

УДК 629.423.1+621(628.946.11)

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПРОЖЕКТОРА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ANSYS

© 2014 С.Р. Абульханов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

В статье изложены результаты определения собственных частот конструкции прожектора электровоза серии ВЛ с помощью программной системы конечно-элементного анализа ANSYS. Для анализа виброустойчивости конструкции была разработана твёрдотельная модель прожектора, имеющая физико-технические параметры составляющих конструкции и геометрические размеры реального прожектора. В качестве источника света лобового фонаря использовались лампа накаливания и светодиода. Для светодиода сконструирован патрон из керамического материала, предотвращающего тепловые деформации подложки. Количество светодиодов было выбрано, исходя из светотехнических требований к осветительным приборам на Российской железной дороге. Анализ твёрдотельных моделей прожектора, используемого в качестве источника света лампы накаливания и светодиода, показал, что конструкция прожектора со светодиодами имеет вес на 900 граммов больший, чем прожектор с лампой накаливания. Полученные величины собственных частот были сопоставлены с частотами периодических вибраций, которые испытывает железнодорожный подвижной состав. Для частот вибраций, возможных на железнодорожных локомотивах, были определены деформации двух конструкций прожектора, которые показали, что недостатки присущи обеим конструкциям. При использовании в качестве источника света лампы накаливания собственные частоты конструкции способствуют разрушению колбы лампы, как на верхних, так и на низких частотах, присущих спектру вибраций локомотива. В случае использования светодиодов в прожекторе характер деформаций конструкции указывает на необходимость уменьшения массы её компонентов при сохранении необходимой жёсткости. Проведённый анализ позволил выявить направления развития конструкции прожектора, обеспечивающие повышение виброустойчивости прожектора со светодиодным источником света: применение рёбер жёсткости и облегчающих пазов.

Прожектор электровоза, собственные частоты конструкции, безаварийный срок эксплуатации, периодические вибрации, источник света, светодиоды.

Основными источниками вибраций при движении железнодорожного локомотива являются непосредственно транспортное средство, колёса, рельсы и рельсовый путь, согласно данным Решения от 15.07.2011 г. N 710 «О принятии технических регламентов таможенного союза», «О безопасности железнодорожного подвижного состава», «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» и «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта». При этом диапазон частот вибраций, приводящих к повреждениям конструкций (зданий) составляет от 1 до 500 Гц. Наибольшие повреждения конструкций имеют место при низкочастотных вибрациях (частоты от 1 до 150 Гц).

Вибрации всего железнодорожного состава участвуют в формировании спектра колебаний вибраций локомотива. Диапазон спектра колебаний локомотива в этом случае может изменяться только в результате дисперсии вибраций от раз-

личных источников, сформированных вагонами состава. В данной работе будем предполагать, что дисперсия колебаний вибраций незначительна.

Лобовой фонарь электровоза серии ВЛ должен удовлетворять ряду требований, регламентированных нормативными документами. Фонарь должен быть установлен по продольной оси симметрии локомотива. Осевой луч фонаря должен быть направлен параллельно горизонтальной плоскости пути. Номинальная осевая сила света фонаря должна быть $(6,4-9,6) \cdot 10^5$ кд. Схема включения фонаря должна предусматривать возможность включения яркого света, обеспечивающего номинальную осевую силу света, и тусклого света, обеспечивающего силу света в пределах $(0,7-1,2) \cdot 10^5$ кд в соответствии с ГОСТ 12.2.056-81.

Необходимая ориентация светового пятна на экране обеспечивается конструкцией лобового прожектора [1-3]. Опыт эксплуатации лобового прожектора (фо-

наря) показал, что наиболее часто перегорает лампа ПЖ (ТУ 16-87 ИМФР 675000.003 ТУ) на 500 Вт, 50 В, а также лопаается стеклянный отражатель диаметром 370 мм, установленный за лампой ПЖ. Указанные поломки могли быть вызваны колебаниями вибраций.

Указанные требования могут быть стабильно обеспечены только при высокой виброустойчивости конструкции прожектора.

Для определения собственных частот лобового фонаря в программной среде ANSYS использовалась 3D модель, полученная в работе [2]. При этом в твёрдотельной модели не учитывались резьбовые соединения (винты и болты были удалены из модели) по причине отсутствия необходимых вычислительных мощностей. Параметры конечно-элементной сетки на поверхности твёрдотельной модели были выбраны автоматически программой (рис. 1).

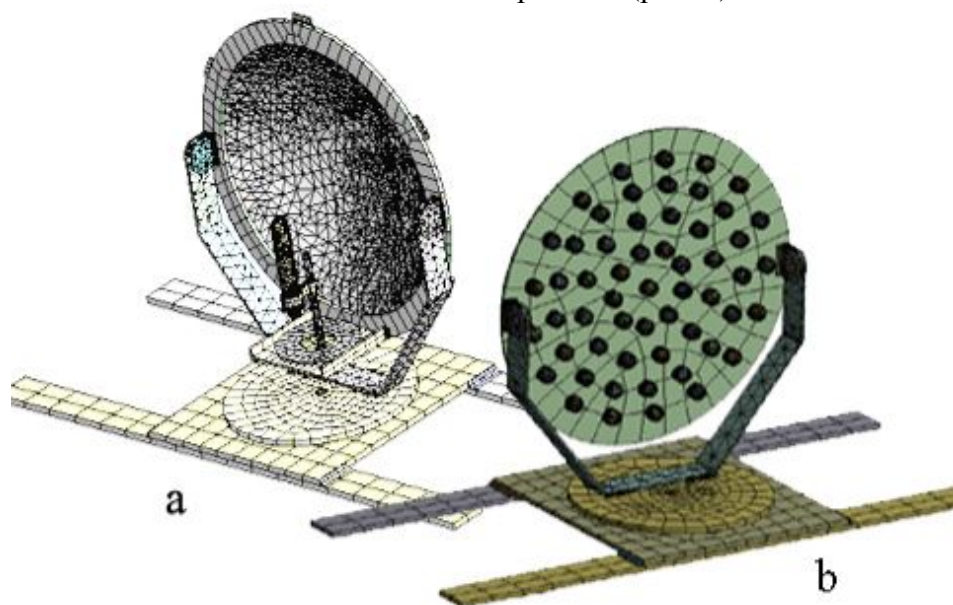


Рис. 1. Конечно-элементная сетка на поверхности твёрдотельной модели лобового прожектора: а – источник света – лампа накаливания; б – источник света – светодиоды

В качестве источников света в прожекторе использовались лампа накаливания и светодиоды с вторичной оптикой [4-7] (рис. 2).

Требования к моделированию определялись правилами проведения вычислительных экспериментов в оптике [8-10]. Проведённое моделирование показало, что в диапазоне частот периодических вибраций от 1 до 500 Гц имеют место наибольшие деформации стеклянного отражателя для собственных частот 22,368; 46,49 и 62,595 Гц. Частота колебаний $f = 46,49$ Гц может соответствовать вибрациям, обусловленным протяжённостью рельсов (25 м), расстоянием между колёсными парами тележки и расстоянием между опорными элементами пути (шпалами).



Рис. 2. Два источника света лобового прожектора железнодорожного локомотива: а – лампа накаливания ПЖ (ТУ 16-87 ИМФР 675000.003 ТУ); б – светодиод с вторичной оптикой

На частоте $f = 95,998$ Гц имеет место деформирование стеклянной колбы лампы ПЖ. При этом отсутствуют деформации стеклянного отражателя лобового фонаря. Для частот, больших максимальной частоты периодических вибраций ($f = 110,9$

Гц [7]), максимальные деформации имеют место на окончании стеклянного баллона лампы ПЖ. Стеклянный отражатель в этом случае деформируется незначительно (рис. 3).

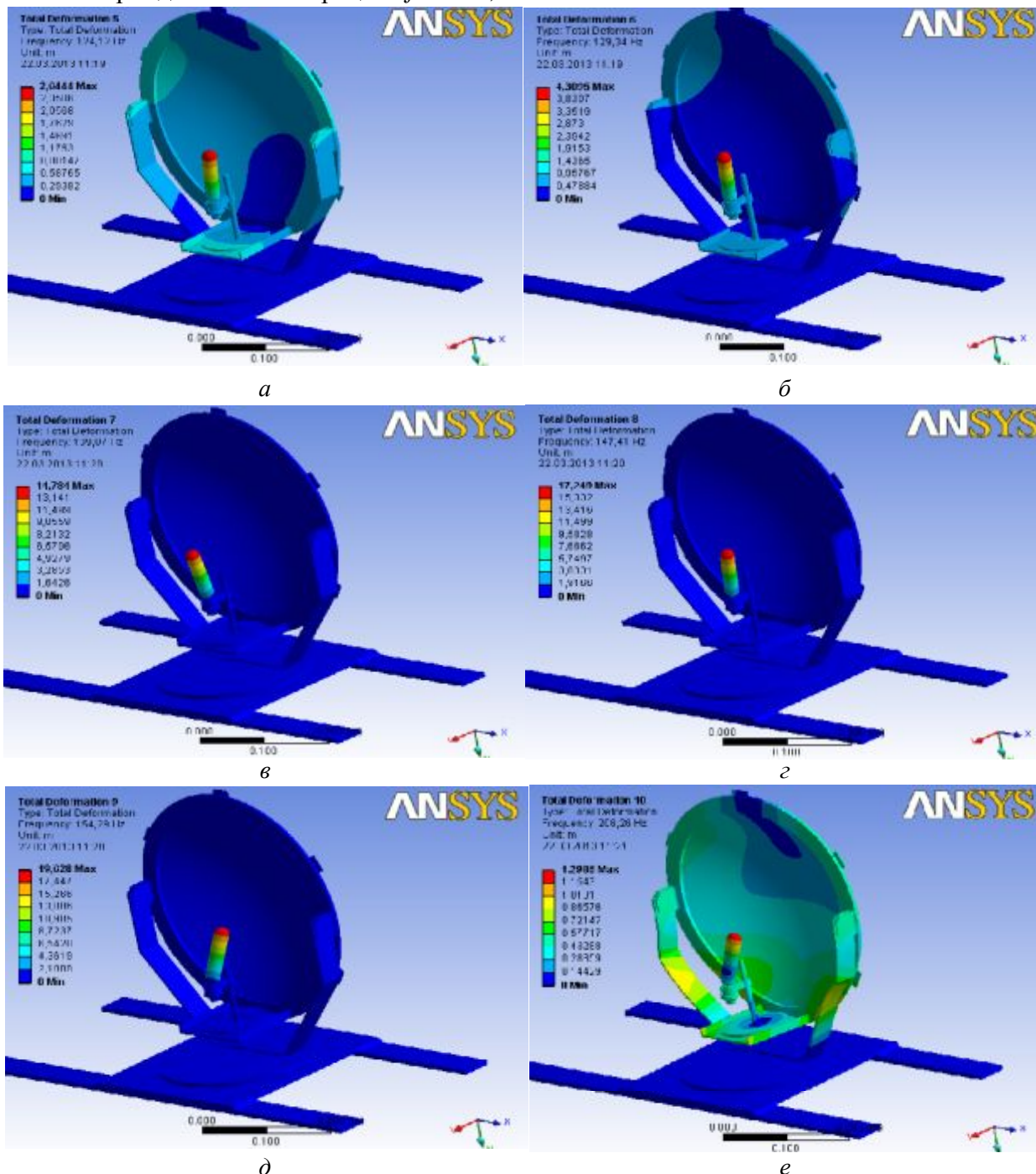


Рис. 3. Колебания конструкции лобового фонаря с лампой накаливания на собственных частотах: $f = 22,368$ Гц (а); $46,49$ Гц (б); $62,595$ Гц (в); $95,998$ Гц (г); $154,29$ Гц (д); $206,26$ Гц (е)

Поскольку эксплуатационный опыт свидетельствует о том, что колба лампы разрушается достаточно часто, то можно предположить, что колебания вибраций с

частотой $f \geq 100$ Гц имеют место на реальной конструкции лобового фонаря. Это возможно при дисперсии периодических колебаний вибраций, при наличии шумов

и переизлученных шумов, а также при увеличении скорости локомотива. Анализ собственных частот конструкции лобового прожектора со светодиодными источниками света показал, что максимальным деформациям подвержены диск, несущий светодиоды, и его кронштейны. При этом диск деформируется на всех частотах, присущих спектру вибраций железнодорожного локомотива, а его кронштейны существенно деформируются на максимальных частотах спектра вибраций. Сле-

дует отметить, что выросла масса прожектора приблизительно на 900 г., при этом диск, несущий светодиоды, был выполнен из алюминиевого сплава Д16Т1. Светотехнические характеристики прожектора при выбранном количестве светодиодов соответствовали регламенту нормативных документов РЖД. Характер деформаций на собственных частотах прожектора со светодиодными источниками света приведен на рис. 4.

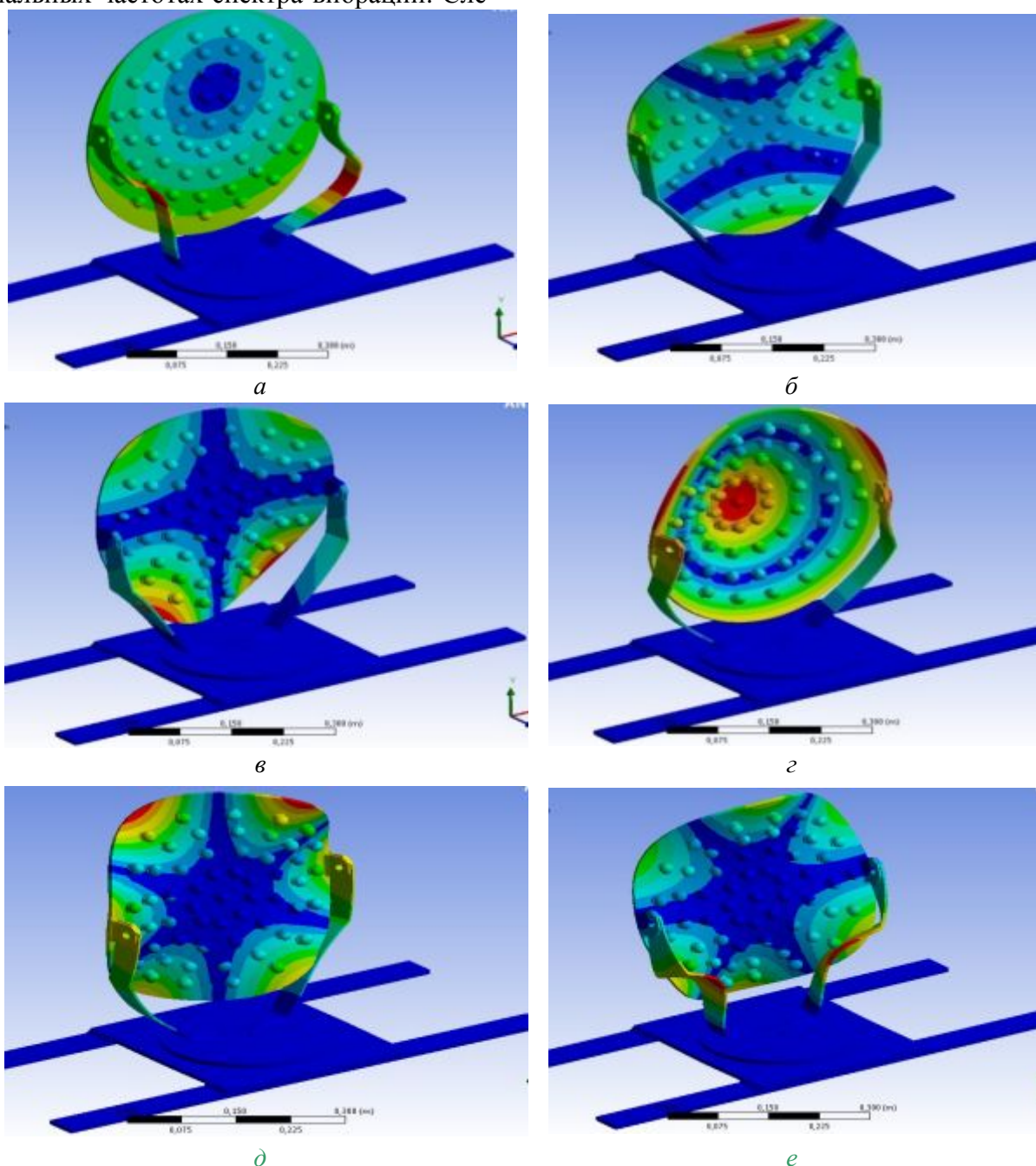


Рис. 4. Колебания конструкции лобового фонаря со светодиодными источниками света на собственных частотах: $f = 146$ Гц (а); 202 Гц (б); 231 Гц (в); 292 Гц (г); 393 Гц (д); 439 Гц (е)

Из рис. 4 видно, что резервом повышения виброустойчивости прожектора со светодиодными источниками света может быть оптимизация количества используемых светодиодов, а также минимизация массы конструкции, которая может быть осуществлена за счёт выполнения в диске, несущем светодиоды, облегчающих отверстий. Для повышения жёсткости кронштейнов, несущих диск со светодиодами, а также радиальной и окружной жёсткости самого диска необходимо использовать в конструкции косынки, откосы и обечайки. Параметры предлагаемых конструкторских мероприятий могут быть определены и оптимизированы по выбранному критерию в программной среде ANSYS.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Разрушение стеклянного отражателя лампы накаливания происходит в диапазоне частот колебаний вибраций [22,368 – 62,595] Гц.

2. Колебания вибраций в диапазоне [22,368 – 62,595] Гц могут быть обусловлены протяжённостью рельсов (25 м), расстоянием между колёсными парами тележки и расстоянием между опорными элементами пути (шпалами).

3. Разрушение стеклянной колбы лампы ПЖ происходит на частотах больше 95,998 Гц.

4. Увеличение ресурса лампы ПЖ может быть достигнуто за счёт изменения конструкции лобового фонаря, а именно за счёт использования высокочастотных демпферов.

5. Существенное увеличение ресурса лобового фонаря может быть достигнуто также за счёт замены лампы накаливания набором мощных светодиодов с использованием для проектирования такого осветительного устройства новых методов и соответствующего программного обеспечения [11-14].

6. Использование светодиодных источников света в конструкции лобового прожектора приводит к необходимости минимизации массы конструкции.

7. Модернизация конструкции лобового прожектора должна включать в себя увеличение жёсткости кронштейнов, несущих диск со светодиодами.

Модернизация конструкции лобового прожектора должна включать в себя оптимизацию количества светодиодов, установленных на диск.

Библиографический список

1. Doskolovich L.L., Kazansky N.L., Kharitonov S.I., Soifer V.A. A method of designing diffractive optical elements focusing into plane areas // *Journal of Modern Optics*. 1996. V. 43, no. 7. P. 1423-1433.
2. Абульханов С.Р. Построение аутентичной 3-D модели лобового фонаря электровоза серии ВЛ // *Вестник СамГУПС*. 2012. № 3(17). С. 81-86.
3. Голуб М.А., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Соيفер В.А. Формирование эталонных волновых фронтов элементами компьютерной оптики // *Компьютерная оптика*. 1990. № 7. С. 3-26.
4. Волков А.В., Казанский Н.Л., Успенцев Г.В. Экспериментальное исследование светотехнических устройств с ДОО // *Компьютерная оптика*. 1999. № 19. С. 137-142.
5. Казанский Н.Л., Соифер В.А., Харитонов С.И. Математическое моделирование светотехнических устройств с ДОО // *Компьютерная оптика*. 1995. № 14-15, ч. 2. С. 107-116.
6. Досколович Л.Л., Казанский Н.Л., Харитонов С.И. Проектирование светотехнических устройств с ДОО // *Компьютерная оптика*. 1998. № 18. С. 91-96.
7. Moiseev M.A., Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L. Design of high-efficient freeform LED lens for illumination of elongated rectangular regions // *Optics Express*. 2011. V. 19, no. S3. P. A225-A233.
8. Голуб М.А., Казанский Н.Л., Сисакян И.Н., Соифер В.А. Вычислительный

эксперимент с элементами плоской оптики // Автометрия. 1988. № 1. С. 70-82.

9. Казанский Н.Л. Исследовательский комплекс для решения задач компьютерной оптики // Компьютерная оптика. 2006. № 29. С. 58-77.

10. Казанский Н.Л. Исследовательско-технологический центр дифракционной оптики // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, № 4(1). С. 54-62.

11. Абульханов С.Р., Лопатин Е.В. Виброустойчивость конструкции лобового фонаря электровоза серии ВЛ // Вестник Транспорта Поволжья. 2013. № 6(42). С. 30-36.

12. Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Soifer V.A., Kharitonov S.I., Perlo P. A DOE to form a line-shaped directivity diagram // Journal of Modern Optics. 2004. V. 51, no. 13. P. 1999-2005.

13. Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Kharitonov S.I., Perlo P., Bernard S. Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram // Journal of Modern Optics. 2005. V. 52, no. 11. P. 1529-1536.

14. Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Bernard S. Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram // Journal of Modern Optics. 2007. V. 54, no. 3-4. P. 589-597.

Информация об авторе

Абульханов Станислав Рафаелевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механической обработки материалов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный ис-

следовательский университет). E-mail: mom@ssau.ru. Область научных интересов: моделирование объектов с поверхностью свободных форм, параметризация шероховатых поверхностей.

OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF A RAILWAY SEARCHLIGHT IN THE ANSYS SOFTWARE ENVIRONMENT

© 2014 S.R. Abulkhanov

Samara State Aerospace University, Samara, Russian Federation

In article results of determination of eigenfrequencies of a design of a searchlight of an electric locomotive of the VL series by means of program system of the final and element analysis of ANSYS are stated. The solid-state model of a searchlight having physics and technology parameters of components of a design and the geometrical sizes of a real searchlight was developed for the analysis of vibrostability of a design. As a light source of a front lamp the incandescent lamp and light-emitting diodes were used. Thus for a light-emitting diode the boss from the ceramic material preventing thermal deformations of a substrate was designed. The quantity of light-emitting diodes was chosen, proceeding from lighting requirements to illuminants on the Russian railroad. The analysis of solid-state models of the searchlight using as a light source the incandescent lamp and light-emitting diodes, showed that the searchlight design with light-emitting diodes has weight on 900 grams bigger than a searchlight with the incandescent lamp. The received sizes of eigenfrequencies were compared with frequencies of periodic vibrations which are tested by the rolling stock. For frequencies of vibrations, possible on railway locomotives, deformations of two designs of a searchlight which showed were defined that shortcomings are inherent in both designs. When using as an incandescent lamp light source eigenfrequencies of a design promote destruction of a flask of a lamp, both on top, and at low frequencies of the fluctuations inherent in a range of vibrations of the locomotive. In case of use of light-emitting diodes in a searchlight nature of deformations of a design indicates the need of reduction of its component weight at preservation of necessary rigidity. The carried-out analysis allowed to reveal the directions of development of a design of the searchlight, vibrostability of a searchlight providing increase with a LED light source: application of edges of rigidity and facilitating grooves.

Electric locomotive searchlight, own frequencies of a design, accident-free term of operation, periodic vibrations, light source, light-emitting diodes.

References

1. Doskolovich L.L., Kazansky N.L., Kharitonov S.I., Soifer V.A. A method of designing diffractive optical elements focusing into plane areas // *Journal of Modern Optics*. 1996. V. 43, no. 7. P. 1423-1433.
2. Abulrhanov S.R. Authentic 3D modeling of the VL electric locomotive head lamp // *Vestnik SamGUPS*. 2012. No. 3(17). P. 81-86. (In Russ.)
3. Golub M.A., Kazansky N.L., Soifer V.A. Formation reference wavefronts of elements of computer optics // *Computer Optics*. 1990. No. 7. P. 3-26. (In Russ.)
4. Volkov A.V., Kazansky N.L., Usplenev G.V. Experimental study of lighting devices with DOE // *Computer Optics*. 1999. No. 19. P. 137-142. (In Russ.)
5. Kazansky N.L., Soifer V.A., Kharitonov S.I. Mathematical modeling of lighting devices with DOE // *Computer Optics*. 1995. No. 14-15, part 2. P. 107-116. (In Russ.)
6. Doskolovich L.L., Kazansky N.L., Kharitonov S.I. Designing lighting devices with DOE // *Computer Optics*. 1998. No. 18. P. 91-96. (In Russ.)
7. Moiseev M.A., Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L. Design of high-efficient freeform LED lens for illumination of elongated rectangular regions // *Optics Express*. 2011. V. 19, no. S3. P. A225-A233.
8. Golub M.A., Kazansky N.L., Sisakyan J.H., Soifer V.A. Computational experiment with plane optical elements // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. 1988. V. 24, no. 1. P. 78-89.
9. Kazanskiy N.L. Research complex for solving computer optics // *Computer Optics*. 2006. No. 29. P. 58-77. (In Russ.)
10. Kazanskiy N.L. Research and Technology Center of diffractive optics // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2011. V. 13, no. 4(1). P. 54-62. (In Russ.)
11. Abulkhanov S.R., Lopatin E.V. Structural vibrostability // *Vestnik Transporta Povolzh'ya*. 2013. No. 6(42). P. 30-36. (In Russ.)
12. Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Soifer V.A., Kharitonov S.I., Perlo P. A DOE to form a line-shaped directivity diagram // *Journal of Modern Optics*. 2004. V. 51, no. 13. P. 1999-2005.
13. Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Kharitonov S.I., Perlo P., Bernard S. Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram // *Journal of Modern Optics*, 2005. V. 52, no. 11. P. 1529-1536.
14. Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L., Bernard S. Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram // *Journal of Modern Optics*. 2007. V. 54, no. 3-4. P. 589-597.

About the author

Abulkhanov Stanislav Rafayevich, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of machining of materials department, Samara State Aerospace Universi-

ty. E-mail: mom@ssau.ru. Area of Research: modeling objects with surface free forms, parameterization rough surfaces.