Moskovskoye shosse, 34, Samara, Russia, 443086

²Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

³Samara state technical University, Galaktionovskaya street, 141, Samara, Russia, 443100

Abstract. Lighting devices, which are using on airplanes operate under conditions of oscillatory effects in wide frequency range. Technological methods, which are used for manufacturing reflecting surfaces of those devices, are not ideal. These methods affect surfaces by causing micro roughnesses. Both of these factors define the technical and lighting characteristics of lightning devices.

The goal of the article: to formulate recommendations in issue of choices LED searchlights construction and technologies of manufacturing their reflectance surfaces, and, also in issue of components material choice. Following our recommendations will increase the construction resistance to oscillation effects and will reduce the scatter of the technical and lighting characteristics, which defines by micro roughnesses of reflectance surfaces.

Methods: we have built the 3d model of the LED searchlight. For this model was defined the eigen frequencies values of construction. We have modeled the light flow in bounds of geometrical optics in case of roughnesses variety for light reflecting surfaces. Results: investigation of structural rigidity, which was carried out by us on the 3d model of LED searchlight are showing, that, construction of LED device, which was considered, after optimization in corresponding to our recommendations may using as airplane landing headlamp.

Keywords: deformation, roughness, reflective surface, LED Spotlight.