

УДК 628.978+620.17+004.942

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЧНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПУТЁМ ПОСТРОЕНИЯ ИХ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

© 2012 С. Р. Абульханов<sup>1</sup>, Д. С. Горяинов<sup>1</sup>, Д. Л. Скуратов<sup>2</sup><sup>1</sup>Самарский государственный технический университет<sup>2</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет

В статье рассмотрена возможность построения цифровой модели поверхности рассеивателя фары, аутентичной реальному рассеивателю осветительного прибора летательного аппарата, с помощью современных технических средств. Аутентичность построенной виртуальной модели и реального объекта предполагает максимально близкое совпадение не только геометрических размеров, но и физико – технических свойств. Использование аутентичной 3-D модели в различных САД – системах позволяет не только прогнозировать эксплуатационные свойства реального объекта, но и оптимизировать его конструкцию с применением различных критериев.

*Аутентичная твёрдотельная модель, рассеиватель осветительного устройства летательного аппарата, САМ – система, измерительные машины.*

Современные программные средства моделирования различных физических процессов позволяют ставить задачу о получении 3-D объектов практически аутентичных исходным деталям, поверхностям и т. д. Результаты моделирования физических процессов могут быть адекватными реальным природным процессам только в том случае, если объект моделирования максимально близок реальному не только по своим физическим свойствам, но и по геометрическим параметрам. Аутентичность здесь следует понимать, как отсутствие различий между реальным и природным объектом, критичных по отношению к прочностным свойствам.

Поскольку природные объекты в абсолютном своём большинстве имеют неканонические формы, т. е. граница природного объекта не является суперпозицией легко формализуемых поверхностей, таких как плоскость, конус, сфера и т. д., то актуальной задачей является построение с помощью специальных средств поверхностей, аппроксимирующих с заданной точностью свободную форму объекта.

Известен опыт использования программного обеспечения NX [1] при проектировании конструкции светотехнических изделий, таких как

фонари уличного освещения и передние автомобильные фары [2]. Но информации об исследовании и прогнозировании эксплуатационных свойств рассеивателей световых приборов летательных аппаратов в зависимости от их физико-технических свойств, индивидуальных форм и геометрических размеров в пределах допуска не приводится.

В соответствии с ГОСТ 21658-76 «Освещение и световая сигнализация самолётов и вертолёт» летательный аппарат имеет до 21 наружных и 13 внутренних осветительных приборов. В наиболее экстремальных условиях эксплуатируется наружное осветительное и светосигнальное оборудование, предназначенное для освещения пространства вокруг самолёта (рис. 1) и конструктивно выполняемое в виде фар и прожекторов.

Наружное светотехническое оборудование летательного аппарата (ЛА) предназначено для освещения пространства перед самолётом при взлёте, посадке, рулёжке, для освещения кромки крыла самолёта или освещения узла заправки и конструктивно выполняется в виде фар и прожекторов [3]. На поверхность рассеивателя внешнего источника света летательного аппарата воздействуют вибрации, перепад температур, давление набегающего потока воздуха, в котором могут

присутствовать абразивные микрочастицы, излучения и другие факторы. инфракрасное и ультрафиолетовое

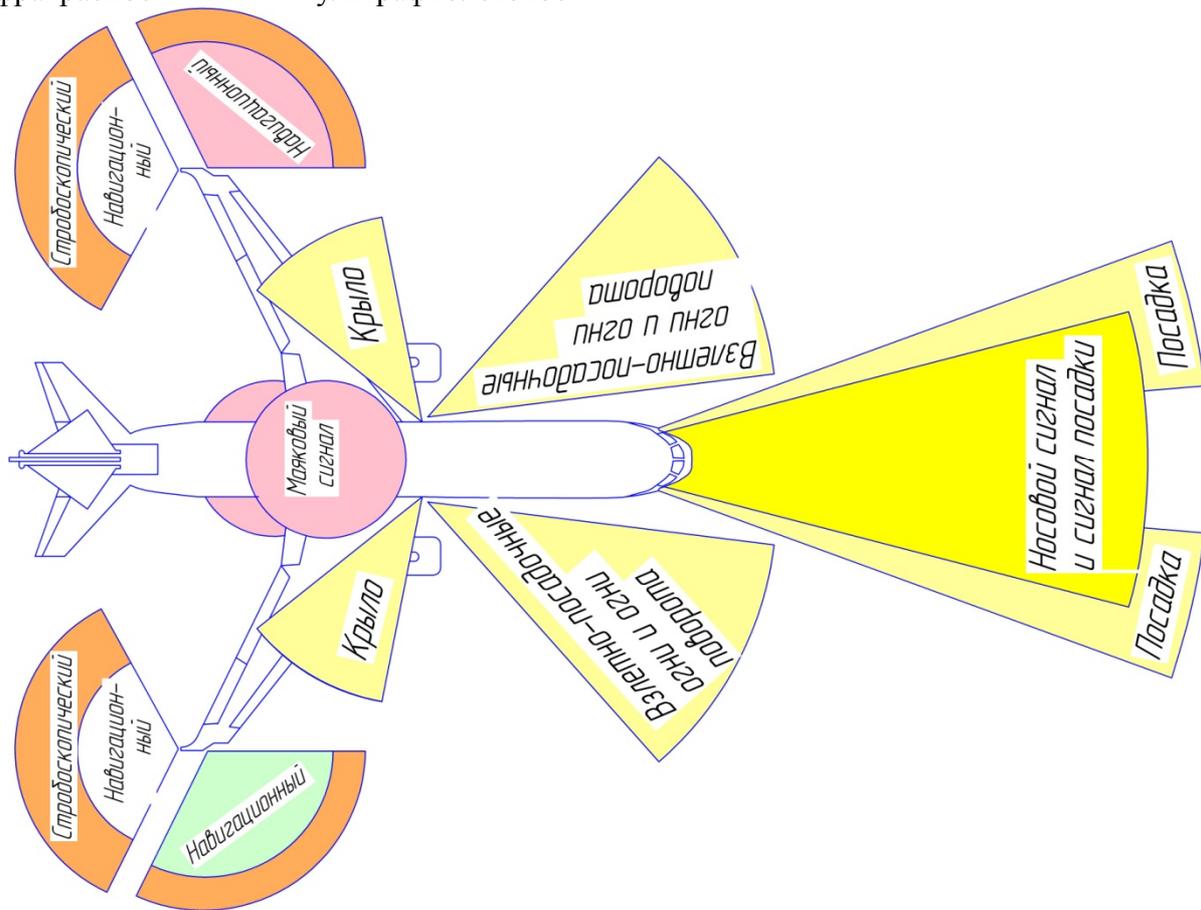


Рис. 1. Навигационные и сигнальные огни современного самолёта

По этой причине осветительные приборы имеют лампы, колбы которых заполнены инертным газом, а сама колба имеет большую толщину и выполнена из сверхтвёрдого стекла, легированного цинком и вольфрамом [4]. Для контроля за состоянием источников света и всего светотехнического устройства разработаны нормативные документы разного уровня компетенции, например, ГОСТ Р 54350-2011 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний».

Конструкция внутренних осветительных устройств современных летательных аппаратов также подлежит модернизации в связи с появлением на самолётах беспереплётных фонарей, т. е. выполнения остекления кабины пилота истребителя цельнолитным (например, самолёты F-16 и F-22 (США), J-20 (КНР) и отечественный самолёт МиГ-21Ф-13). Такая конструкция фонаря кабины увеличивает визуальный обзор лётчика и

аэродинамическое качество планера самолёта, но при этом она имеет ряд недостатков, один из которых - блики на внутренней поверхности фонаря. Осветительные приборы в кабине лётчика служат источником отражённых бликов на внутренней поверхности остекления фонаря, особенно при больших уровнях яркости свечения. В то же время попытки лётчика снизить уровень яркости приводят к тому, что слабый уровень освещённости затрудняет считывание и контроль показаний пилотажно-навигационных индикаторов. Наличие бликов способствует повышению вероятности расстройств пространственной ориентировки пилотов в полёте, что, по мнению американского аналитика Джеффри В. МакКарти [5], в 83% случаев заканчивается гибелью лётчика. Это вторая после пилотажных перегрузок лидирующая причина авиакатастроф.

Освоение современными производствами технологии склеивания

между собой пластин из силикатного или (и) органического стёкол привело к появлению гетерогенных оптически прозрачных материалов, которые в настоящее время начинают широко использоваться для остекления военных самолётов и вертолётов.

Появление новых марок фторакрилатного и силикатного стёкол, поликарбанатных пластиков (высокопрочных, безосколочных, лёгких и теплостойких СО-140А, ВОС-2 и СО-150А), высокотеплостойких фторакрилатных органических стёкол Э-2 и СО-200 делают актуальной задачу оптимизации форм и размеров рассеивателя осветительного прибора с позиций минимизации его массы при обеспечении необходимого уровня прочностных характеристик его конструкции.

В НТЦ АВТОВАЗа в программной среде САПР реализуют сквозную технологию проектирования фар автомобиля, изготавливаемых на автогиганте. Сквозное проектирование предполагает построение 3-D модели светотехнического изделия и разработку технологической оснастки и технологии изготовления пресс-форм [6]. Однако отсутствует информация о возможности оптимизации форм светотехнических изделий, направленной на повышение

эксплуатационных свойств, например, рассеивателя автомобильной фары.

Известны работы, посвящённые разработке программных сред, рассчитывающих и визуализирующих траекторию движения светового луча в различных средах [7,8]. Однако данные программные продукты не предоставляют возможность оптимизации конструкции светотехнического устройства для достижения необходимых прочностных, усталостных и светотехнических характеристик.

Для прогнозирования эксплуатационных свойств внешних светотехнических приборов, а также светотехнических устройств, находящихся внутри кабины летательных аппаратов, средствами САМ - систем необходимо построить 3-D модель, например, рассеивателя фары или прожектора.

Модель поверхности источника света внешних осветительных приборов летательных аппаратов была построена с использованием инструментального микроскопа УИМ – 21 (ГОСТ 8074—82 «Инструментальный микроскоп»). В качестве источника света рассматривалась лампа-фара самолётная ЛФЛ 27-450+250-2 производства ОАО «Искра» (Украина) (рис. 2).

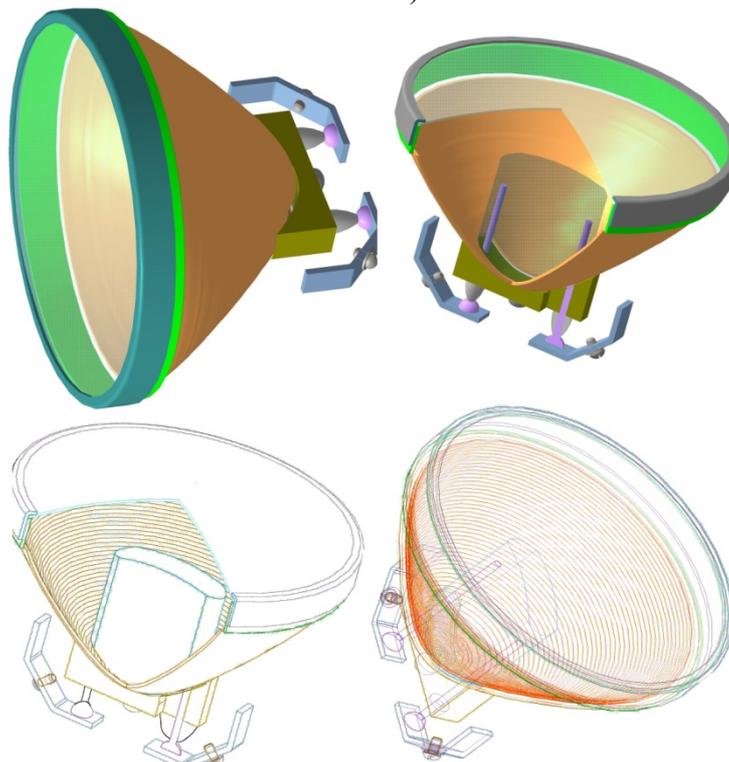


Рис. 2. Модель лампы-фары самолётной ЛФЛ 27-450+250-2

Рассеиватель авиационной фары, находящийся внутри кабины ЛА и исключающий возможность возникновения бликов на внутренней поверхности беспереплётных фонарей кабины пилота, должен иметь свободную форму, которая не является суперпозицией широко используемых в технике поверхностей (плоскость, сфера, цилиндр и конус). Рассеиватели свободных форм широко используются на современных автомобилях. Опыт разработки подобных рассеивателей для освещения кабины самолёта не известен. По этой причине в качестве физического объекта, для которого строилась виртуальная модель, был выбран рассеиватель передней фары автомобиля «Калина».

Для построения виртуального объекта – рассеивателя использовалась программная среда NX и SolidWorks. Для построения виртуальной модели, максимально близкой реальному объекту – рассеивателю осветительной фары, была использована измерительная машина DELTA 3408. Для построения поверхности в зонах

поднутрения поверхностей рассеивателя, недоступных для измерительного щупа машины DELTA 3408, использовалась «рука», позволяющая с помощью чувствительного щупа определять координаты точек, принадлежащих изучаемой поверхности (Micro Scribe – 3D<sup>TM</sup> CMS-D-SYS СЭ International Corporation Made in USA) [9].

Твёрдотельная модель фары имела не только максимально близкие наружную и внутреннюю поверхности оригинальной фары, но вдоль периметра центральной части рассеивателя фары был выполнен опоясывающий цилиндр определённой высоты  $h$  ( $h \in [6-12\text{мм}]$ ). На внутренней поверхности опоясывающего цилиндра были выполнены периодические риски, имеющие в поперечном сечении прямоугольник. Эти риски являются рёбрами жёсткости рассеивателя и одновременно выполняют роль светоотражателей, которые не допускают прохождение светового излучения через периметр рассеивателя (рис. 3).

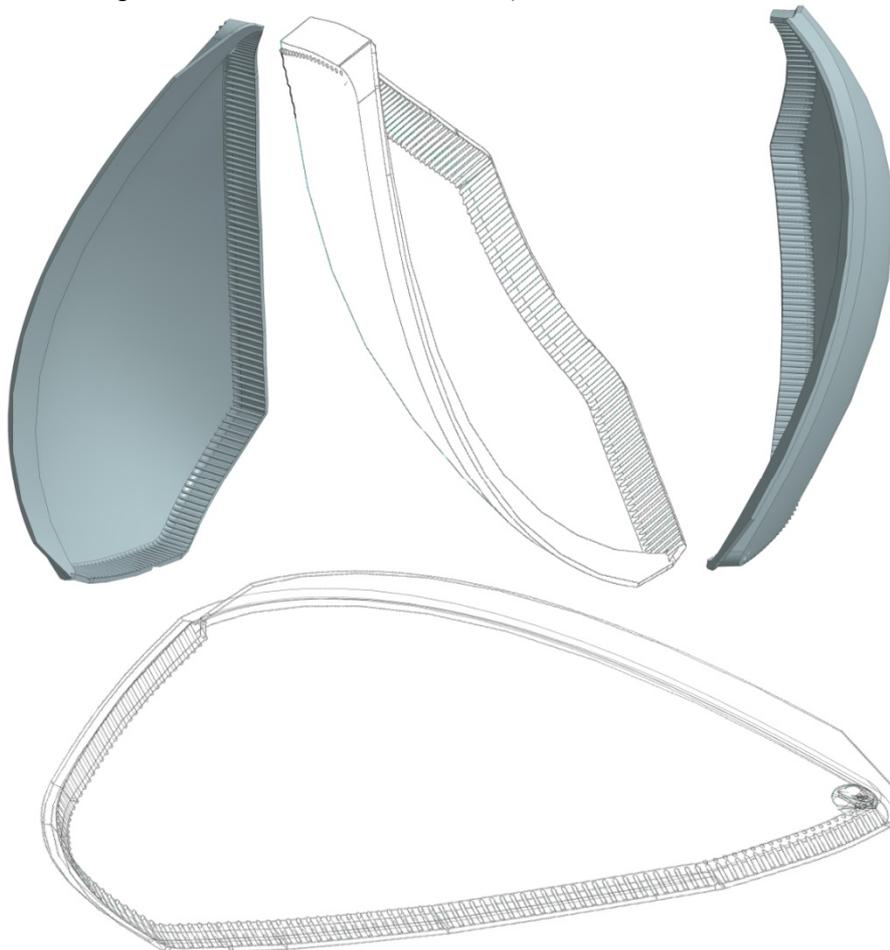


Рис. 3. Рассеиватель свободной формы («free form»)

Для оценки вибростойкости, трещиностойкости, напряжённого состояния конструкции рассеивателя автомобильной фары использовалась программная среда ANSYS. Программная среда ANSYS позволяет не только рассчитать упругие деформации и напряжения, но и определить термоупругие напряжения, что особенно актуально для внешних осветительных приборов ЛА. Возможность анализировать величины деформаций и напряжений, возникающих в конструкции, позволит выработать оптимальные конструкторские и технологические мероприятия при проектировании осветительных приборов летательных аппаратов. В качестве критерия оптимальности могут быть выбраны условия отсутствия бликов, термостабильность в заданных пределах размеров, например, рассеивателя светового прибора, прочность конструкции и т. д. Возникающие при этом вычислительные трудности (большой объём вычислений) могут быть преодолены с помощью супер компьютера «Сергей Королёв».

В качестве оценки соответствия твердотельной модели реальному объекту был выбран контроль массы. Например, для определения массы виртуальной модели рассеивателя фары (рис. 3) использовалось программное обеспечение NX. При плотности поликарбоната  $\rho = 1,180 \text{ Кг/м}^3$  и объёме виртуального рассеивателя  $0,00029 \text{ м}^3$  масса полученной аутентичной модели будет составлять  $0,3422 \text{ кг}$ .

Исходный (реальный) рассеиватель фары был измерен на весах марки ME-2100. Его масса составила  $0,3543 \text{ кг}$ . Масса виртуального рассеивателя оказалась меньше на  $3,3\%$  массы реального рассеивателя. Такая разница объясняется, в том числе, неоднородным химическим составом рассеивателя, наличием переменных литейных радиусов, переменной толщиной стенок рассеивателя, обусловленной термоусадкой поликарбоната. Учесть все эти особенности в твёрдотельной модели чрезвычайно сложно и трудоёмко. Поэтому можно считать, что полученная виртуальная модель

рассеивателя фары является аутентичной реальной фаре.

### Библиографический список

1. <http://www.plm.automation.siemens.com/> (дата обращения 06.04.2012г.)
2. DEVELOP 3D Technology for the product lifecycle. ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ NX. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.siemens.com/plm> (дата обращения 06.04.2012г.).
3. Ключев Г. И., Авиационные приборы и системы/ Макаров Н. Н., Солдаткин В. М. Под редакц. В. А. Мишина. Ульяновск: УЛГТУ. – 2000. – 343с.
4. Александров В. Г., Справочник по авиационным материалам и технологии их применения/ Базанов В. И. М.: Транспорт, 1979. – 242с.
5. Aeromedicine and Training Diges, 1990, July, vol. 4
6. Носов Н. В., Мурзаева И. В. Разработка технологии проектирования и изготовления фонаря выставочного автомобиля ВАЗ-1121 в программном пакете CATIA V5 // САПР и графика. – 2005. - № 8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=7828&iid=317> (дата обращения 08.04.2012г.).
7. Волобой, А. Г. Средства визуализации распространения света в задачах проектирования и анализа оптических систем [Электронный ресурс] / А. Г. Волобой, С. М. Вишняков, В. А. Галактионов, Д. Д. Жданов // ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. – Москва, 2007 г. (Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-01-00450) и фирмы INTEGRA (Япония)): сайт – URL: [http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/articles/dep20/publ2007/viz\\_ray.pdf](http://www.keldysh.ru/pages/cgraph/articles/dep20/publ2007/viz_ray.pdf)
8. Diamond Calculator (DiamCalc), Octonus Software [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gem-center.ru/item\\_82.htm](http://www.gem-center.ru/item_82.htm) (дата обращения 10.04.2012г.).
9. [www.emicroscribe.com](http://www.emicroscribe.com) (дата обращения 10.04.2012г.).

## OPTIMIZATION OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF LIGHTING DEVICES AIRCRAFT BY CONSTRUCTION OF VIRTUAL MODELS

© 2012 S. R. Abulkhanov<sup>1</sup>, D. S. Goryainov<sup>1</sup>, D.L. Skuratov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Samara State Technical University

<sup>2</sup>Samara State Aerospace University

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

We study the possibility of building a digital model of the aircraft lighting unit diffuser surface, being an authentic reproduction of the real headlight diffuser, using the state-of-the-art modeling tools. The authentic numerical model means that not only the geometric parameters but also physiotechanical properties are in the maximal possible agreement with the real object. The use of the authentic 3D model in various CAD-systems will not only enable the real object's performance parameters to be prognosticated but also its design to be optimized based on a variety of criteria.

*Authentic solid model, aircraft lighting unit diffuser, CAM-system.*

### Сведения об авторах

**Абульханов Станислав Рафаелевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и станочные комплексы», Самарский государственный технический университет. E-mail: Abulhanov58@mail.ru. Область научных интересов: исследование качества поверхностного слоя деталей.

**Горяинов Дмитрий Сергеевич**, доцент кафедры «Технология машиностроения», Самарский государственный технический университет. E-mail: tms@smagtu.ru. Область научных интересов: твердотельное моделирование в программной среде NX.

**Скуратов Дмитрий Леонидович**, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой механической обработки материалов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: mom@sgau.ru. Область научных интересов: оптимизация конструкции режущего инструмента.

**Abulkhanov Stanislav Rafaelevich**, Candidate of Engineering, Associate Professor at SamSTU's sub-department of Motor Vehicles and Machine Complexes. E-mail: Abulhanov58@mail.ru. Area of research: study on the quality of the surface layer of parts.

**Goryainov, Dmitry Sergeevich**, Candidate of Technics, Associate Professor at the Mechanical – Engineering Technology Department. E-mail: tms@smagtu.ru. Area of research: solid modeling software environment in NX.

**Skuratov Dmitry Leonidovich**, Doctor of Technical Sciences, professor, Samara State Aerospace University S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: mom@sgau.ru. Area of research: design optimization of cutting tools.