

УДК 629.423.1+621(628.946.11)

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ПРОЖЕКТОРА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ANSYS**

© 2014 С.Р. Абульханов, Д.Л. Скуратов

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

Поступила в редакцию 25.03.2014

В статье изложены результаты определения собственных частот конструкции прожектора электровоза серии ВЛ с помощью программной системы конечно-элементного анализа ANSYS. В качестве источника света лобового фонаря использовались лампа накаливания и светодиоды. Полученные величины собственных частот были сопоставлены с частотами периодических вибраций, которые испытывает железнодорожный подвижной состав. Проведенный анализ позволил выявить направления развития конструкции прожектора, обеспечивающие повышение виброустойчивости прожектора с различными источниками света.

Ключевые слова: *прожектор, электровоз, безаварийный срок эксплуатации, периодические вибрации, светодиод*

Основными источниками вибраций при движении железнодорожного локомотива являются непосредственно транспортное средство, колеса, 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 различных источников, сформированных вагонами состава. В данной работе будем предполагать, что дисперсия колебаний вибраций незначительна.

Лобовой фонарь электровоза серии ВЛ должен удовлетворять ряду требований,

Абульханов Станислав Рафаелевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механической обработки материалов. E-mail: tom@sgau.ru

Скуратов Дмитрий Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механической обработки материалов

регламентируемых нормативными документами. Фонарь должен быть установлен по продольной оси симметрии локомотива. Осовой луч фонаря должен быть направлен параллельно горизонтальной плоскости пути. Номинальная осовая сила света фонаря должна быть $(6,4-9,6) \cdot 10^5$ кд. Схема включения фонаря должна предусматривать возможность включения яркого света, обеспечивающего номинальную осовую 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 (фонаря) показал, что наиболее часто перегорает лампа ПЖ (ТУ 16-87 ИМФР 675000.003 ТУ) на 500 Вт и 50 В, а также лопаются 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 твердотельной модели не учитывались резьбовые соединения (винты и болты были удалены из модели) по причине отсутствия необходимых вычислительных мощностей. Параметры конечно-элементной сетки на поверхности твердотельной модели были

выбраны автоматически программой (рис. 1). 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]. Проведенное 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 протяженностью рельсов (25 м), расстоянием между колёсными парами тележки и расстоянием между опорными элементами пути (шпалами). На частоте $f=95,998$ Гц имеет место деформирование стеклянной колба 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. Стеклоанный отражатель в этом случае деформируется незначительно (рис. 3). 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.

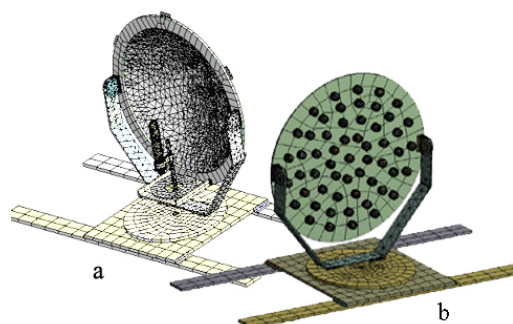


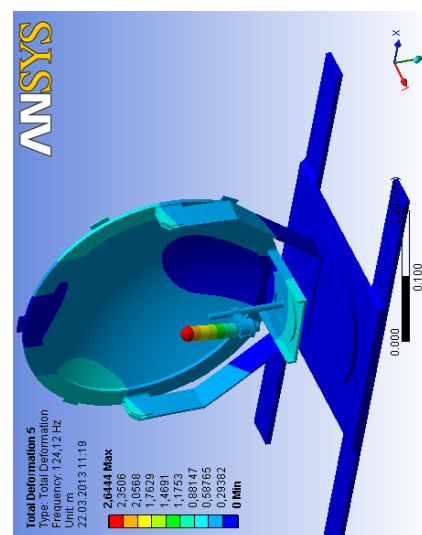
Рис. 1. Конечно-элементная сетка на поверхности твердотельной модели лобового прожектора: а – источник света – лампа накаливания; б – источник света – светодиоды

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. Следует отметить, что вырос вес прожектора приблизительно на 900 г., при этом диск несущий

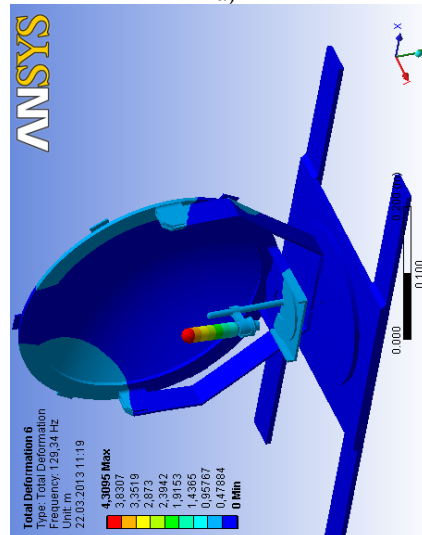
светодиоды был выполнен из алюминиевого сплава Д16Т1. Светотехнические характеристики прожектора при выбранном количестве светодиодов соответствовали регламенту нормативных документов РЖД. Характер деформаций на собственных частотах прожектора со светодиодными источниками света приведен на рис. 4.



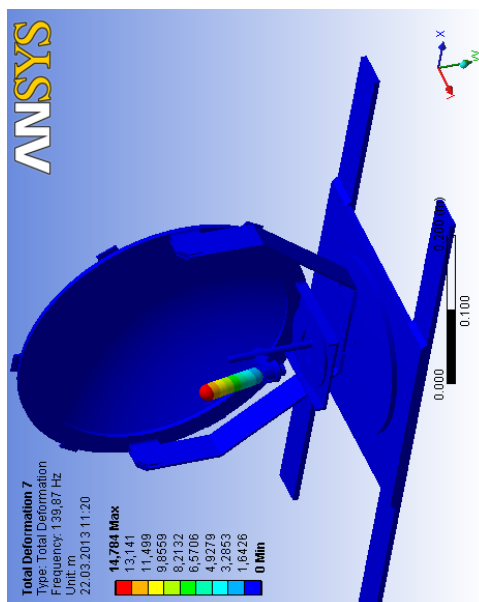
Рис. 2. Два источника света лобового прожектора железнодорожного локомотива: а) лампа накаливания ПЖ; б) светодиод с вторичной оптикой



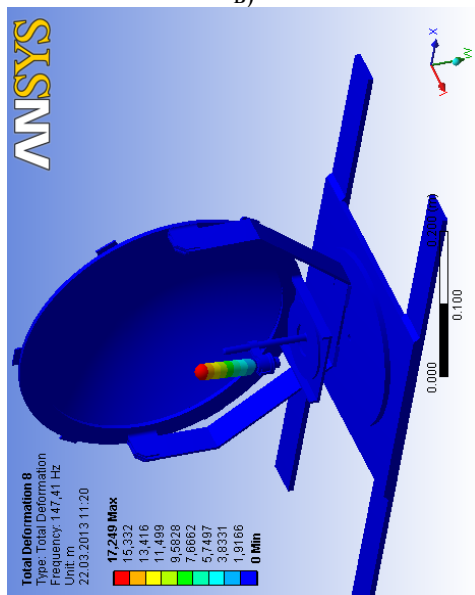
а)



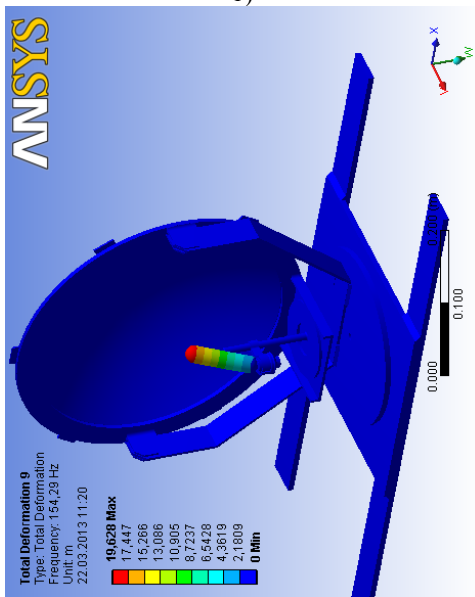
б)



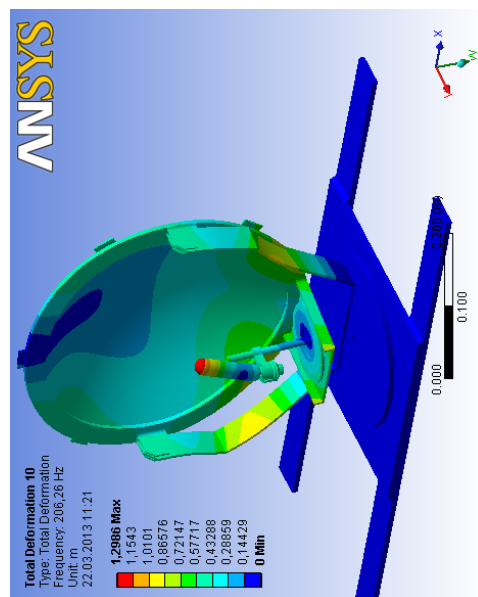
в)



г)



д)

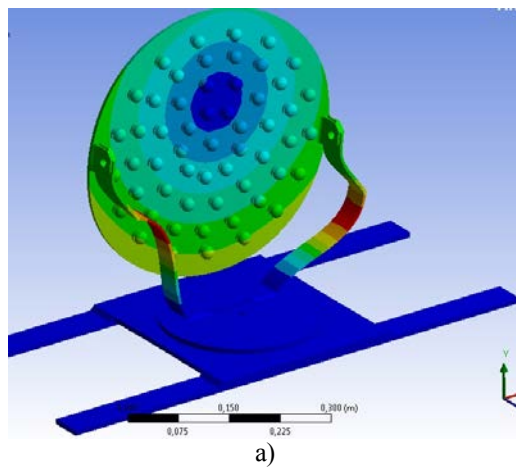


е)

Рис. 3. Колебания конструкции лобового фонаря с лампой накаливания на собственных частотах:

а) $f=22,368$ Гц; б) $f=46,49$ Гц; в) $f=62,595$ Гц;
г) $f=95,998$ Гц; д) $f=154,29$ Гц; е) $f=206,26$ Гц

Из рис. 4 видно, что резервом повышения виброустойчивости прожектора со светодиодными источниками света может быть оптимизация количества используемых светодиодов, а также с помощью минимизации веса конструкции, которая может быть осуществлена за счёт выполнения в диске, несущем светодиоды, облегчающих отверстий. Для повышения жесткости кронштейнов, несущих диск со светодиодами, а также радиальную и окружную жесткости 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.



а)

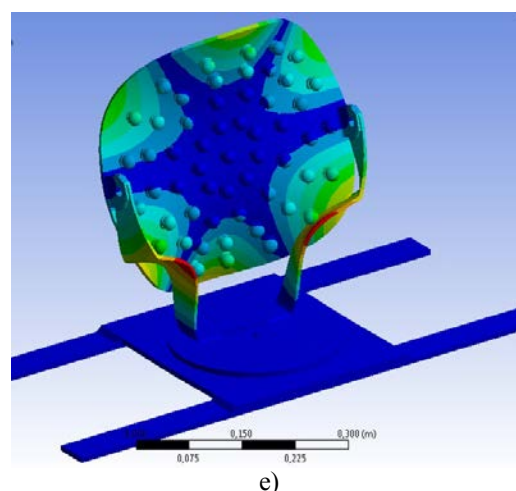
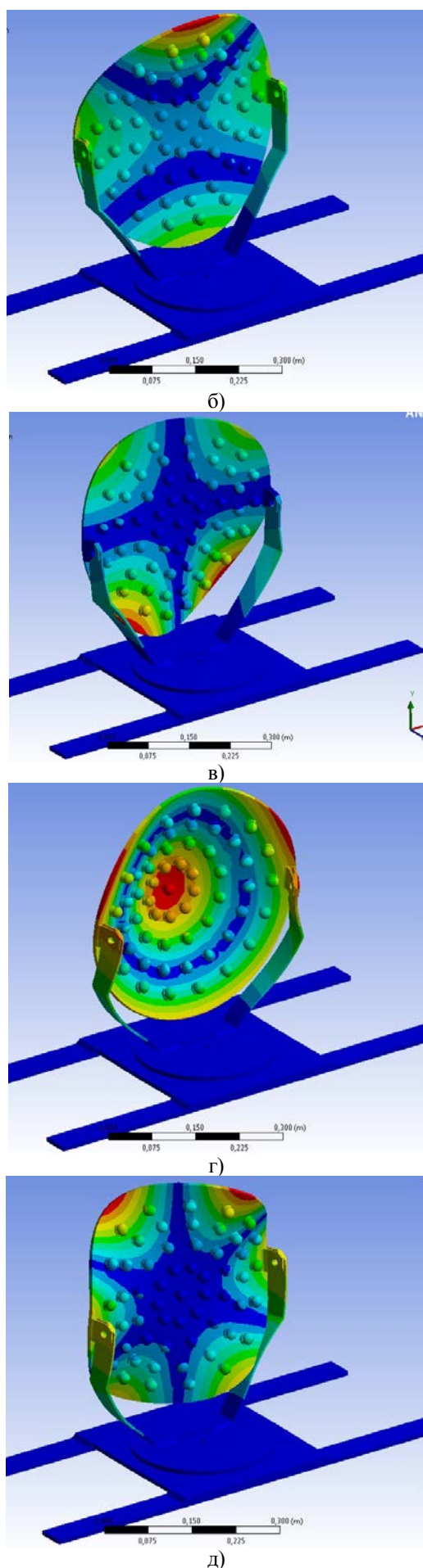


Рис. 4. Колебания конструкции лобового фонаря с лампой накаливания на собственных частотах: а) $f=146$ Гц; б) $f=202$ Гц; в) $f=231$ Гц; г) $f=292$ Гц; д) $f=393$ Гц; е) $f=439$ Гц

Выводы:

1. Разрушение стеклянного отражателя лампы накаливания происходит в диапазоне частот колебаний вибраций (22,368-62,595) Гц. Колебания вибраций в этом диапазоне могут быть обусловлены протяженностью рельсов (25 м), расстоянием между колёсными парами тележки и расстоянием между опорными элементами пути (шпалами).

2. Разрушение стеклянной колбы лампы ПЖ происходит на частотах больших 95,998 Гц.

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

4. 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].

5. Использование светодиодных источников света в конструкции лобового прожектора приводит к необходимости минимизации веса конструкции.

6. Модернизация конструкции лобового прожектора должна включать в себя увеличение жесткости кронштейнов, несущих диск со светодиодами, увеличение радиальной жесткости диска, несущего светодиоды, а также должна включать в себя оптимизацию количества светодиодов, установленных на диск.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Doskolovich, L.L. A method of designing diffractive optical elements focusing into plane areas / L.L. Doskolovich, N.L. Kazansky, S.I. Kharitonov, V.A. Soifer // Journal of Modern Optics. 1996. Vol.43, № 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. Формирование эталонных волновых фронтов элементами компьютерной оптики / М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, И.Н. Сисакян, В.А. Соифер // Компьютерная оптика. 1990. № 7. С. 3-26.
4. Волков, А.В. Экспериментальное исследование светотехнических устройств с ДОО / А.В. Волков, Н.Л. Казанский, Г.В. Успенцев // Компьютерная оптика. 1999. № 19. С. 137-142.
5. Казанский, Н.Л. Математическое моделирование светотехнических устройств с ДОО / Н.Л. Казанский, В.А. Соифер, С.И. Харитонов // Компьютерная оптика. 1995. № 14-15. Ч. 2. С. 107-116.
6. Досколович, Л.Л. Проектирование светотехнических устройств с ДОО / Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский, С.И. Харитонов // Компьютерная оптика. 1998. № 18. С. 91-96.
7. Moiseev, M.A. Design of high-efficient freeform LED lens for illumination of elongated rectangular regions / M.A. Moiseev, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy // Optics Express. 2011. Vol. 19, № S3. P. A225-A233.
8. Голуб, М.А. Вычислительный эксперимент с элементами плоской оптики / М.А. Голуб, Н.Л. Казанский, И.Н. Сисакян, В.А. Соифер // 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. Том 13, № 4. С. 54-62.
11. Абульханов, С.Р. Виброустойчивость конструкции лобового фонаря электровоза серии ВЛ / С.Р. Абульханов, Е.В. Лопатин // Вестник Транспорта Поволжья. 2013. № 6 (42), ноябрь-декабрь. С. 30-36.
12. Doskolovich, L.L. A DOE to form a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, V.A. Soifer et al. // Journal of Modern Optics. 2004. Vol. 51, № 13. P. 1999-2005.
13. Doskolovich, L.L. Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S.I. Kharitonov et al. // Journal of Modern Optics. 2005. Vol. 52, № 11. P. 1529-1536.
14. Doskolovich, L.L. Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram / L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskiy, S. Bernard // Journal of Modern Optics. 2007. Vol. 54, № 4. P. 589-597.

OPTIMIZATION THE DESIGN OF RAILWAY SEARCHLIGHT IN ANSYS PROGRAM

© 2014 S.R. Abulkhanov, D.L. Skuratov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

In article results of determination the own frequencies of a searchlight design of electric locomotive VL series by means of ANSYS final element analysis program are stated. As a light source of front lamp the incandescent lamp and light-emitting diodes were used. The received sizes of own frequencies were compared with frequencies of periodic vibrations which are tested by the railway vehicles. The carried-out analysis allowed to reveal the directions of searchlight design development, providing increase of vibrostability with various light sources.

Key words: searchlight, electric locomotive, accident-free term of operation, periodic vibrations, light-emitting diodes

Stanislav Abulkhanov, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Mechanical Machining of
Materials Department. E-mail: mom@sgau.ru
Dmitriy Skuratov, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of the Mechanical Machining of Materials Department