

Особенности проектирования осветительных устройств со светодиодными источниками света

С.Р. Абульханов^а, Д.С. Горяинов^б

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

^б Самарский государственный технический университет, 443100, ул. Молодогвардейская, 244, Самара, Россия

Аннотация

Эксплуатация осветительных устройств со светодиодными источниками света выявила ряд особенностей формирования углового распределения силы света. Использование нескольких светодиодов приводит к неравномерной яркости светоизлучающей поверхности осветительного устройства. При эксплуатации осветительного устройства в условиях вибраций могут возникать условия, когда на экране появляются и длительное время наблюдаются зоны повышенной или пониженной яркости. Авторы на модели установили условия возникновения неосвещаемых участков экрана применительно к световому потоку, образуемому железнодорожным прожектором со светодиодными источниками света.

Ключевые слова: светодиод; осветительные устройства; железнодорожный прожектор; численное моделирование; трассировка лучей; распределение интенсивности.

1. Введение

Повсеместное применение светодиодных источников света позволило выявить ряд их недостатков. Организации, реализующие светодиодные осветительные устройства [1], а также работники железнодорожного транспорта сообщают о ряде недостатков [2], например, светофоров со светодиодными источниками света:

- «фантомный эффект» (на восходе и на закате у водителей транспортных средств появляются точки, линии или фрагменты поверхностей повышенной или пониженной яркости);
- размытие границ освещаемых объектов;
- эффект «горячих точек», неравномерность освещения («пятнистость») и плохая цветопередача [3].

Объясняются эти недостатки техническими причинами.

Между тем на железнодорожном транспорте либо наблюдатель, либо источник света испытывают вибрации. В медицинской литературе существует понятие инерционность человеческого зрения – время отклика глаза на световое раздражение. Из медицинских источников известно, что время отклика глаза на раздражение зависит от многих причин:

- возраст наблюдателя [4];
- вибрации наблюдателя [5-6]. Установлено, что при вертикальных вибрациях человека от 7 до 75 Гц глаз фиксирует размытие контура и иллюзорные колебания наблюдаемого объекта [6];
- относительная скорость движения наблюдателя или наблюдаемого объекта [7];
- пространственная ориентация взгляда и головы наблюдателя [8].

По нашему мнению, все эти обстоятельства указывают, что недостатки светодиодного освещения фиксируются каждым человеком индивидуально. Именно поэтому мы не обнаружили документированных изображений «пятнистости» или размытости освещаемого светодиодным источником света объекта.

Лобовой железнодорожный прожектор испытывает вибрации, частотный спектр которых изменяется от 1 до 150 Гц [9]. При этом подложка, несущая светодиоды, воспринимает вибрации через кронштейны в виде металлических лент. Кронштейны выполняют роль волноводов. Мы считаем: одной из причин «пятнистости» освещаемых зон могут быть стоячие волны на поверхности подложки, несущей светодиоды. В результате этого на поверхности подложки на участках, соответствующих пучностям стоячих волн, световой поток от отдельного светодиода имеет наименьшее пространственное отклонение от своего первоначального положения. На участках, соответствующих узлам стоячих волн, световой поток от светодиода имеет наибольшую амплитуду пространственных отклонений. Участки на экране, освещаемые светодиодами, находящимися в зонах узлов стоячих волн, могут иметь низкий уровень освещённости. Это обстоятельство вместе с низким индексом цветопередачи (Ra) [10] может привести к тому, что отдельные участки на экране будут либо затемнены или иметь выделяющийся белый цвет («фантом») по сравнению с общим фоном освещённого экрана.

Цель статьи – предлагается метод определения условий возникновения колебаний на поверхности подложки со светодиодами, приводящих к появлению на освещаемом экране затемнённых или аномально ярких участков.

2. Постановка задачи

Определение условия возникновения деформаций светоизлучающей поверхности, приводящих к неравномерной освещённости экрана, проводилось на твердотельной модели лобового прожектора [11], оснащенного светодиодами (рис. 1). Физико-технические характеристики (модуль упругости, коэффициент Пуассона и плотность) каждой составляющей 3d модели прожектора соответствовали физико-техническим характеристикам элементов конструкции лобового прожектора, используемого РЖД [11]. Источник колебаний подложки – два кронштейна, которые

расположены симметрично относительно друг друга. Подложка, несущая светодиоды, в конструкции прожектора изготовлена из алюминиевого листа толщиной 3 мм с перфорированной поверхностью. Контакт подложки с двумя кронштейнами происходит по шероховатым поверхностям. Авторам известно, что преломление волн акустического диапазона частот зависит от следующих обстоятельств:

- величины приложенного к контакту статического давления и упругих характеристик контактирующих тел [12];
- размеров микронеровностей контактирующих поверхностей [13];
- угла падения волны на шероховатый контакт [14].

При этом амплитуда преломлённой продольной волны всегда меньше амплитуды падающей волны на контакт шероховатых поверхностей [12].

Спектр частот возможных колебаний подложки соответствовал спектру железнодорожных вибраций [9].

Нам не известно на какой частоте происходит формирование стоячей волны на поверхности подложки. Мы полагали, что для возбуждения колебаний поверхности подложки больших амплитуд необходимо использовать несколько гармоник колебаний. Для увеличения амплитуды колебаний, которые испытывает поверхность подложки, мы считаем, что частоты гармоник колебаний должны быть кратными или близкие к кратным. Нам также не известны фазы колебаний поверхности подложки, формируемые каждым кронштейном (рис. 1). Мы считаем, что для увеличения величины деформаций поверхности подложки фазы гармоник колебаний подложки должны или совпадать по величине и знаку.

Для деформаций подложки, испытывающей вибрации, в рамках геометрической оптики строились трассы световых лучей, формируемые светодиодами прожектора. Трассы световых лучей позволяют определить распределение интенсивности света в плоскости, перпендикулярной оси симметрии светоизлучающей подложки.

Светодиоды оснащены вторичной оптикой [15].

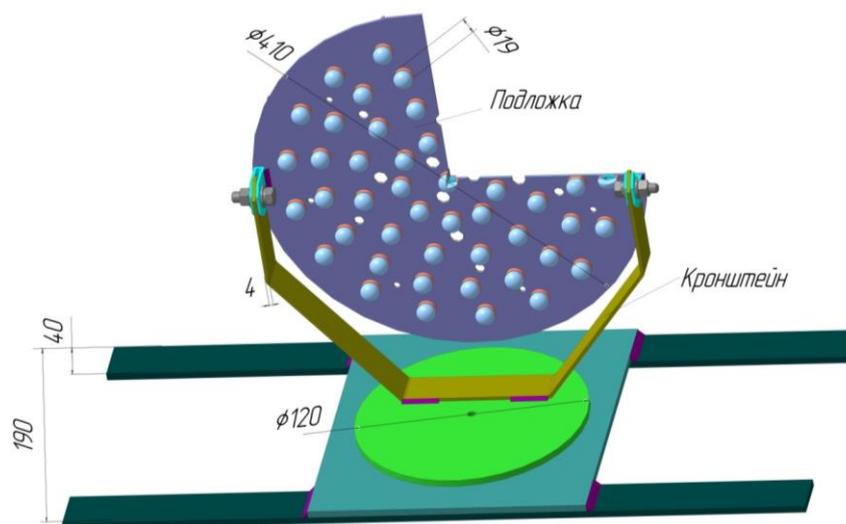


Рис. 1. 3d модель железнодорожного прожектора, оснащённого светодиодами.

3. Методика проведения

При определении деформаций подложки мы полагали:

- одинаковый характер микронеровностей контактирующих поверхностей со стороны двух кронштейнов и со стороны подложки, несущей светодиоды;
- одинаковые величины приложенного к контакту статического давления;
- одинаковые упругие характеристики контактирующих тел для обоих кронштейнов.

Деформации подложки на частотах железнодорожных вибраций определялись средствами программной среды ANSYS WORKBENCH. Нами рассматривались следующие частоты железнодорожных вибраций: 4; 8; 12; 16; 20; 26 Гц (рис. 2). Частота 26 Гц является резонансной для конструкции прожектора [9].

Трассировка лучей световых потоков каждого светодиода, укрепленного на деформируемой подложке, была реализована в программной среде Matlab. На рис. 3 показано рассчитанное в разработанной программе распределение интенсивности света в плоскости, перпендикулярной оси симметрии недеформированной подложки и отстоящей от подложки на расстоянии 10 м.

Отклик модели прожектора на воздействие вибраций мы определяли через определение наибольшей амплитуды деформаций и через определение угла фазы конструкции по осям X, Y, Z (рис. 2). Мы считали, что наиболее протяжённые элементы конструкции имеют наибольшие деформации. Для рассматриваемой модели прожектора [9] самый протяжённый элемент его конструкции – подложка. По нашему мнению, причина возникновения сдвига по фазе наличие демпфирования конструкции. На рис. 4 показан отклик по оси X конструкции прожектора на вибрации. На рис. 5 показан отклик по оси Y конструкции прожектора на вибрации. На рис. 6 показан отклик по оси Z конструкции прожектора на вибрации.

Мы полагали: каждая гармоника частотного спектра вибраций прожектора имела один угол фазы.

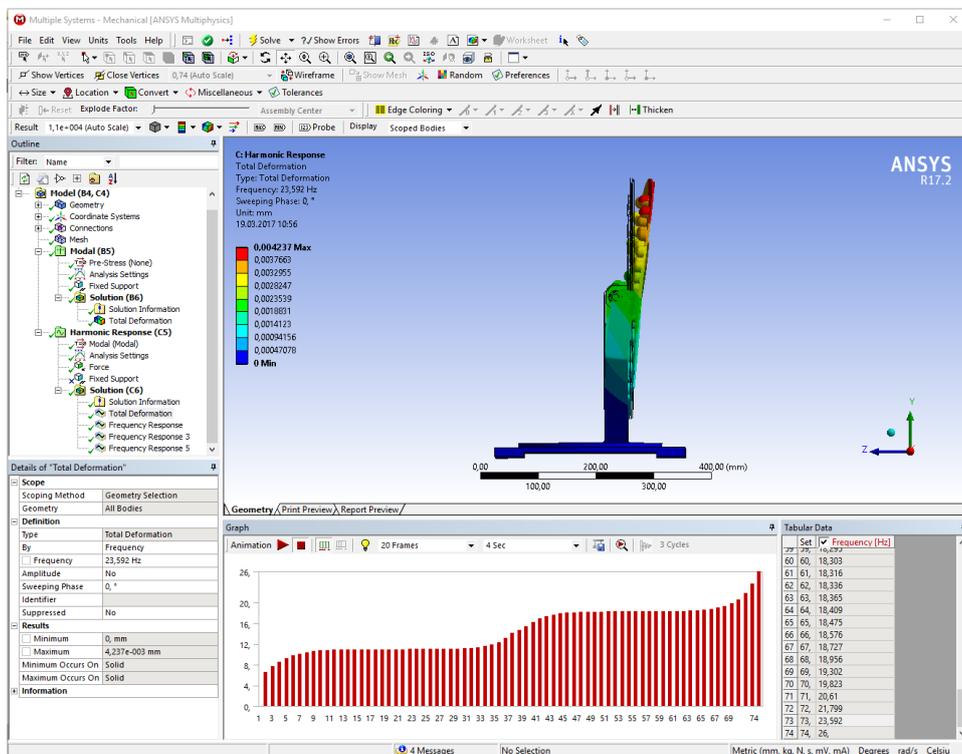


Рис. 2. Амплитуда деформаций подложки прожектора на различных частотах (ось X соответствует шагам решения).

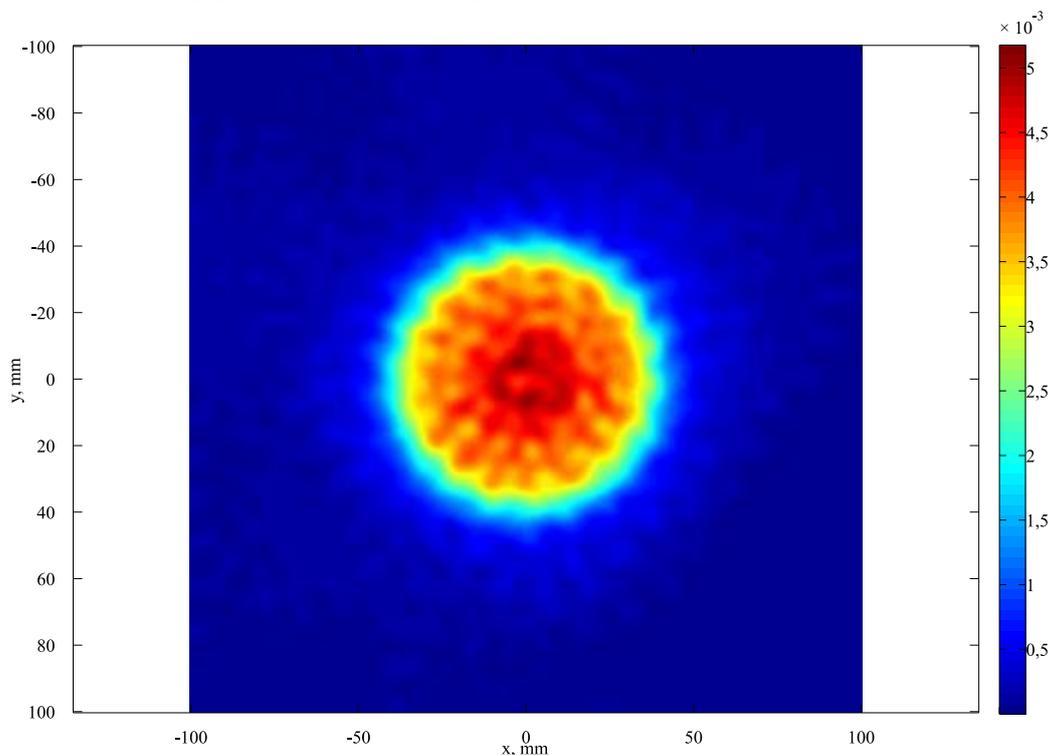


Рис. 3. Распределение интенсивности света в плоскости, перпендикулярной оси симметрии прожектора с перфорированной подложкой, в статике на расстоянии 10 м.

Мы считаем, что деформации поверхности подложки по оси Z есть причина неравномерного распределения интенсивности света, формируемого светодиодами прожектора. В этом случае изменение кривизны поверхности подложки приводит к изменению пространственной ориентации оси светового потока, генерируемого каждым светодиодом. При определённых деформациях по оси Z поверхности подложки, находящейся под светодиодами, формируемый прожектором световой поток будет иметь неравномерное распределение интенсивности света.

Деформации по осям X и Y приводят к смещениям и поворотам светодиодов на поверхности подложки. По нашему мнению, величина таких деформаций незначительно влияет на распределение интенсивности света, генерируемого светодиодами. Мы не рассматривали влияние деформаций подложки по осям X и Y на светотехнические характеристики светодиодным прожектором.

Для определения гармоник частотного спектра вибраций, приводящих к неравномерному распределению интенсивности света, формируемого прожектором, мы следовали следующему алгоритму:

- 1). Выбираем угол фазы (Phase Angle) колебаний всей конструкции прожектора;

- 2). Из частотного спектра вибраций выбираются ряд кратных частот;
 - 3). Из выбранного ряда формируются различные наборы по 2, 3, 4 и 5 частот;
 - 4). Из этих наборов частот выбираются только те наборы, которые имеют углы фаз одного знака, соответствующие максимальным деформациям конструкций (рис. 7).
 - 5). Если для выбранного набора частот существует частота, для которой угол фазы имеет противоположный знак в отличие от других частот набора, то такой набор частот мы не рассматривали;
 - 6). Для отобранных наборов частот и для выбранного фазового угла всей конструкции прожектора мы определяли деформацию поверхности подложки;
 - 7). Для определённых деформации подложки (соответствующих различным наборам частот вибраций и фазе колебаний конструкции прожектора) мы определяли трассировку световых лучей, генерируемых светодиодами, и распределение интенсивности света на экране;
 - 8). Изменяем угол фазы колебаний всей конструкции прожектора и повторяем пункты 2-7;
 - 9). При исчерпании рассматриваемых углов фазы мы выбирали такой набор частот вибраций и угла фазы, при которых распределение интенсивности света в плоскости экрана имеет наибольший разброс.
- Нами рассматривались следующие величины углов фазы колебаний прожектора: 0; 90°; 180°; 270°. Мы выбрали следующие частоты вибраций конструкции прожектора: 4; 8; 12; 16; 20; 26 Гц. В качестве верхней границы рассматриваемого частотного диапазона мы выбрали резонансную частоту (26 Гц). Мы полагаем, что все рассматриваемые гармоники имели одну фазу из ряда: 0; 90°; 180°; 270°. Количество рассматриваемых углов фазы и частот колебаний конструкции прожектора мы ограничили в связи с большим объёмом вычислений.

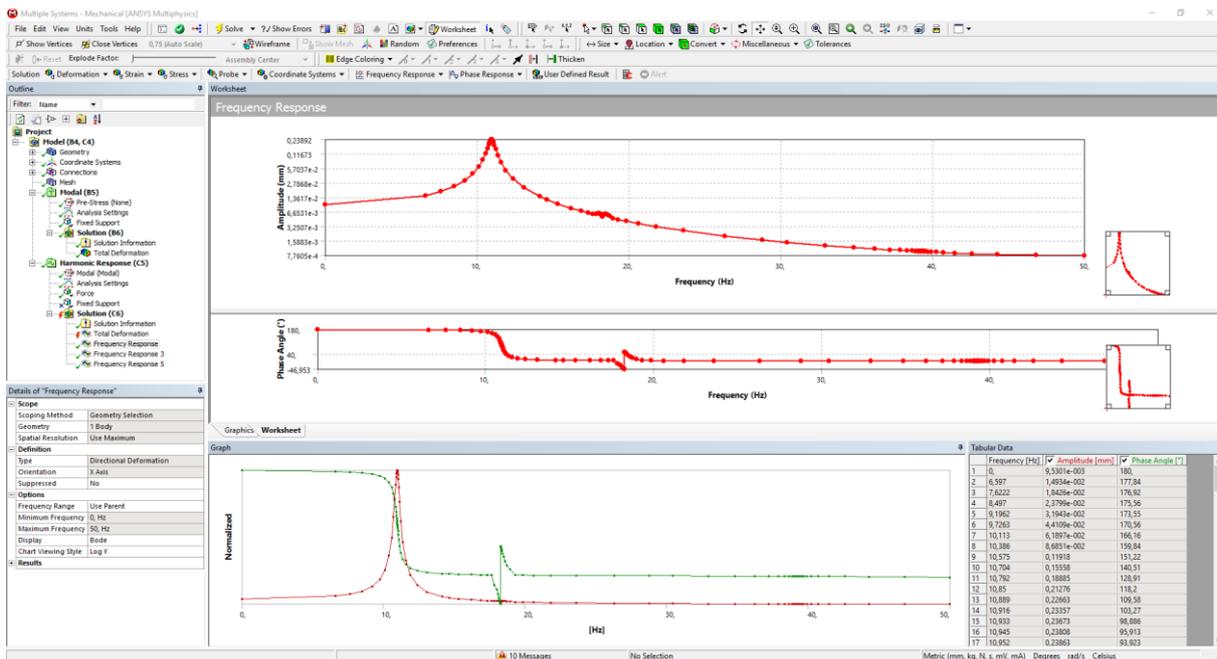


Рис. 4. Отклик конструкции прожектора на вибрационное воздействие по оси X.

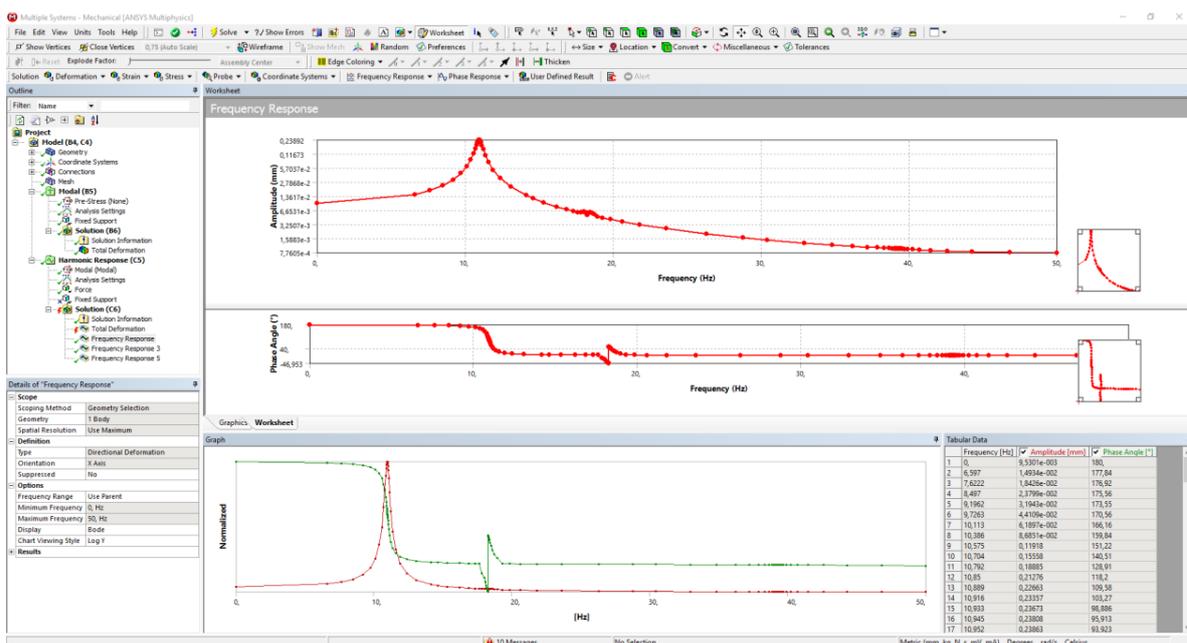


Рис. 5. Отклик конструкции прожектора на вибрационное воздействие по оси Y.

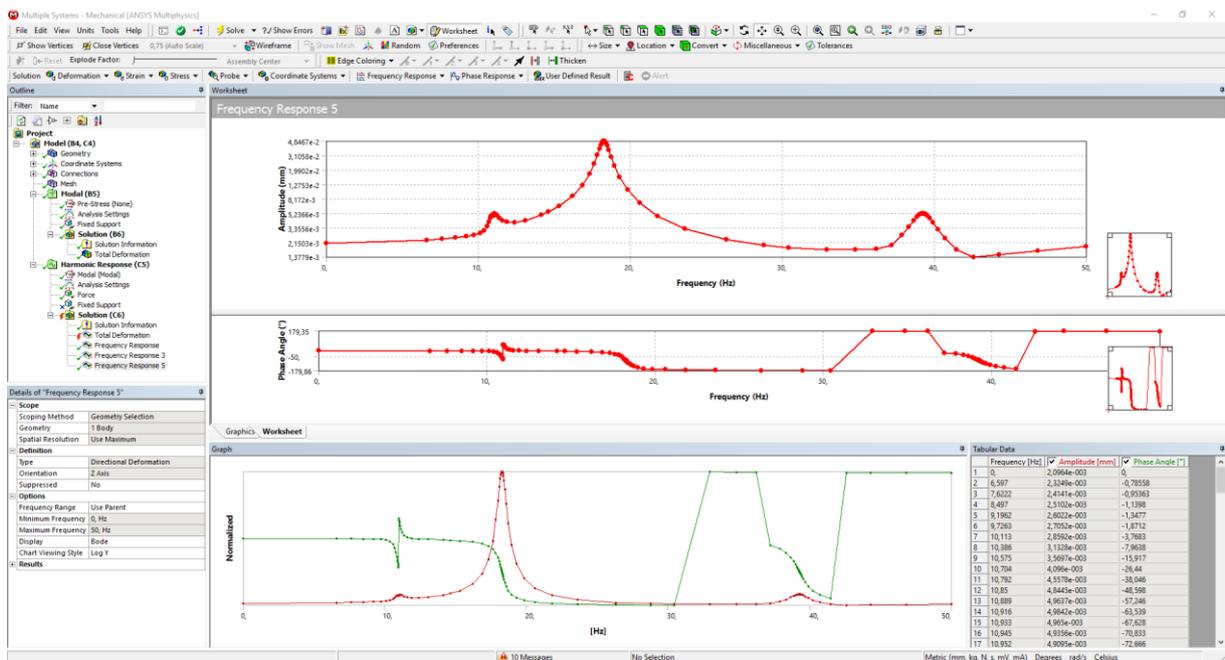


Рис. 6. Отклик конструкции прожектора на вибрационное воздействие по оси Z.

4. Анализ результатов численного моделирования вибрационных деформаций

Проведённые численные испытания показали, что наибольшее отклонение от осесимметричного распределения интенсивности света (рис. 3) имеют место при угле фазы колебаний 270° и при частотах 16, 20 и 26 Гц. На рис. 7 показано распределение интенсивности света в плоскости, перпендикулярной оси симметрии подложки прожектора на расстоянии 10 м. На рис. 8 показана визуализация трассировки световых лучей протяжённостью 10 м. Мы предполагаем, что возможны другие варианты деформации подложки, при которых прожектор формирует на экране неравномерное распределение интенсивности света. Для обнаружения таких деформаций подложки необходимо:

- увеличить количество рассматриваемых углов фазы колебаний модели конструкции прожектора;
- увеличить количество гармоник частотного спектра вибраций, воздействующих на модель конструкции прожектора;
- рассматривать гармоники частотного спектра вибраций с различными углами фазы.

Мы не можем на основании полученных результатов утверждать, что на найденных частотах поверхность подложки колеблется одна или система стоячих волн. Мы предполагаем, что часть поверхности подложки может колебаться как стоячая волна, но для этого необходимо продолжить исследования.

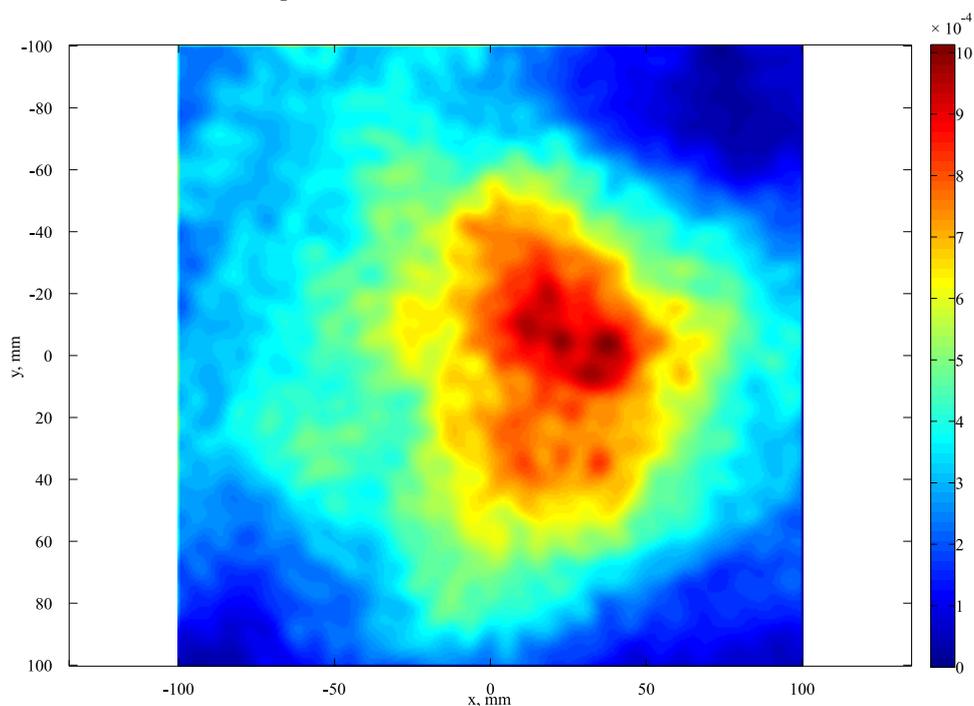


Рис. 7. Распределение интенсивности света в плоскости, перпендикулярной симметрии прожектора оси при колебании кронштейнов на частоте 92 Гц, на расстоянии 10 м.

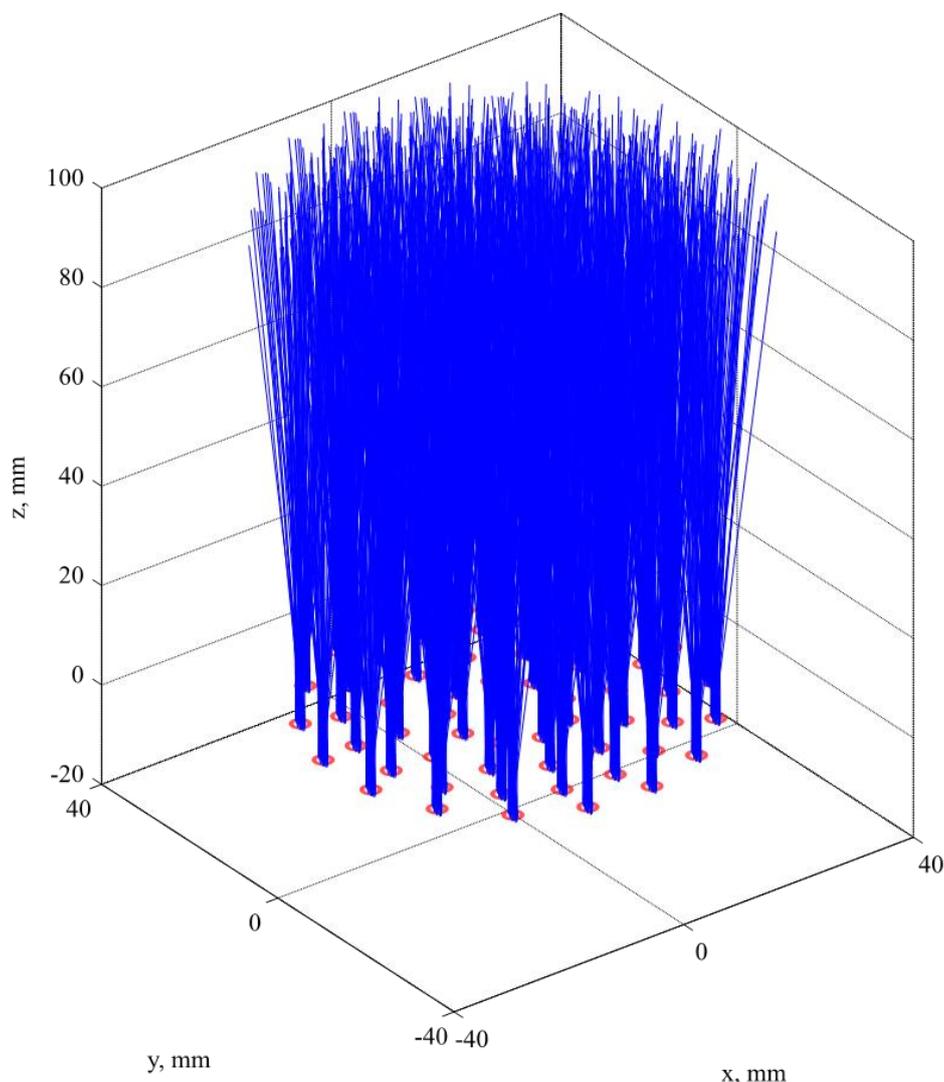


Рис. 8. Визуализация трассировки световых лучей протяжённостью 10 м.

Частота 26 Гц близка по величине к критической частоте слияния мельканий 25 Гц [16]. Колебания подложки на этой частоте по нашему мнению могут привести к стробоскопическому эффекту. Благодаря инерционности зрения человек-наблюдатель может видеть на экране распределение интенсивности света, соответствующее только одному из полупериодов колебаний подложки с частотой 26 Гц. Это обстоятельство означает, что на экране появятся участки с повышенной или пониженной яркостью.

Мы считаем необходимо отметить: появление на экране участков с повышенной или пониженной яркостью зависит от человека – наблюдателя. Человек обладает индивидуальной восприимчивостью к вибрациям, к относительной скорости освещаемого объекта, к частоте слияния мельканий и т.д. [4-8, 16]. Мы полагаем – именно по этой причине есть свидетельства работников, эксплуатирующих светодиодные прожекторы, о размытии границ освещаемых объектов, о эффекте «горячих точек» и неравномерности освещения («пятнистость»). При этом нет фотографий этих явлений на прожекторах железнодорожного транспорта.

Приведённые обстоятельства по нашему мнению говорят о том, что принципы проектирования светотехнических устройств с точечными источниками света, работающих в условиях вибраций, должны отличаться от принципов проектирования светотехнических устройств с одним источником света.

5. Заключение

Проектирование осветительных устройств с точечными источниками света, работающих в условиях вибраций, должно включать рассмотрение следующих конструкторских задач:

- стойкость конструкции к воздействию вибраций;
- стойкость светоизлучающей поверхности, несущей точечные источники света, к воздействию гармоника с частотой равной критической частоте слияния мельканий.

Выполнение этих условий повысит равномерность распределения интенсивности света на освещаемом экране. Это обстоятельство увеличит безопасность эксплуатации, например, железнодорожных локомотивов.

Авторы предполагают продолжить работы в этом направлении с целью разработки конструкторских и технологических решений, снижающих появление неравномерного распределения интенсивности света.

Литература

- [1] The Complete GUIDE to. CCTV LIGHTING. RAYTEC [Elektronic resource]. – Access mode: www.raytecctv.com
- [2] Mynbaev, K.D. Technical use of LED devices. Manual / K.D. Mynbaev. - St. Petersburg: NIUITMO, 2016. – 54 p.
- [3] Light Shaping Diffuser Overview [Elektronic resource]. – Access mode: <http://www.luminitco.com/products/light-shaping-diffusers> (19.03.2017)
- [4] Owsley, C. Aging and vision / C. Owsley // *Annual Review of Vision Science* - 2011, Vol. 51(13). – P. 1610–1622. doi: 10.1146/annurev-vision-111815-114550
- [5] Griffin, M.J. Levels of whole-body vibration affecting human vision / M.J. Griffin // *Aviat Space Environ Med.* – 1975, Vol. 46(8). – P.1033-1040.
- [6] Peli, E., García-Pérez, M.A. Motion perception during involuntary eye vibration / E. Peli, M.A. Garcia-Pérez // *Exp Brain Res.* – 2003, Vol. 149(4). – P. 431-438. DOI: 10.1007/s00221-003-1383-y
- [7] Chapmana, B.B., Corneila, B.D. Properties of human eye-head gaze shifts in an anti-gaze shift task / B.B. Chapmana, B.D. Corneila // *Vision Research.* – 2008, Vol. 48(4). - P. 538–548. DOI: 10.1016/j.visres.2007.11.014
- [8] Crane, B.T. Coordinates of Human Visual and Inertial Heading Perception / B.T. Crane // *PLoS ONE.* – 2015, Vol. 10(8), - P. e0135539. DOI: 10.1371/journal.pone.0135539
- [9] Abulkhanov, S. R. Vibration resistance of headlight design for electric locomotive // *Computer Optics and Nanophotonics.* – 2015. – Vol. 1490. - P. 112-121.
- [10] Miller, K. Visual experiment by definition of a preferable saturation of color / K. Miller, Y. Ono, M. Feyn, E.I. Rozovskiy // “Light & Engineering” Journal. – 2015. – 5. – P.12-18.
- [11] Abulkhanov, S.R., Goryainov, D. S. Upgraded Railway Front Searchlight Design Plastic Deformations by its Vibrations with Resonance Frequencies // *Key Engineering Materials.* – 2016. - Vol. 684. – P. 111-119.
- [12] Korobov, A.I. Influence of pressure upon nonlinear reflection of elastic waves from border of two firm environments / A.I. Korobov, N.V. Shirgina, A.I. Kokshayskiy // *AKUSTICHESKIY ZHURNAL.* – 2015. – Vol. 61(2). – P. 182-190. DOI: 10.7868/S0320791915020070
- [13] Sibiryakov, E.B. Method of boundary elements, rough surface, elastic stationary oscillation / E.B. Sibiryakov // *Interexpo GEO- Sibir.* – 2016, Vol. 2. – P. 265-270.
- [14] Zagray, N.P. Refraction and deformation of a bunch of acoustic waves on limit of the section of two environments / N.P. Zagray // *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences.* – 2006. - 12. – P. 73-78.
- [15] 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. - Vol. 19. № S3. – P. A225-A233. DOI: 10.1364/OE.19.00A225.
- [16] Zheleznikova, O.E. Research on the state of the peripheral part of the visual organ in the conditions of led lighting / O.E. Zheleznikova, A.N.Zhadyaev, I.V. Blentsov // *Innovative views of young scientists.*— 2016. — Vol. 94(4). — P. 129-135.