УДК 683.3.05+62-408.8+621.9.019

# ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

© 2016 С.Р. Абульханов<sup>1</sup>, С.И. Харитонов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва
<sup>2</sup>Институт систем обработки изображений РАН – филиал Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Самара

#### Статья поступила в редакцию 08.04.2016

Авторами предложена информационно-измерительная система, позволяющая оценивать эксплуатационные характеристики светотехнических устройств. Информационно-измерительная система состоит из четырех основных элементов: программно-аппаратный комплекс для проектирования светотехнических устройств; имитатор воздействия на оптическую поверхность природных и техногенных факторов; блок анализа состояния оптических поверхностей, блок экспериментальных исследований светотехнических устройств. Использование системы позволяет сократить на несколько порядков сроки сертификации оптических устройств по сравнению с испытаниями в естественных условиях. *Ключевые слова:* стойкостные натурные испытания, информационно-измерительная система, природные и техногенные факторы, оптическая поверхность.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Выпуск современной конкурентоспособной оптической продукции невозможен без оценки и подтверждения её соответствия признанным требованиям безопасности и качества.

Комплексный подход к решению задачи надежности и безопасности возможен при наличии информационно-измерительной системы, фиксирующей на каждом этапе жизненного цикла показатели состояния оптической продукции. В соответствии с требованиями стандарта ИСО 8402-94 информационно-измерительные системы (далее ИСС) должны обеспечивать эффективный контроль, заключающийся в получении результатов измерений с требуемыми погрешностями, в необходимом виде и в установленный срок. В связи с этим структурная схема ИИС должна определяться областью её применения, набором необходимых функций и конструкцией информационно-измерительной системы.

Натурные испытания на надёжность оптических устройств (далее ОУ), работающих в различных условиях, включая экстремальные, достаточно длительные и по этой причине дорогие. В такой ситуации актуальной задачей является изменение методов определения надёжности ОУ с целью уменьшения времени испытаний. Это возможно при имитации факторов внешнего воздействия искусственным путём. В связи с постоянным ростом номенклатуры ОУ, область применения такой ИИС будет расти. Практический опыт и натурные испытания указывают, что основной фактор, снижающий надёжность оптических устройств, есть «массовый» износ поверхности конструкции ОУ. По этой причине ИИС должна иметь возможность с задаваемой периодичностью измерять динамику изменения «массового» износа, а также измерять шероховатость поверхности, подвергаемой внешним воздействиям.

Известные программные продукты и экспериментальные установки, созданные в нашем исследовательском центре [1], обеспечивают возможность расчета [2, 3] и экспериментального исследования [4, 5] характеристик проектируемых светотехнических устройств, а также дают возможность провести анализ чистоты и гладкости оптических поверхностей [6, 7]. Для комплексного исследования эксплуатационных характеристик создаваемых светотехнических устройств необходимо дополнить систему средствами моделирования вибрационных нагрузок и средствами имитации воздействия на оптические поверхности природных и техногенных факторов.

В статье предлагается структура новой информационно-измерительной системы, позволяющей существенно снизить время сертификации светотехнических устройств. Система включает в себя ряд оригинальных компонент, например, установку для имитации воздействия на оптическое устройство внешних факторов.

# 2. ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОНЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Предлагаемая информационно-измерительная система состоит из следующих основных блоков.

Абульханов Станислав Рафаелевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: abulhanov58@mail.ru Харитонов Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: prognoz@smr.ru

1. Программное обеспечение для расчета и моделирования оптических элементов и систем. Это программное обеспечение реализует созданные в Институте систем обработки изображений РАН методы проектирования разнообразных светотехнических устройств [8-15].

2. Программная среда ANSYS и соответствующие методики оценки влияния вибрационных нагрузок на качество работы и срок эксплуатации светотехнических устройств [16-17].

3. Установка для имитации воздействия на оптические поверхности природных и техногенных факторов.

4. Устройства для анализа чистоты и шероховатостей оптических поверхностей [6, 7].

5. Оборудование для создания и экспериментального исследования [18-20] оптических приборов, в том числе светотехнических устройств [4, 5, 13].

 База данных для хранения результатов расчета и экспериментальных исследований.

Новым элементом информационно-измерительной системы является установка для имитации воздействия на оптические поверхности природных и техногенных факторов. Важно также описать изменение общей методики испытаний светотехнических устройств, учитывающей появление нового установки.

## 3. ЗАДАЧИ УСТАНОВКИ ИМИТАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Основными задачами, решаемыми ИИС контроля надёжности оптических устройств, должны быть максимально широкий охват имитации внешних факторов, воздействующих на ОУ, возможность фиксации и управления условиями эксплуатации оптического устройства и фиксация реакции конструкции на внешние воздействия с последующей обработкой измеренной информации.

По характеру внешнего воздействия на ОУ внешние факторы можно поделить на природные и техногенные. К первым относятся температурный фактор (время года), давление окружающей среды, механическое воздействие частиц различной формы, размеров и твердости. К техногенным факторам относится воздействие жидких растворов из различных химических ингредиентов (растворы солей, щелочей и кислот, а также других химически сложных реагентов, например, морская вода и т.п.).

Известные экспериментальные установки для испытаний оптических систем [4, 5, 18-20] также не позволяют имитировать воздействие окружающей среды на прозрачность рассеивателя и на герметичность сопряжение компонент оптических устройств различного назначения.

Для обоснованного выбора конструкции установки необходимо предварительно определить внешние факторы, оказывающие наибольшее влияние на надёжность оптического устройства. Кроме того, на установке должна быть предусмотрена возможность имитации воздействия внешних факторов на ОУ с различной интенсивностью, в разной последовательности и в разных сочетаниях с другими факторами.

Рассеиватель ОУ является наиболее важным компонентом конструкции светотехнического устройства, который определяет его эксплуатационные свойства. Помимо этого для оптических устройств, работающих в экстремальных природных условиях, характерным является потеря герметичности корпуса конструкции, что снижает надёжность ОУ. О наличии «массового» износа на деталях ОУ, в первую очередь, свидетельствует изменение характера микронеровностей на их поверхностях.

Оптическая эффективность рассеивателей и герметичность сопряжений элементов конструкции светотехнического устройства определяется шероховатостью их поверхностей. Существующие методы проектирования светотехнических систем [8-15] не позволяют моделировать воздействие внешней среды в рамках вычислительного эксперимента [21-26]. Известные методы создания нанопор [27] и микронеровностей [28-37] невозможно использовать для имитации воздействия внешней среды на прозрачность рассеивателя и герметичность узлов сопряжения работающего *ОУ*.

Оперативный контроль уровня шероховатости в процессе испытаний должен быть двухуровневым. Это предполагает измерение параметров шероховатости непосредственно на установке имитации внешних факторов, а также возможность контроля шероховатости на специализированном оборудовании, которое требует извлечения ОУ из имитационной установки. Оперативный контроль динамики изменения шероховатости непосредственно на установке без увеличения времени испытания ОУ возможен путём использования метода «капли» [6] или трибометрических методов [7]. Для получения нормативных характеристик шероховатости на испытуемых поверхностях можно использовать лабораторное наноизмерительное оборудование [1] или стационарные профилографы-профилометры (ГОСТ 19300-86 Профилографы-профилометры контактные).

Использование метода «капли» не позволяет получать нормативные характеристики шероховатости, в этом случае для характеризации уровня микронеровностей целесообразно использовать динамику изменения параметров, получаемых методом «капли» [6]. Для проведения оперативных измерений методом «капли» требуется первичная обработка информации о характере растекания капли на контролируемой поверхности. Этот процесс должен быть встроен, как в программный, так и в аппаратный интерфейс ИИС. Помимо этого, динамика изменения имитируемых внешних факторов должна документироваться для дальнейшей систематизации и анализа, полученных результатов измерений. Все эти требования к работе ИИС могут быть реализованы при наличии в её структуре элемента, осуществляющего первичную обработку собранной информации о испытуемом объекте.

Сформулированные требования к имитационному стенду, к программному и аппаратному интерфейсу, а также имеющиеся практические разработки были переведены в технические характеристики проектируемой информационноизмерительной системы.

## 4. КОНСТРУКЦИЯ УСТАНОВКИ ИМИТАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Абразивное воздействие на оптическую поверхность светотехнического устройства во время его эксплуатации обусловлено встречным потоком воздуха, несущим частицы различной природы и размеров. Для имитации этого природного явления конструкция установки оснащена двумя одинаковыми инжекторными соплами (далее ИС). Каждое сопло имеет возможность двигаться относительно друг друга и относительно исследуемой поверхности *OУ* по заранее согласованным траекториям. ИС сопла обеспечивают направление движения и различную скорость частицам, воздействующим на исследуемую поверхность. Оси симметрии ИС могут изменять во времени свои азимутальные углы наклона.

Движущиеся частицы могут быть сухими, а также в разной степени влажными. При этом жидкость для смачивания частиц может состоять из различных ингредиентов. Во время испытаний жидкость распыляется вместе с частицами через ИС.

Температура жидкости может изменяться по необходимому закону во времени. В разных ИС жидкость может иметь различный химический состав и температуру. Концентрация различных ингредиентов в жидкости может меняться во времени.

Частицы, воздействующие на поверхность конструкции ОУ, могут иметь различную прочность, размеры и природу (кварцевый песок, глиняная супесь, частички льда, взвесь чёрнозёмных или каштановых почв и др.). Плотность частиц в воздушном потоке также может регулироваться.

На рис. 1 показаны возможные перемещения в пространстве ИС, а также технические средства,



**Рис. 1.** Установка для стойкостных испытаний поверхности рассеивателей осветительных оптических устройств:

1 – два инжекторных сопла (ИС); 2 – исследуемая оптическая поверхность светорассеивателя; 3 – область допустимых движений сопел 1; 4 и 5 – воздушные компрессоры; 6 и 7 – управляемые заслонки; 8 и 9 – воздушные компрессоры; 10 и 11 - герметичные емкости с абразивными частицами; 12 и 13 – емкости для жидкостей, включающих в себя различные ингредиенты, с возможностью повышения или понижения температуры жидкостей; 14 и 15 – насосы. позволяющие менять характеристики распыляемых частиц и жидкости. Конструкция установки защищена патентом РФ на изобретение [38, 39]. Установка позволяет управлять различными характеристиками воздушного потока.

Возможность ламинарного и турбулентного обтекания воздушной струёй оптической поверхности рассеивателя обеспечивается двумя компрессорами 4 и 5, которые создают воздушные потоки в каждом из сопел 1. При этом давление в потоке воздуха управляется заслонками 5 и 7. Другая пара компрессоров 8 и 9 создает избыточное давление соответственно в герметичных ёмкостях 10 и 11. В ёмкостях 10 и 11 находятся предварительно загружённые абразивные частицы. Избыточное давление подаёт абразивные частицы через инжекционные отверстия ИС 1 в воздушный поток, который направляется на поверхность рассеивателя 2. Давление в потоке воздуха формирует определённый диапазон скоростей частиц. Ёмкости 12 и 13 предварительно заполняют жидкостями различного химического состава. Каждая емкость 12 и 13 имеет техническую возможность фиксированно менять температуру жидкостей. Нагрев осуществляется с помощью электронагревателей, а охлаждение - с помощью испарительного охладителя. Жидкость из ёмкостей 12 и 13 с помощью насосов соответственно 14 и 15 подаётся через инжекционные отверстия ИС 1 в сформированный воздушный поток. Положение в пространстве двух ИС 1, а также поверхности испытуемого ОУ 2 осуществляется с помощью зубчато-реечных передач (линейные перемещения) и редукторов (круговые перемещения).

В конструкцию установки был заложен модульный характер. Это обстоятельство позволяет изменять характер воздействия различных факторов на исследуемую оптическую поверхность. Как дополнительные возможности установки к его конструкции прилагаются дополнительные приспособления, способные:

 придавать сформированному воздушному потоку сложную траекторию, изменяющуюся во времени;

перемешивать абразив с жидкостью предварительно в специальных ёмкостях (на рис. 1 не показаны), в которых производится барботирование компонент, перемещаемых вместе с воздушным потоком;

 загружать в ёмкости с жидкостью различное количество химических ингредиентов, а также различное количество и различные фракции абразива в определённой временной последовательности;

- управлять установкой либо вручную в процессе проведения испытаний, либо автоматически.

Воздействие внешних факторов может моделироваться в различных сочетаниях и в различной временной последовательности. Это позволит после испытаний на разработанной установке подобрать материалы оптических элементов, которые оптимальны для использования в специализированных системах технического зрения [40-42], в датчиках [43, 44] и других оптических устройствах [45-50].

Управление работой установки может осуществляться вручную оператором, а также через блок управления (контроллер). Контроллер по вводимой программе упорядочивает и синхронизирует во времени работу по заданному закону компрессоров 8 и 9, насосов 14 и 15, меняет температуру жидкостей в ёмкостях 12 и 13, а также меняет положение в пространстве двух инжекционных сопел 1 и испытуемой поверхности ОУ (рис. 1).

Вторая составляющая ИИС заключается в определении и контроле сформированной шероховатости на оптической поверхности деталей конструкции. Оперативный контроль микронеровностей проводимый методом «капли», осуществляется непосредственно на установке. Автоматический дозатор жидкости (титратор), аппаратная часть прибора оценки шероховатости методом «капли» были интегрированы в конструкцию имитационной установки. Разработанный программный интерфейс позволяет через компьютер управлять не только работой прибора оценки шероховатости методом «капли», но и процессом подготовки контролируемого участка шероховатой поверхности (рис. 2). Через автоматический дозатор (на рис. 2 не показан) контролируемый фрагмент шероховатой поверхности омывается дистиллированной водой, затем по команде с компьютера 18 через дозатор подаётся сжатый воздух. После этого на подсушенную поверхность через титратор 16 попадает капля дистиллированной жидкости. Затем наступает окончательный этап контроля уровня шероховатости методом «капля» в соответствии с работой [6].

Для более детального изучения морфологии исследуемой поверхности предусмотрена возможность извлечения из установки ОУ. После чего исследуемая поверхность помещается на рабочую площадку, оптического, или зондового, или электронного микроскопа. Возможность извлечения испытуемой детали из установки позволяет также проводить трибологические исследования [7] поверхности детали («массовый» износ) и изучать процесс импрегнирования в поры вещества рассеивателя химических реагентов. Конструкция установки предусматривает специальный кондуктор, который позволяет устанавливать ОУ всегда в исходное положение.

Третья функция установки – первичная обработка собранной информации о состоянии исследуемого объекта (фара, уличный светильник, коннектор и т.д.).



Рис. 2. Интеграция прибора оценки шероховатости методом «капли»
 в установку имитации воздействия внешних факторов на оптическое устройство:
 2 – коннектор оптический, 16 – титратор 800 Dosino, 17 – скоростная видиокамера;
 18 – компьютер; *b* – структурная схема прибора оценки шероховатости методом «капли»

В состав информационно-измерительной системы входит разработанная в Институте систем обработки изображений РАН [5] автоматизированная установка для исследования качества работы оптических устройств. Задачей этой установки является определение динамики изменения распределения интенсивности, формируемого светотехническим устройством по углам зрения. Она включает в себя прецизионный люксометр, электромеханический привод ориентации, фотоприёмник и средства автоматизации эксперимента. Недостатком этой установки была невозможность имитации износа оптических поверхностей с последующим контролем изменения диаграммы направленности излучения.

Автоматизированная установка для исследования качества [5] была выбрана в качестве базы для разработки модуля управления ИИС контроля надёжности ОУ. Для этого потребовалось изменить структуру портов ввода/вывода, применить магистральную организацию связей между основными составляющими компонентами ИИС, для чего были использованы буферные усилители. В рамках разработки ИИС потребовалась также доработка программного интерфейса, позволяющего скоординировано функционировать всем элементам информационно-измерительных системы контроля надёжности ОУ (рис. 3).

Разработанная информационно-измерительная система позволяет существенно снизить время сертификации ОУ в результате:

 автоматизации имитации внешних факторов воздействия на оптические устройства;

- автоматизации измерения параметров «массового» износа, включая параметры шероховатости;

 автоматизация первичной обработки измеренной информации.

ИИС позволяет определить динамику изменения эффективности *светотехнического устройства* в зависимости от изменения характера шероховатости на исследуемой поверхности [5-6].

Экспериментальные результаты, которые позволяет получить разработанная ИИС, могут быть использованы при проектировании конкретных оптических устройств, работающих в конкретных условиях. Например, разработанную установку можно использовать для испытаний волоконнооптических линий связи.



**Рис. 3.** Структурная схема информационно-измерительной системы: 1 – компьютер; 2 – установка симуляции внешних воздействий на оптические устройства; 3 - прибор оценки шероховатости; 4 – буферные усилители

#### 5. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ СИСТЕМЫ

Испытания, проведённые с помощью разработанной ИИС, позволили изучить механизм взаимодействия отдельных составляющих конструкции ОУ с внешней средой и между собой.

Был получен ряд результатов, касающихся воздействия на рассеиватели автомобильных фар экстремальных климатических зон: заполярья и пустыни.

Для Заполярья характерными природными факторами являются низкие температуры. Техногенные факторы при этом практически отсутствуют. Внутренняя поверхность рассеивателя при этом испытывает нагрев со стороны лампы накаливания. Внешняя сторона рассеивателя может быть охлаждена до – 45° С и ниже. При эксплуатации автомобиля или локомотива на внешнюю поверхность прожектора (фары) воздействуют частицы льда, движущиеся хаотично и с высокими скоростями. Кинетическая энергия таких частиц может быть достаточной для того, чтобы при ударе о внешнюю поверхность фары частично лёд перешёл в жидкую фазу. В этом случае на поверхность отражателя действует преимущественно нормальная (гидравлическая) нагрузка со стороны летящих ледяных частиц. На установке было обнаружено влияние величины скорости ледяных частиц на эрозию оптической поверхности. Форма наружной поверхности рассеивателя несущественно влияет на эрозию оптической поверхности при движении ледяных частиц со скоростями недостаточными для преобразования их во время удара в жидкость. В этом случае стекло, как материал рассеивателя, предпочтительней, чем пластическая масса.

Для эксплуатации *OУ* в условиях пустыни характерны нулевая влажность, перепад температур от 0 до +50° Цельсия и сильные порывы ветра с сухими частицами песка. Движение воздушных масс может менять своё направление. На поверхность рассеивателя может воздействовать одновременно несколько воздушных потоков. Результаты моделирования показали, что и в этом случае стекло в качестве материала рассеивателя предпочтительней. При этом наименьшая эрозия имеет место для наружной поверхности рассеивателя с незначительной отрицательной кривизной (вогнутость).

Результаты испытаний на сопротивление «массовому» износу ОУ, работающих в экстремальных условиях, потребовалось 80 часов. Натурные испытания автомобильных фар проводят на треках, где автомобиль должен наездить не менее 100 000 км. Использование ИИС позволяет сократить на несколько порядков срок сертификации оптических устройств по сравнению с испытаниями в естественных условиях.

На разработанной ИИС была изучена стабильность светотехнических характеристик автомобильной фары с дифракционным оптическим элементом (ДОЭ). В качестве ДОЭ в оптической схеме, представленной на рис. 4 а, использовался квазипериодический фокусатор в отрезок [39]. Использование квазипериодического фокусатора в отрезок должно обеспечить форма диаграммы направленности осветительного устройства, соответствующую международным требованиям к диаграмме направленности автомобильных фар (рис. 4 б).

Были проведены испытания на сопротивление «массовому» износу автомобильной фары, выполненной с бинарным квазипериодическим ДОЭ. Имитируемые внешние факторы соответствовали условиям эксплуатации в средней полосе России. Были проведены испытания рассеивателя автомобильной фары на его сопротивление абразивному воздействию. Результаты испытаний, показали, что высокая эффективность работы ДОЭ позволяет сохранять работоспособность осветительного устройства при высоком абразивном износе рассеивателя автомобильной фары (рис. 4 *в*).



а – оптическая схема автомобильной фары;
 б – требуемая форма диаграммы направленности автомобильной фары;
 в – диаграмма направленности, формируемая оптической схемой фары
 с бинарным квазипериодическим ДОЭ после абразивного воздействия в течении 45 часов;
 г – внутренняя арматура конструкции железнодорожного прожектора;
 д – внешний вид железнодорожного прожектора

Вместе с этим износостойкие испытания автомобильного фары, оснащённой ДОЭ, показали, что использование одного оптического элемента, пускай и с широкими функциональными возможностями, не всегда позволяет сформировать требуемую диаграмму направленности с достаточной эффективностью. Выбор типа и количества ДОЭ должно определяться условиями эксплуатации автомобильной фары.

Процесс испытаний на сопротивление массовому» износу занял 45 часов. Такого же масштаба натурные испытания потребовали бы не менее 150 часов.

Осветительные прожекторы (рис. 4 г, д), используемые на железных дорогах, а также на строительных кранах, имеют небольшой эксплуатационный ресурс (железная дорога – в среднем 30 суток, строительный кран – 2-ое суток). Причин этому много – абразивное воздействие, перепады температур, влажность, ускорения, вибрации и т.д.

С помощью ИИС было определено наиболее критическое сочетание внешних факторов (температура, влажность), снижающее эксплуатационный ресурс прожектора. Время имитационных испытаний составило 8 часов. Для этих условий были определены собственные частоты конструкции прожектора в программной среде ANSYS (рис. 5). Анализ величин и диапазона собственных частот показал, что в условиях, определённых с помощью ИИС, конструкция прожектора наиболее подвержена разрушению. Такое сочетание возможностей разработанной ИИС и современных программных продуктов для решения за-



Рис. 5. Результаты инженерного анализа конструкции прожектора:
 а – твердотельная модель внутренней арматуры;
 б – деформации конструкции прожектора на собственной частоте 96 Гц;
 д - деформации конструкции прожектора на собственной частоте 684 Гц.

дач инженерного анализа позволяет принимать успешные технологические и конструкторские решения в максимально короткие сроки.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ возможностей созданной ИИС показал, что она позволяет гибко имитировать воздействие природных и техногенных факторов на поверхности рассеивателя и на поверхности сопряжения компонент конструкции светотехнического устойства от климатических условий пустынь до условий Заполярья. Результаты проведенных испытаний на установке позволяют определить направления многокритериальной оптимизации конструкции и технологии изготовления оптических устройств с учётом конкретных условий их эксплуатации. При этом результаты испытаний получаются за экономически приемлемое время.

Модернизация ИСС, включая конструкции составляющей её установки, позволит использовать полученные инженерные решения для определения эксплуатационных свойств и оптимизации конструкций большого класса светотехнических устройств, используемых на самолётах различного назначения, на судах, подводных аппаратах и т.д. Особую чувствительность к внешним воздействиям имеют компоненты нанофотоники [50-57], а оптические системы, предназначенные для работы в космосе [58-62], должны кроме исследования на предлагаемой ИИС дополнительно испытываться на специальных стендах [63-65], разработанных для имитации воздействия космического мусора, заряженных частиц и космических лучей, имеющих существенно большие скорости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

 Kazanskiy, N. L., "Research & Education Center of Diffractive Optics," Proceedings of SPIE 8410, 84100R (2012); DOI: 10.1117/12.923233.

- Doskolovich, L. L., Golub, M. A., Kazanskiy, N. L., Khramov, A. G., Pavelyev, V. S., Seraphimovich, P. G., Soifer, V. A. and Volotovskiy, S. G., "Software on diffractive optics and computer generated holograms," Proceedings of SPIE 2363, 278-284 (1995).
- Golovashkin, D. L. and Kasanskiy, N. L., "Solving Diffractive Optics Problem using Graphics Processing Units," Optical Memory and Neural Networks (Information Optics) 20(2), 85-89 (2011); DOI: 10.3103/S1060992X11020019.
- Kazanskiy, N. L., Kharitonov, S. I., Soifer, V. A. and Volkov, A. V., "Investigation of lighting devices based on diffractive optical elements," Optical Memory & Neural Networks 9(4), 301-312 (2000).
- Kazanskiy, N. L., "DOE-based Lighting Devices," In "Methods for Computer Design of Diffractive Optical Elements", Victor A. Soifer eds, A Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc, 651-671 (2002).
- Borodin, S. A., Volkov, A. V. and Kazanskii, N. L., "Device for analyzing nanoroughness and contamination on a substrate from the dynamic state of a liquid drop deposited on its surface," Journal of Optical Technology 76(7), 408-412 (2009); DOI: 10.1364/ JOT.76.000408.
- Kolpakov, V. A. and Ivliev, N. A., "Atomic–Molecular Model of Boundary Friction in Microtribocontacts between the Surfaces of Semiconducting and Dielectric Materials," Technical Physics 60(6), 922-927 (2015); DOI: 10.1134/S1063784215060122.
- Doskolovich, L. L., Kazanskiy, N. L., Kharitonov, S. I. and Soifer, V. A., "A method of designing diffractive optical elements focusing into plane areas," Journal of Modern Optics 43(7), 1423-1433 (1996); DOI: 10.1080/09500349608232815.
- Doskolovich, L. L., Kazanskiy, N. L., Soifer, V. A., Kharitonov, S. I. and Perlo, P., "A DOE to form a line-shaped directivity diagram," Journal of Modern Optics 51(13), 1999-2005 (2004); DOI: 10.1080/09500340408232507.
- Doskolovich, L. L., Kazanskiy, N. L., Kharitonov, S. I., Perlo, P. and Bernard, S., "Designing reflectors to generate a line-shaped directivity diagram," Journal of Modern Optics 52(11), 1529-1536 (2005); DOI: 10.1080/09500340500058082.
- 11. Doskolovich, L. L., Kazanskiy, N. L. and Bernard, S., "Designing a mirror to form a line-shaped directivity diagram," Journal of Modern Optics 54(3-4), 589-597 (2007); DOI: 10.1080/0950034060102186.
- 12. Moiseev, M. A., Doskolovich, L. L. and Kazanskiy, N. L., "Design of high-efficient freeform LED lens for

illumination of elongated rectangular regions," Optics Express 19(S3), A225-A233 (2011); DOI: 10.1364/ OE.19.00A225.

- 13. *Kazanskiy, N. and Skidanov, R.*, "Binary beam splitter," Applied Optics 51(14), 2672-2677 (2012); DOI: 10.1364/AO.51.002672.
- Aslanov, E. R., Doskolovich, L. L., Moiseev, M. A., Bezus, E.A. and Kazanskiy, N. L., "Design of an optical element forming an axial line segment for efficient LED lighting systems," Optics Express 21(23), 28651-28656 (2013); DOI: 10.1364/OE.21.028651.
- 15. Dmitriev, A. Yu., Doskolovich, D. L., Doskolovich, L. L. and Kazanskiy, N. L., "Analytic design of refractive optical elements generating one-parameter directivity diagram," Computer Optics 38(2), 207-212 (2014).
- Abulkhanov, S. R., "Vibration resistance of headlight design for electric locomotive," Proceedings of Information Technology and Nanotechnology Conference (ITNT-2015), CEUR Workshop Proceedings 1490, 112-121 (2015); DOI: 10.18287/1613-0073-2015-1490-112-121.
- Abulkhanov SR, Skuratov DL. "Vibration resistance of headlamp design with light emitting diodes for electric locomotive," Proceedings of Information Technology and Nanotechnology Conference (ITNT-2015), CEUR Workshop Proceedings 1490, 122-132 (2015); DOI: 10.18287/1613-0073-2015-1490-122-132.
- Kazanskiy, N. L., Uspleniev, G. V. and Volkov, A. V., "Fabricating and testing diffractive optical elements focusing into a ring and into a twin-spot," Proceedings of SPIE 4316, 193-199 (2000); DOI: 10.1117/12.407678.
- Doskolovich, L. L., Kazanskiy, N. L., Khonina, S. N., Skidanov, R. V., Heikkila, N., Siitonen, S. and Turunen, J., "Design and investigation of color separation diffraction gratings," Applied Optics 46(15), 2825-2830 (2007); DOI: 10.1364/AO.46.002825.
- Kazanskiy, N. L., Khonina, S. N., Skidanov, R. V., Morozov, A. A., Kharitonov, S. I., Volotovskiy, S. G., "Formation of images using multilevel diffractive lens," Computer Optics 38(3), 425-434 (2014).
- Kazanskiy, N. L. and Soifer, V. A., "Diffraction investigation of geometric-optical focusators into segment," Optik – International Journal for Light and Electron Optics 96(40), 158-162 (1994).
- Kazanskiy, N. L., Kotlyar, V. V. and Soifer, V. A., "Computer-aided design of diffractive optical elements," Optical Engineering 33(10), 3156-3166 (1994).
- Doskolovich, L. L., Kazanskiy, N. L., Soifer, V. A. and Tzaregorodtzev, A. Ye., "Analysis of quasiperiodic and geometric optical solutions of the problem of focusing into an axial segment," Optik – International Journal for Light and Electron Optics 101(2), 37-41 (1995).
- Khonina, S. N., Kazanskii, N. L., Ustinov, A. V. and Volotovskii, S. G., "The lensacon: nonparaxial effects," Journal of Optical Technology 78(11), 724-729 (2011); DOI: 10.1364/JOT.78.000724.
- Kazanskiy, N. L. and Serafimovich, P. G., "Cloud Computing for Rigorous Coupled-Wave Analysis," Advances in Optical Technologies 2012, Article ID 398341, 7 (2012); DOI: 10.1155/2012/398341.
- Kazanskiy, N. L. and Serafimovich, P. G., "Cloud Computing for Nanophotonic Simulations," Lecture Notes in Computer Science 7715, 54-67 (2013); DOI: 10.1007/978-3-642-38250-5\_7.
- Kazanskiy, N. L., Murzin, S. P., Osetrov, Ye. L. and Tregub, V. I., "Synthesis of nanoporous structures in metallic materials under laser action," Optics and Lasers in Engineering 49(11), 1264-1267 (2011); DOI: 10.1016/j. optlaseng.2011.07.001.
- 28. Volkov, A. V., Kazanskiy, N. L., Moiseev, O. Ju. and Soifer, V. A., "Method for the Diffractive Microrelief

Formation Using the Layered Photoresist Growth," Optics and Lasers in Engineering 29(4-5), 281-288 (1998).

- Zol'nikov, K. P., Uvarov, T. Yu., Psakh'e, S. G., "Anisotropy of the Plastic Deformation and Fracture Processes in a Dynamically Loaded Crystallite," Technical Physics Letters 27(4), 263-265 (2001); DOI: 10.1134/1.1370196.
- Kazanskii, N. L., Kolpakov, V. A. and Kolpakov, A. I., "Anisotropic etching of SiO2 in high-voltage gasdischarge plasmas," Russian Microelectronics 3(3), 169-182 (2004); DOI: 10.1023/B:RUMI.0000026175.29416.eb.
- Pavelyev, V. S., Borodin, S. A., Kazanskiy, N. L., Kostyuk, G. F. and Volkov, A. V., "Formation of diffractive microrelief on diamond film surface," Optics & Laser Technology 399(6), 1234-1238 (2007); DOI: 10.1016/j. optlastec.2006.08.004.
- Kazanskii, N. L. and Kolpakov, V. A., "Effect of Bulk Modification of Polymers in a Directional Low-Temperature Plasma Flow," Technical Physics 54(9), 1184-1289 (2009); DOI: 10.1134/S1063784209090060.
- 33. Abul'khanov, S. R., Kazanskii, N. L., Doskolovich, L. L., Kazakova, O. Y., "Manufacture of diffractive optical elements by cutting on numerically controlled machine tools," Russian Engineering Research 31(12), 1268-1272 (2011); DOI: 10.3103/S1068798X11120033.
- Bezus, E.A., Doskolovich, L. L. and Kazanskiy, N. L., "Evanescent-wave interferometric nanoscale photolithography using guided-mode resonant gratings," Microelectronic Engineering 88(2), 170–174 (2011); DOI: 10.1016/j.mee.2010.10.006.
- Bezus, E.A., Doskolovich, L. L. and Kazanskiy, N. L., "Interference pattern formation in evanescent electromagnetic waves using waveguide diffraction gratings," Quantum Electronics 41(8), 759-764 (2011); DOI: 10.1070/QE2011v041n08ABEH014500.
- Kazanskiy, N. L., Kolpakov, V. A. and Podlipnov, V. V., "Gas discharge devices generating the directed fluxes of off-electrode plasma," Vacuum 101, 291-297 (2014); DOI: 10.1016/j.vacuum.2013.09.014.
- Volkov, A. V., Kazanskiy, N. L., Moiseev O. Yu. and Poletayev S. D., "Thermal Oxidative Degradation of Molybdenum Films under Laser Ablation," Technical Physics 60(2), 265-269 (2015); DOI: 10.1134/ S1063784215020255.
- Abulhanov, S. R., Kazanskiy, N. L., Kharitonov, S. I., "Installation for measuring optically transparent surfaces," RF patent number 2489703 of November 8, 2011.
- 39. Абульханов С.Р., Харитонов С.И. Стенд для определения стойкости оптически прозрачных поверхностей на воздействие природных и техногенных факторов // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 2. С.237-242.
- Kazanskiy, N. L. and Popov, S. B., "Machine Vision System for Singularity Detection in Monitoring the Long Process," Optical Memory and Neural Networks (Information Optics) 19(1), 23-30 (2010); DOI: 10.3103/S1060992X10010042.
- 41. *Kazanskiy, N. L. and Popov, S. B.,* "Distributed Storage and Parallel Processing for Large-Size Optical Images," Proceedings of SPIE 8410, 84100I (2012); DOI: 10.1117/12.928441.
- 42. *Kazanskiy, N. L. and Popov, S. B.,* "The distributed vision system of the registration of the railway train," Computer Optics 36(3), 419-428 (2012).
- Karpeev, S. V., Pavelyev, V. S., Khonina, S. N., Kazanskiy, N. L., Gavrilov, A. V. and Eropolov, V. A., "Fibre sensors based on transverse mode selection," Journal of Modern Optics 54(6), 833-844 (2007); DOI: 10.1080/09500340601066125.
- 44. Egorov, A. V., Kazanskiy, N. L., Serafimovich, P. G., "Using

coupled photonic crystal cavities for increasing of sensor sensitivity," Computer Optics 39(2), 158-162 (2015).

- 45. Doskolovich, L. L., Kazanskiy, N. L., Soifer, V. A., Perlo, P. and Repetto, P., "Design of DOEs for wavelength division and focusing," Journal of Modern Optics 52(6), 917-926 (2005); DOI: 10.1080/09500340512331313953.
- 46. Khonina, S. N., Kazanskiy, N. L. and Volotovsky, S. G., "Vortex phase transmission function as a factor to reduce the focal spot of high-aperture focusing system," Journal of Modern Optics 58(9), 748-760 (2011); DOI: 10.1080/09500340.2011.568710.
- Khonina, S. N., Kazanskiy, N. L. and Volotovsky, S. G., "Influence of Vortex Transmission Phase Function on Intensity Distribution in the Focal Area of High-Aperture Focusing System," Optical Memory and Neural Networks (Information Optics) 20(1), 23-42 (2011); DOI: 10.3103/S1060992X11010024.
- Khonina, S. N., Savelyev, D. A., and Kazanskiy, N. L., "Vortex phase elements as detectors of polarization state," Optics Express 23(14), 17845-17859 (2015); doi: 10.1364/OE.23.017845.
- Khonina, S. N., Savelyev, D. A., and Kazanskiy, N. L., "Analysis of polarization states at sharp focusing," Optik - International Journal for Light and Electron Optics 127(6), 3372-3378 (2016); doi: 10.1016/j. ijleo.2015.12.108.
- Kazanskiy, N. L., Serafimovich, P. G. and Khonina, S. N., "Harnessing the Guided-Mode Resonance to Design Nanooptical Transmission Spectral Filters," Optical Memory and Neural Networks (Information Optics) 19(4), 318-324 (2010); DOI: 10.3103/S1060992X10040090.
- Bezus, E.A., Doskolovich, L. L., Kazanskiy, N. L., Soifer, V.A. and Kharitonov, S. I., "Design of diffractive lenses for focusing surface plasmons," Journal of Optics 12(1), 015001 (2010); DOI: 10.1088/2040-8978/12/1/015001.
- 52. Bykov, D. A., Doskolovich, L. L., Soifer, V. A. and Kazanskiy, N. L., "Extraordinary Magneto-Optical Effect of a Change in the Phase of Diffraction Orders in Dielectric Diffraction Gratings," Journal of Experimental and Theoretical Physics 111(6), 967-974 (2010); DOI: 10.1134/S1063776110120095.
- Bezus, E.A., Doskolovich, L. L. and Kazanskiy, N. L., "Scattering suppression in plasmonic optics using a simple two-layer dielectric structure," Applied Physics Letters 98(22), 221108 (2011); DOI: 10.1063/1.3597620.
- 54. Bezus, E.A., Doskolovich, L. L., Kazanskiy, N. L. and Soifer, V. A., "Scattering in elements of plasmon

optics suppressed by two-layer dielectric structures," Technical Physics Letters 37(12), 1091-1095 (2011); DOI: 10.1134/S1063785011120030.

- 55. *Kazanskiy, N. L., Serafimovich, P. G. and Khonina, S. N.,* "Use of photonic crystal cavities for temporal differentiation of optical signals," Optics Letters 38(7), 1149-1151 (2013); DOI: 10.1364/OL.38.001149.
- Bezus, E.A., Doskolovich, L. L. and Kazanskiy, N. L., "Lowscattering surface plasmon refraction with isotropic materials," Optics Express 22(11), 13547-13554 (2014).
- 57. *Kazanskiy, N. L. and Serafimovich, P. G.,* "Coupledresonator optical waveguides for temporal integration of optical signals," Optics Express 22(11), 14004-14013 (2014).
- Kazańskiy, N. L., Kharitonov, S. I., Khonina, S. N., Volotovskiy, S. G., Strelkov, Yu. S., "Simulation of hyperspectrometer on spectral linear variable filters," Computer Optics 38(2), 256-270 (2014).
- Kazanskiy, N. L., Kharitonov, S. I., Karsakov, A. V., Khonina, S. N., "Modeling action of a hyperspectrometer based on the Offner scheme within geometric optics," Computer Optics 38(2), 271-280 (2014).
- Kazanskiy, N. L., Kharitonov, S. I., Khonina, S. N., "Simulation of a hyperspectrometer based on linear spectral filters using vector Bessel beams," Computer Optics 38(4), 770-776 (2014).
- 61. *Kazanskiy, N. L., Kharitonov, S. I., Doskolovich, L. L., and Pavelyev, A. V.,* "Modeling the performance of a spaceborne hyperspectrometer based on the Offner scheme," Computer Optics 39(1), 70-76 (2015).
- 62. *Golovin, A. D., Demin, A. V.,* "Simulation model of a multichannel Offner hyperspectrometer," Computer Optics 39(4), 521-528 (2015); DOI: 10.18287/0134-2452-2015-39-4-521-528.
- 63. *Kalaev, M. P., Semkin, N. D., Novikov, L. S.,* "Space Debris and Micrometeoroid Impact on Spacecraft Elements: Experimental Simulation," Inorganic Materials: Applied Research 4(3), 205-210 (2013); DOI: 10.1134/ S2075113313030052.
- 64. Semkin, N. D., Piyakov, A. V., Voronov, K. E., Kalaev, M. P., Telegin, A. M., "An Injector of Charged Liquid Particles," Instruments and Experimental Techniques 56(2), 225-232 (2013); DOI: 10.1134/S0020441213010235.
- 65. Semkin, N. D., Pomelnikov, R. A., Telegin, A. M., "Expansion of a shock plasma in the accelerating field of a parallel-plate capacitor in a time-of-flight mass spectrometer," Technical Physics 59(5), 663-669 (2014); DOI: 10.1134/S1063784214050284.

# TEST BENCH FOR SIMULATION OF THE EFFECTS OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE OPTICAL DEVICE

© 2016 S.R. Abulkhanov<sup>1</sup>, S.I. Kharitonov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov
<sup>2</sup> Image Processing Systems Institute – Branch of the Federal Research Center «Crystallography and Photonics», RAS, Samara

We have developed the design of information-measuring system, allowing to simulate the natural and manmade effects on the optical surface. The design allows changing exposure modes and their combinations, the sequence and duration of the exposure. Use of the system reduces by several orders certification term of optical devices as compared with in vivo tests.

Keywords: adjective full-scale tests, the lens of the lighting device, natural and induced impacts, the optical surface.

Stanislav Abul'khanov, Candidate of Technics, Associate Professor. E-mail: abulhanov58@mail.ru Sergei Kharitonov, Doctor of Physics and Mathematics, Leading Research Fellow. E-mail: prognoz@smr.ru