

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

**АЛЬМАНАХ
НАУЧНЫХ РАБОТ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
Университета ИТМО**

Том 2



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2017

Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 2.
– СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 293 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на XLVI научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО по тематике оптика и фотоника.

ISBN 978-5-7577-0566-8

ISBN 978-5-7577-0568-2 (т. 2)



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2017

© Авторы, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные 31 января – 3 февраля 2017 года на XLVI научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО по тематике оптика и фотоника.

Конференция проводится в целях усиления интегрирующей роли университета в области научных исследований по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники и ознакомления научной общественности с результатами исследований, выполненных в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, программы развития Университета ИТМО на 2009–2018 годы, программы повышения конкурентоспособности Университета ИТМО среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013–2020 гг., Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых и ведущих научных школ, грантов РФФИ, РГНФ, РНФ и Правительства РФ (по постановлению № 220 от 09.04.2010 г.) и по инициативным научно-исследовательским проектам, проводимым учеными, преподавателями, научными сотрудниками, аспирантами, магистрантами и студентами университета, в том числе в содружестве с предприятиями и организациями Санкт-Петербурга, а также с целью повышения эффективности научно-исследовательской деятельности и ее вклада в повышение качества подготовки специалистов.



Авдеенко Ксения Викторовна

Год рождения: 1982

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: xva@inbox.ru

УДК 004.9:37

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Авдеенко К.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Гуров И.П.

Рассмотрены исследования современных методов представления информации при дистанционном и интерактивном обучении. Проанализированы зарубежные публикации о различных типах видеолекций и их влиянии на процесс обучения. Эффективность запоминания и результативность обучения зависят от организационных и технических особенностей представления аудио- и визуальной информации.

Ключевые слова: интерактивное обучение, дистанционное обучение, видеолекции, видеокурсы, Хан-стиль, стиль «говорящая голова».

Процесс обучения – информационный процесс, поэтому представляется правильным его рассмотрение с позиции восприятия и осмысления учебной информации. В основном человек познает окружающий мир в виде зрительных образов, поэтому наиболее адекватным постижением внешнего мира является визуальное. Исследования показывают, что 87% информации поступает в мозг через зрительные рецепторы, 9% через слуховые и 4% через другие органы чувств.

Обучающие материалы в форме видео в последние годы широко распространены в ведущих образовательных организациях. На сегодняшний день университеты по всему миру предлагают видеолекции по различным темам. Миллионы учащихся смотрят видео с разных платформ (например, с канала YouTube) на телефоне, планшете и пр. Для студентов открыт доступ к электронным библиотекам, общению с преподавателями по скайпу или электронной почте из дома. Кроме того, массовые открытые онлайн-курсы (MOOCs) становятся все более важной частью образования. Многие новые зарубежные образовательные платформы, такие как Coursera и Udacity, начали предлагать формы обучения, которые в основном основаны на видео.

Хотя многие образовательные организации создают и совместно используют видеолекции, общего стандарта по их организации и оформлению пока не существует. Нет руководящих принципов по представлению, стилю, виду и формату видеолекций [1].

Цель работы состояла в рассмотрении основных подходов, принципов и рекомендаций по созданию видеолекций, предлагаемых в современной научной литературе и исследованиях последних лет.

В зарубежной литературе выделяются различные стили видеолекций: «говорящая голова» («talking head»); «Хан-стиль» (по имени создателя подобных видеоуроков Салмана Хана www.khanacademy.org); видео с отображением экрана («screencast»); видео в форме интервью или в виде презентации; картинка в картинке и др. [2].

Греческие ученые Илиуди и Хорионопулос в 2013 году провели исследование о влиянии стиля видеолекции на усвоение учащимися материала по математике [3]. Были рассмотрены три варианта обучения: видеолекции в форме обычного урока с преподавателем

(стиль «говорящая голова»), видеолекции Хан-стиля, и обучение по учебнику. 36 студентов, три контрольные группы, три модуля по математике в течение трех недель. Продолжительность каждого видеоматериала была 10 мин. В конце каждого модуля были даны тесты. Было выявлено, что существенные результаты обучения проявились только через две недели. Оценивались положительные эмоции, т.е. удовлетворенность учащимися тем или иным видом обучения и результативность выполнения задания.

Контрольная группа, которой было предложено задание по учебнику, показала более высокие результаты относительно положительной эмоциональной оценки способа обучения, чем две другие группы. Однако выполнение заданий было успешнее у контрольной группы после просмотра видеолекции стиля «говорящая голова». Эмоциональная составляющая в начале исследования может быть связана с более привычным для обучающихся методом изучения (учебником) и менее знакомым – видеолекциями.

Видео, где присутствует изображение диктора, также являются более привычными для учащихся и поэтому более результативными в восприятии по сравнению с Хан-стилем.

Турецкие ученые Озан и Озарслан в 2015 году провели исследование относительно предпочтения студентов при просмотре различных по стилю и типу видеолекций и о том, как это влияет на обучение [4]. Значимым фактором при проведении эксперимента было полностью просмотренное до конца видео.

2927 студентам было показано 18144 видео ролика в рамках изучения 13 курсов. Ученые учитывали множество параметров: тип видеолекции (в виде интервью, в виде монолога), параметры воспроизведения (широкоэкранные видео, с возможностью поиска или без), с различными характеристиками лектора (пол и возраст), длину видеоролика.

Каждый курс состоял из напечатанной инструкции, главы учебника, видеолекции и тестов для самоконтроля. Учащиеся могли выбирать способ изучения материала самостоятельно. Большинство выбрали видеолекции. Выводы были сделаны о том, что досматривались до конца чаще: видеолекции в виде интервью; короткие ролики длиной менее 30 мин; длинные ролики с возможностью поиска и перемотки; лекции с дикторами-женщинами. Результаты на экзаменах показали лучше те учащиеся, которые больше видеолекций досмотрели до конца.

Ученые Стенфордского университета и Рочестера совместно с программистами и разработчиками системы курсов eDX провели исследование о влиянии различных характеристик видеолекций на заинтересованность студентов [5]. Это было широкомасштабное исследование более 6 млн видеопросмотров 127 тыс. студентами в рамках программы четырех курсов. Цель эксперимента была выявить, какие видеолекции способствуют лучшим результатам обучения. Поскольку заинтересованность студентов – понятие сложноизмеримое, исследователи предложили измерять время, потраченное на видеопросмотр, а также были ли выполнены тестовые задания в течение 30 мин после просмотра видео или нет.

Рассматривались следующие характеристики видео: длина видеоролика, скорость речи, тип видеолекции (обычная лекция или инструкция), стиль видеолекции (слайды PowerPoint, видео с экрана, Хан-стиль, лекция в аудитории, запись лекции в студии, картинка в картинке). Некоторые варианты видео представлены на рисунке.

В результате исследования были установлены некоторые особенности восприятия и предложены следующие рекомендации:

- короткие видеоролики вызывают больший интерес у учащихся. Преподавателю следует разбивать курс на короткие ролики не более 6 мин;
- видео со слайдами, где добавляется дополнительно изображение говорящего диктора, вызывает больший интерес, чем просто показ слайдов;

- Хан-стиль гораздо более выигрышный по сравнению с показом статичных слайдов или изображений с экрана;
- видео с большей скоростью и эмоциональностью речи вызывают большую заинтересованность учащихся;
- контакт глаз при создании видео и личное участие влияют гораздо больше на интерес учащихся, чем качество видеосъемки;
- типы видео «лекция» и «инструкция» требуют разного подхода при создании. Для «лекции» следует оптимизировать первичный просмотр, а для «инструкции» возможность остановки, перемотки и повтора.

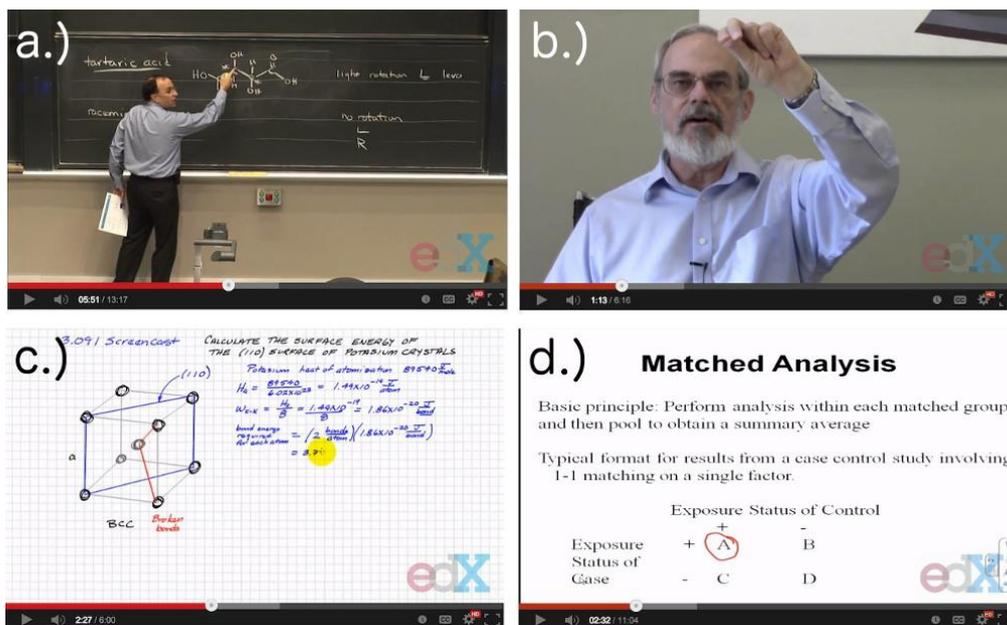


Рисунок. Стили видеолекций: обычная лекция в аудитории (а); лектор обращается в камеру (стиль «говорящая голова») (b); Хан-стиль (c); слайды PowerPoint с голосовым сопровождением (d)

Проведенный анализ показал, что, хотя многие психофизиологические особенности восприятия уже известны и используются в образовании, применение новых современных средств и методик представления информации порождает ряд вопросов, которые пока недостаточно изучены и требуют детального рассмотрения для обеспечения максимально эффективного обучения.

Литература

1. Pioudi C., Giannakos M.N., Chorianopoulos K. Investigating differences among the commonly used video lecture styles // In CEUR Workshop Proceedings. – 2013. – V. 983. – P. 21–26.
2. Chorianopoulos K., Giannakos M.N. Usability design for video lectures // In the 11th European Conference on interactive TV and video. – 2013. – P. 163–164.
3. Pioudi C., Chorianopoulos K., Giannakos M.N. Comparing the camera shot styles of video lectures: Close-up versus broad framing of whiteboard and lecturer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://users.ionio.gr/~choko/publications/pdf/close-up-broad-lecture-shot.pdf>, своб.
4. Ozan O., Ozarslan Y. Video lecture watching behaviors of learners in online courses // Educational Media International. – 2016. – V. 53:1. – P. 27–41.
5. Guo P.J., Kim J., Rubin R. How video production affects student engagement: an empirical study of MOOC videos [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://up.csail.mit.edu/other-pubs/las2014-pguo-engagement.pdf>, своб.



Андреев Владимир Владимирович

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В3450

Направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика

e-mail: andreevpostbox@gmail.com



Емельянов Дмитрий Вячеславович

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В3450

Направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика

e-mail: dmitriy.emelyanov.de@gmail.com



Ковальский Илья Сергеевич

Год рождения: 1990

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, тьютор

e-mail: ilya.kovalskiy@notmail.com



Лукьянов Геннадий Николаевич

Год рождения: 1946

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, д.т.н., профессор

e-mail: gen-lukjanow@yandex.ru

УДК 536.2.02

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОДНОМЕРНОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА В СТЕРЖНЕ

Андреев В.В., Емельянов Д.В., Ковальский И.С., Лукьянов Г.Н.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Лукьянов Г.Н.

Рассмотрено влияние явления транспортного запаздывания на показания термодатчика. В большинстве тепловых процессов, а также процессов, в которых происходит передача сигнала на расстояние при помощи длинных электрических, гидравлических и других линий, наблюдается запаздывание, зависящее от длины линии. Протяженность любого датчика в пространстве приводит к запаздыванию появления сигнала на его выходе, по отношению к процессу, который вызвал этот сигнал. Например, если не учесть запаздывание при проектировании регулятора, то это приведет к возникновению периодических колебаний значительной амплитуды в процессе регулирования. Подобное явление можно рассмотреть, например, на термодарах, термометрах сопротивления.

Ключевые слова: транспортная задержка, метод температурных волн, моделирование распространения теплового потока.

Температурные волны – периодические изменения распределения температуры в среде, связанные с периодическими колебаниями плотности тепловых потоков, поступающих в среду. Температурные волны возникают там, где присутствуют периодические источники тепла [1, 2].

Цель работы – исследование динамических свойств термоэлектрических преобразователей на примере стержня и исследование изменения его теплового режима при применении температурных волн.

Процесс распространения теплоты в стержне сопровождается передачей тепловой энергии теплопроводностью в стержне путем непрерывного рассеивания с поверхности тел в окружающую среду благодаря конвекции и излучению. Плотностью потока теплоты называется вектор \mathbf{q} , совпадающий по направлению с направлением распространения теплоты.

$$\mathbf{q} = \frac{dQ}{dAdt}. \quad (1)$$

Найдем дифференциальное уравнение, которому удовлетворяет вектор \mathbf{q} в одномерных задачах, так как учтем специфику температурного поля стержня – отсутствие градиента по сечению стержня.

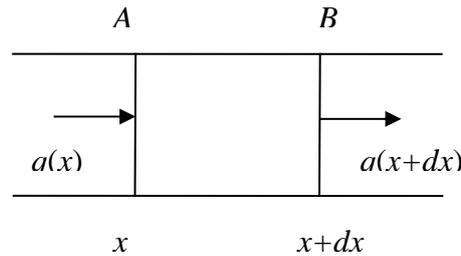


Рис. 1. Поток теплоты через стержень

Плотность потока теплоты q следует рассматривать как функцию координаты x и времени t : $q=q(x, t)$. В левый торец входит поток теплоты Φ_1 , а из правого торца выходит Φ_2 , а из правого торца выходит Φ_2 , а из правого торца выходит Φ_2 (рис. 1). Количество теплоты, поступающее в цилиндр AB за время dt через основание A с координатой x , равно $\Phi_1 = q(x)Sdt$. Количество теплоты, уходящее за то же время через основание B , будет $\Phi_2 = q(x + dx)Sdt$. Так как через боковую поверхность цилиндра теплота не поступает, то полное количество теплоты, поступающее за время dt через рассматриваемый участок цилиндра, равно

$$\Phi_1 - \Phi_2 = (q(x) - q(x + dx))Sdt = -\frac{\partial q}{\partial x} Sdxdt \quad (2)$$

Эту теплоту можно представить в виде $dMC_v dT$. Приравняв оба выражения и производя сокращение, получим

$$\rho C_v \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x}. \quad (3)$$

Если пластинка бесконечно тонкая и ось x направлена в сторону понижения температуры, то $l = dx$, $T_1 = T(x)$, $T_2 = T(x + dx)$

$$\frac{T_1 - T_2}{l} = \frac{T(x) - T(x + dx)}{dx} = -\frac{\partial T}{\partial x} \quad (4)$$

и формула (1) переходит в

$$\mathbf{q} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}. \quad (5)$$

Если выражение (3) подставить в формулу (5), то получится

$$\rho C_v \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right). \quad (6)$$

Это уравнение называется уравнением теплопроводности. В частном случае, когда среда однородна, теплопроводность λ не зависит от температуры, уравнение принимает вид:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c_v} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}. \quad (7)$$

Решение уравнения теплопроводности для температурных волн. Уравнение теплопроводности стержня с одномерным осевым полем

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{\rho c_v}{\lambda} \frac{\partial v}{\partial \tau} + \frac{2\alpha}{\lambda R} v, v = t - t_c. \quad (8)$$

Краевые условия задачи. Граничные условия для стержня на левом торце найдут из закона сохранения энергии: входящий в торец поток Φ полностью проходит в стержень, т.е.

$$\Phi = -\lambda \left. \frac{dt}{dx} \right|_{x=0} S. \quad (9)$$

На правом торце наиболее общим является граничное условие III рода, которое имеет вид

$$\left[\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\alpha}{\lambda} (t - t_c) \right] \Big|_{x=l} = 0. \quad (10)$$

Начальные условия

$$v(x, 0) = t_c. \quad (11)$$

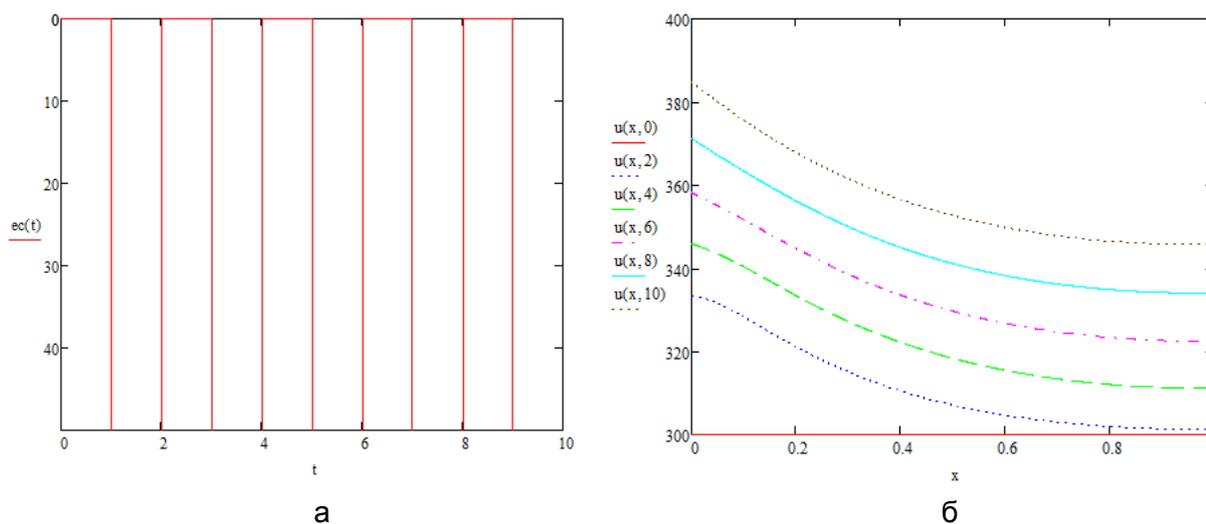


Рис. 2. Тепловой поток, изменяющийся по гармоническому сигналу (а); изменение температурного поля в различные моменты времени (б)

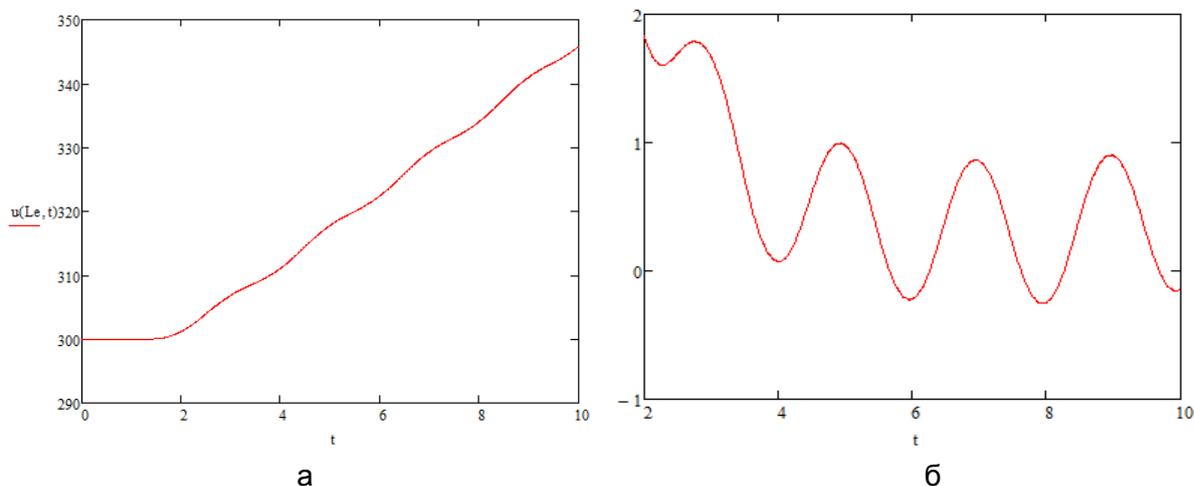


Рис. 3. Изменение температуры на конце стержня (а); изменение температуры на конце стержня (автоколебания) (б)

Рассмотренный выше случай изменения температуры тела (рис. 2 и 3) в среде с переменной во времени температурой применяются в задачах о тепловой инерции различных технических устройств. Различают термопары и термометры сопротивления малоинерционные с постоянной времени менее 40 с, средней инерционности от 60 до 80 с, большой инерционности от 3,5 и 4 мин и ненормированной инерционности. С учетом полученных данных, постоянная времени термопары является переменной величиной для различных типов измерительных приборов, и зависит от конструкции термопары, материалов проводников термопары, толщины провода и толщины корпуса.

Литература

1. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.
2. Шарков А.В., Шубин И.Ф. Расчет и измерение в регулярном режиме теплофизических свойств веществ: учеб. пособие. – Л.: ЛИТМО, 1979. – 87 с.



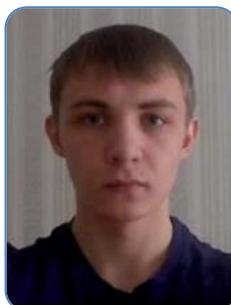
Андреев Владимир Владимирович

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В3450

Направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика

e-mail: andreyevpostbox@gmail.com



Емельянов Дмитрий Вячеславович

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В3450

Направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика

e-mail: dmitriy.emelyanov.de@gmail.com



Лукьянов Геннадий Николаевич

Год рождения: 1946

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, д.т.н., профессор

e-mail: gen-lukjanow@yandex.ru

УДК 681.536.5

СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕРЖНЯ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДЕРЖКИ

Андреев В.В., Емельянов Д.В., Лукьянов Г.Н.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Лукьянов Г.Н.

Рассмотрен подход к решению задачи по регуляризации температуры с учетом транспортной задержки на основе метода температурных волн. Отличительной особенностью этого метода в

рассмотренном приближении является возможность устранения поправок на теплообмен с боковой поверхности и естественное многократное повторение опыта при фиксации нескольких периодов колебаний. Из наблюдений над прохождением температурных волн определяется информация о свойствах среды: теплоемкость, теплопроводность, плотность среды, а также информация о процессах и явлениях, порождающих эти волны. Наибольшее распространение получил метод продольных волн, разработанный Ангстремом.

Ключевые слова: транспортная задержка, метод температурных волн, метод Ангстрема, обратная задача.

Для регулирования отдельных параметров, на примере температуры в объекте управления, применяются системы автоматического управления. Их подход основан на обнаружении отклонений регулируемых величин, характеризующих протекание процесса от требуемого режима при воздействии на объект для устранения отклонений. Для осуществления процесса автоматического регулирования, к объекту подключается автоматический регулятор, вырабатывающий воздействие на регулируемый орган. Это воздействие вырабатывается в зависимости от разности текущего значения, измеряемой датчиком и желаемым ее значением. При таком способе регулирования температуры количество подаваемого тепла может устанавливаться только на двух уровнях, по причине наличия динамических свойств датчика, которые зависят исключительно от объекта регулирования, возникает автоколебательный режим, где температура колеблется около заданного значения. Для решения этой задачи используются температурные источники типа сред с гармоническими колебаниями. Создание таких источников является достаточно сложной технической задачей, поэтому часто пользуются периодическими функциями в виде прямоугольных импульсов [1–4].

Температурные волны – периодические изменения распределения температуры в среде, связанные с периодическими колебаниями плотности тепловых потоков, поступающих в среду. Температурные волны возникают там, где присутствуют периодические источники тепла. В зависимости от свойств исследуемых материалов и конкретной задачи в экспериментальных исследованиях используются температурные волны в широком диапазоне амплитуд и частот.

В данной работе была построена математическая модель теплового режима длинного стержня малого поперечного сечения. Исследуемый тепловой режим устанавливается при прохождении через стержень продольных тепловых волн.

В модели учитывается, что стержень отдает тепло в среду с постоянной, принимаемой за нуль температурой. По истечении достаточного времени температура в стержне становится некоторой периодической функцией, не зависящей от начального распределения температур. В частном случае, когда среда однородна, теплопроводность λ не зависит от температуры, уравнение принимает вид:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \nu v, v = t - t_c. \quad (1)$$

Граничные условия для стержня на левом торце найдут из закона сохранения энергии: входящий в торец поток Φ полностью проходит в стержень, т.е.

$$\Phi = -\lambda \left. \frac{dt}{dx} \right|_{x=0} S. \quad (2)$$

На правом торце наиболее общим является граничное условие III рода, которое имеет вид

$$\left[\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\alpha}{\lambda} (t - t_c) \right] \Big|_{x=l} = 0. \quad (3)$$

Начальные условия

$$v(x, 0) = t_c. \quad (4)$$

Ищем периодическое решение уравнения

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \nu v. \quad (5)$$

В виде: $v = V(x)e^{inwt}$. (6)

После подстановки уравнения (6) в уравнение теплопроводности получим для V следующее решение:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\nu + inw}{\chi} V = 0. \quad (7)$$

Решение этого уравнения, стремящееся к 340 К, когда $x \rightarrow L$, где L – длина стержня, имеет вид:

$$V = V_0 e^{-q_n x - iq'_n x}. \quad (8)$$

Таким образом,

$$v = \sum_{n=0}^{\infty} A_n e^{-q_n x} \cos(nwt - q'_n x + \varepsilon_n). \quad (9)$$

Рассмотрим обратную задачу:

$$U_t = U_{xx}, x \in (0,1), t \geq 0, \quad (10)$$

$$U(x, 0) = 0, U(0, t) = 0, x \in (0,1), t \geq 0,$$

$$U_x(0, t) = g(t), t \geq 0.$$

В этой задаче требуется найти граничное значение функции

$$U(1, t) = \varphi(t), t \geq 0. \quad (11)$$

Сведем исходную задачу к интегральному уравнению. С этой целью решаем прямую задачу, предположив, что функция

$U(1, t) = \varphi(t)$ известна:

$$U_t = utt, x \in (0,1), t \geq 0, \quad (12)$$

$$U(x, 0) = 0, x \in (0,1),$$

$$U(0, t) = 0, U(1, t) = \varphi(t), t \geq 0.$$

Решив эту задачу, получим уравнение, связывающее функции $u(1, t) = \varphi(t)$ и $u_x(0, t) = g(t)$.

$$\sum_{n=1}^N (-1)^n (\pi^2 n^2 \int_0^t \varphi(\tau) e^{-\pi^2 n^2 (t-\tau)} d\tau) = g(t).$$

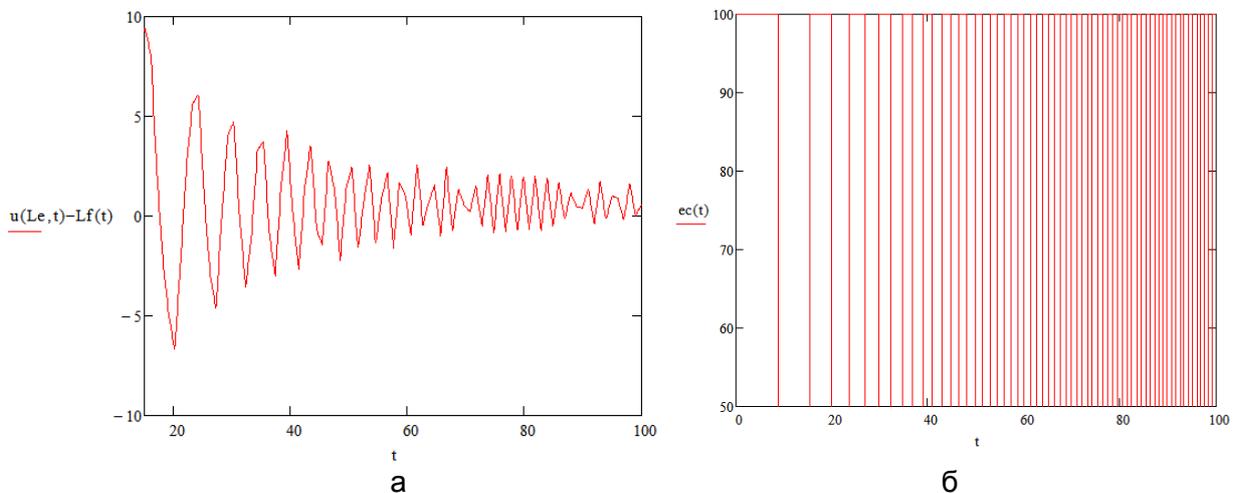


Рис. 1. Область графика колебаний температуры (а); управляющая функция (б)

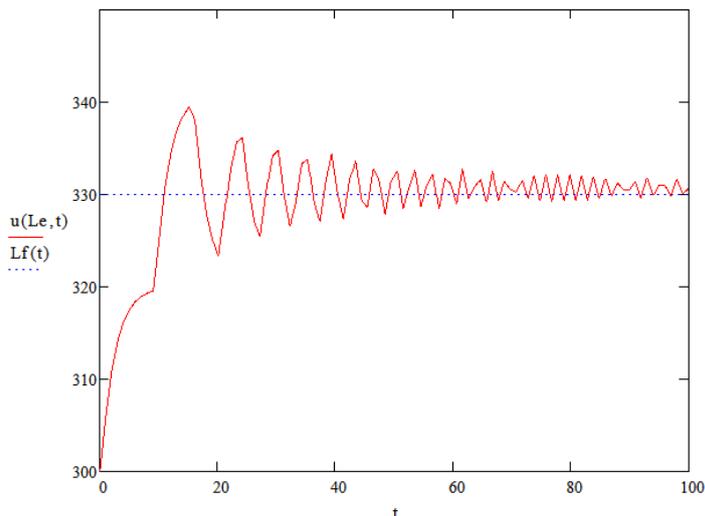


Рис. 2. Изменение температуры под действием управляющей функции

Результаты моделирования показали, что с учетом наличия динамических свойств датчика при проектировании регулятора можно избавиться от возникновения периодических колебаний значений амплитуды путем создания управляющей функции (рис. 1, 2), которая бы регулировала количество подаваемого теплового потока на конец стержня.

Литература

1. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием / Пер. с польского. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.
2. Шарков А.В., Шубин И.Ф. Расчет и измерение в регулярном режиме теплофизических свойств вещества: учеб. пособие. – Л.: ЛИТМО, 1979. – 87 с.
3. Петров Ю.П., Сизиков В.С. Корректные, некорректные и промежуточные задачи с приложениями. – СПб.: Политехника, 2003. – 261 с.
4. Сизиков В.С. Обратные прикладные задачи. – СПб.: Лань, 2011. – 256 с.



Арбузова Евгения Александровна

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4207

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: markvart1@yandex.ru

УДК 504.064.47

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Арбузова Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чертов А.Н.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

В ходе работы проведено исследование возможностей создания технологии оптической сортировки твердых бытовых отходов для выделения из исходного смешанного потока видов отходов (в первую очередь пластиковых), пригодных для вторичной переработки.

Ключевые слова: технология, ТБО, сортировка, смешанный поток, отходы.

Направление в изменении состава и формы отходов на данный момент нацелено на рост доли пластиковых материалов. К сожалению, использование разнообразных полимерных вариаций создает большие сложности в качественном распознавании данного материала, подходящего для вторичного использования, особенно в большом потоке твердых бытовых отходов (ТБО) при ручной сортировке [1–3].

Для повышения производительности и надежности используют автоматические сортировочные системы с использованием сенсоров, получающих данные о химических и физических свойствах материалов. В России на данный момент времени используются в работе лишь отдельные элементы таких автоматических систем, и весь акцент идет на ручную сортировку, так как в нашей стране до сих пор не решена проблема организации раздельного сбора отходов в местах их формирования. Таким образом, можно с уверенностью сказать, что вопрос о создании полностью автоматизированной линии сортировки ТБО, происходящей из неразделенного потока мусора, является весьма актуальным в России.

Актуальными направлениями исследований для внедрения технологии оптико-механической сортировки являются:

- определение спектральных характеристик специфических материалов с занесением в базу данных, добавление новых материалов, характерных для российских отходов;
- определение зависимости спектральных характеристик от влажности материала;
- определение технологических параметров сортировки смешанных ТБО и раздельно собранных отходов.

Разработана структурная схема элемента измерительной установки системы для сепарации твердых бытовых отходов (рис. 1).

Система состоит из блока питания (БП), блока управления источниками излучения (БУ ИИ), источников излучения (ИИ), объектов наблюдения (ОН), оптической системы (ОС), приемника оптического излучения (ПОИ) и блока обработки информации (БОИ).

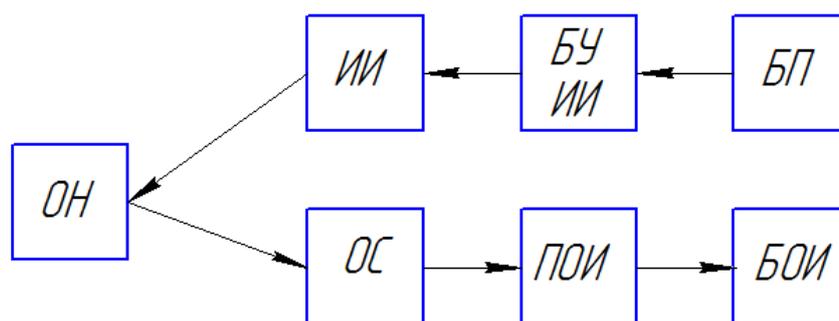


Рис. 1. Структурная схема измерительной установки ОЭС СТБО

Принцип работы системы поясняется следующим образом: ИИ освещают наблюдаемые объекты заданным на БУ ИИ диапазоном излучения. Отраженный свет попадает через объектив на ПОИ, после которого сигнал идет на БОИ, где принимается нужное решение.

Также разработан элемент конструкции (рис. 2) измерительной установки для проведения экспериментальных исследований.

Качество и стоимость вторичного сырья полностью зависит от исходного. Одна из проблем – это наличие в сырье одной категории примесей другой или смешение двух различных цветов. Вторичное использование пластмассы является выгодным решением. Из

нее можно получить: топливо, волокна, химическое сырье и делать новую тару. Также производство из вторичных ПБО экономит 60–65% энергии.

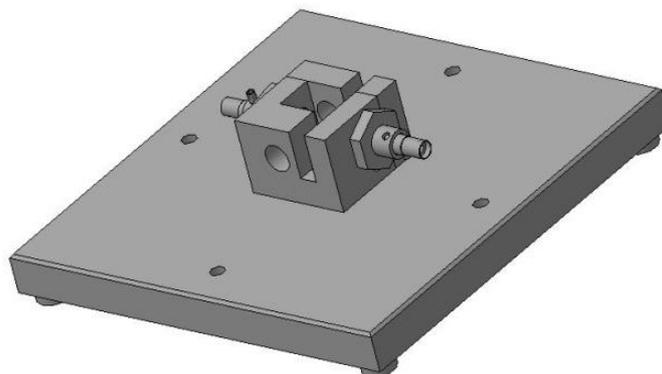


Рис. 2. Элемент конструкции измерительной установки

В ходе работы были проведены следующие эксперименты.

Первый эксперимент заключался в прохождении излучения через образцы. Поток света, исходящий от источника излучения, которым является лампа накаливания, и проходящий по оптоволоконному кабелю P600-1-SR фирмы Ocean Optics попадает на поверхность объекта наблюдения и проходит сквозь него. После прохождения поток излучения попадает через другой оптоволоконный кабель на спектрометр USB4000 фирмы Ocean Optics, информация от которого поступает на персональный компьютер.

Второй эксперимент заключался в сканировании отраженного от поверхности образца излучения. Поток излучения источника проходит по оптоволокну P600-1-SR фирмы Ocean Optics, попадает на поверхность объекта и отражается от него. Отраженный свет попадает на спектрометр, после чего информация попадает на компьютер, где происходит дальнейший анализ полученных данных с помощью программы SpectraSuite.

Результаты экспериментов показали, что между разными видами материала степень отражения оптического излучения разная, но можно выявить одинаковые участки спектров между разными образцами одного подвида материала.

Литература

1. Чуняева А.В., Коротаев В.Н., Григорьев В.Н. Оптическая сортировка для совершенствования технологической схемы сортировки ТБО // Вестник Пермского ГТУ. – 2010. – № 2. – С. 5–11.
2. TITECH autosort [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://koasltd.com/ckfinder/userfiles/images/PDF/Titech/Makineler/Autosort_eng.pdf, своб.
3. Филькин Т.Г., Борисов Д.Л., Коротаев В.Н. Технология оптической сортировки отходов: анализ факторов, влияющих на эффективность воздушной сепарации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/45559615-Tehnologii-opticheskoy-sortirovki-othodov-analiz-faktorov-vliyayushchih-na-effektivnost-vozdushnoy-separacii.html>, своб.



Ахмедьянов Руслан Айнурович

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, группа № В4164

Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

e-mail: ruslan4815@mail.ru

**Слободов Александр Арсеньевич**

Год рождения: 1951

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, д.х.н., профессор
e-mail: aslobd@gmail.com

УДК 666.9-16

СОВМЕСТНЫЙ СИНТЕЗ КАРБИДОВ ТИТАНА И КРЕМНИЯ**Ахмедьянов Р.А., Слободов А.А.**

В работе рассмотрен процесс получения высокодисперсных карбидов титана и кремния путем карботермического синтеза, при помощи термодинамического моделирования физико-химических процессов, основанного на критерии минимизации энергии Гиббса системы. Получен равновесный фазово-химический состав карбидной системы в зависимости от температуры и содержания компонентов. **Ключевые слова:** карботермический синтез, термодинамическое моделирование, карбидная смесь, высокотемпературный синтез.

В ряде современных химических технологий используются порошкообразные смеси нескольких веществ, обладающих чрезвычайно высокой дисперсностью. В этом случае, как известно, мелкодисперсные частицы обладают существенно более высокой энергией, чем обычная кристаллическая фаза – за счет избыточной поверхностной энергии. В силу этого, система становится термодинамически нестабильной, самостоятельно стремящейся модифицировать свое состояние (структуру, поверхность, и т.д.), понижая тем самым свою энергию [1]. На практике это самопроизвольное изменение состояния сводится в первую очередь к спонтанному укрупнению мелкодисперсных частиц, они самопроизвольно слипаются и укрупняются. В результате удельная поверхность материала становится многократно ниже, система стабилизируется. Побочным отрицательным эффектом этого явления является сложность равномерного и глубокого смешения двух или более фаз (порошков). Основная причина этого – вышеописанная агломерация (укрупнение) каждой из смешиваемых порошкообразных фаз, еще до начала их смешения. Таким образом, казалось бы, чисто техническая причина становится серьезной, труднорешаемой причиной снижения качества получаемых на основе процесса смешения высокодисперсных (наноструктурированных) исходных компонентов. Весьма перспективным выходом из создавшегося положения представляется подход, при котором смешение мелкодисперсных компонентов сопровождается и сопровождает их непосредственное образование путем проведения целенаправленного химического процесса. В этой ситуации мелкодисперсные частицы исходных компонентов образуются самопроизвольно (за счет химического процесса) и являются естественным промежуточным состоянием зарождения и роста новой фазы. Если процесс образования и роста новой фазы удастся совместить в пространстве и времени для каждого из компонентов, то отмеченная проблема существенного избыточного роста энергии для каждого из этих фаз отпадает сама по себе, поскольку не происходит независимого укрупнения частиц каждого из компонентов.

Представленный в данной работе метод термодинамического моделирования и расчета фазово-химических превращений и равновесий в многокомпонентных системах основан на критерии минимизации энергии Гиббса [2], и обеспечивает решение и рассматриваемой проблемы смешения.

В соответствии с этим подходом задача сводится к термодинамическому моделированию трех- и четырехкомпонентной системы на основе исходных компонентов (оксидов титана и кремния) и вводимого углерода:



В зависимости от соотношений количеств исходных трех компонентов, температуры, а также давления (в меньшей степени), как показали полученные результаты термодинамического моделирования системы [3], могут быть получены различные продукты взаимодействия: Ti_5Si_3 , TiSi , TiC , SiC .

В результате проведенного анализа были определены как наиболее перспективные следующие два соотношения исходных оксидов:

эквимольное: $\text{SiO}_2:\text{TiO}_2 = 1:1$

«полуторное»: $\text{SiO}_2:\text{TiO}_2 = 1,5:1$.

Результат термодинамического моделирования зависимости состава системы от ее температуры при эквимольном соотношении оксидов, приведен в рисунке. Процесс начинается с последовательного восстановления оксида титана, которое начинается с постепенного отщепления кислорода, и заканчивается присоединением углерода к титану. При температуре 1980 К происходит образование карбида кремния, и при дальнейшем нагревании система остается стабильной. При полуторном соотношении температура образования карбида кремния выше, порядка 2230 К, следовательно, для достижения наименьшей температуры протекания нужного процесса необходимо избегать избытка оксида кремния в системе.

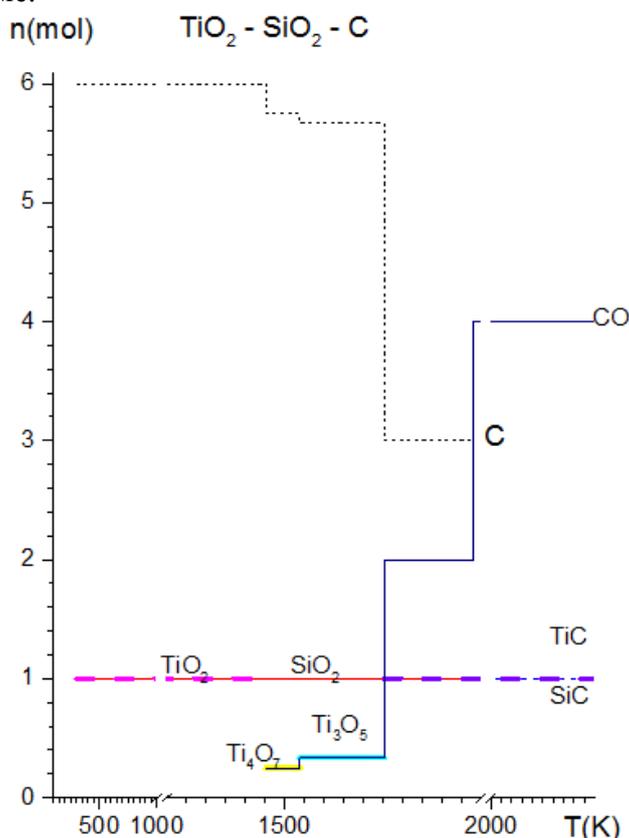


Рисунок. Влияние температуры на состав системы

По полученным данным можно судить о возможных условиях протекания нужного процесса, требуемом объеме затраченной энергии, и ресурсов. Эти условия являются достижимыми в промышленных условиях, но требуют практической проверки из-за возможных отклонений между реальными и теоретическими системами [4].

Литература

1. Бугаевский А.А. Основы математического описания и расчет состава равновесных химических систем // Физика молекул. – 1981. – № 10. – С. 97–134.
2. Успенский А.А., Слободов А.А. Возможности термодинамического моделирования химико-технологических систем и процессов // V Всероссийский конгресс молодых ученых. Сб. тезисов докладов. – 2016. – С. 420–421.
3. Дахно В.И., Слободов А.А. Компьютерное термодинамическое моделирование физико-химических процессов в многокомпонентных системах // V Всероссийский конгресс молодых ученых. Сб. тезисов докладов. – 2016. – С. 432–433.
4. Успенский А.Б., Слободов А.А. Проблема обеспечения корректности и согласованности термодинамических характеристик веществ в широком температурном диапазоне // V Всероссийский конгресс молодых ученых. Сб. тезисов докладов. – 2016. – С. 442–443.

**Ахмеров Артём Харисович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4107

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: mail.artofwr@gmail.com

**Денисов Виктор Маевич**

Год рождения: 1955

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,

д.т.н., доцент

e-mail: mail@flagman-geo.ru

**Радилов Андрей Владимирович**

Год рождения: 1957

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН

e-mail: radilov.andrey@flagman-geo.ru

УДК 681.785.554

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММНО-
АЛГОРИТМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ И РАСПОЗНАВАНИЯ СПЕКТРОВ
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ****Ахмеров А.Х.** (Университет ИТМО), **Денисов В.М.** (Университет ИТМО),
Радилов А.В. (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН)

В работе рассмотрены основные принципы построения и работы оптических полевых спектрометров широкого диапазона действия. Разработана структурная схема оптического полевого спектрометра,

работающего в диапазоне от 300 до 2500 нм. При проведении геологоразведочных работ используются различные методы анализа, в частности, спектральный анализ. Чтобы анализировать излучение, отраженное, пропускаемое или испускаемое объектом, используются оптические полевые спектрометры.

Ключевые слова: геологоразведка, спектрометрия, полевой спектрометр.

Как правило, для полевых приборов предъявляются повышенные требования к компактности, устойчивости к внешним воздействиям, отсутствию подвижных частей, автономности и простоте использования. Для существенного понижения требований к квалификации пользователя, а также увеличения конкурентоспособности на рынке, для полевых спектрометров разрабатываются программные пакеты, обеспечивающие автоматический анализ полученных спектров излучения.

Основной **целью исследования** являлась разработка программно-алгоритмического комплекса распознавания спектров оптического излучения. Прежде, чем приступить к разработке программного обеспечения, необходимо разработать конструкторскую документацию на прибор, в составе которого оно функционирует. Текущий этап исследования был посвящен разработке структурной схемы полевого спектрометра, обеспечивающего получение спектральной характеристики излучения в спектральном диапазоне от 300 до 2500 нм.

Был проведен аналитический обзор, по результатам которого были найдены производители, предлагающие приборы, по своему функционалу аналогичные разрабатываемому, базирующиеся в США и Белоруссии [1, 2].

Анализ спектрометров OreXpress компании Spectral Evolution и ПСР-02 НИИПФП им. А.Н. Савченко показал, что оба аналога не включают в себя подвижных элементов, а их принцип работы заключается в проецировании спектра излучения, получаемого при помощи отражательных дифракционных решеток, на несколько многоэлементных фотоприемников, каждый из которых отвечает за определенный спектральный интервал. Заметим, что решеток устанавливают также несколько, так как для различных спектральных интервалов более оптимальными будут являться решетки с различными постоянными.

В соответствии с общим принципом работы, полевой спектрометр должен включать в себя следующие функциональные узлы: приемную оптическую систему, собирающую свет, спектр которого несет полезную информацию; диспергирующий узел, разлагающий излучение на спектральные составляющие; фотозлектрический преобразователь; электронный тракт обработки. Разработанная структурная схема состоит из двух блоков: оптического блока (БО) и анализирующего блока (БА) (рисунок).

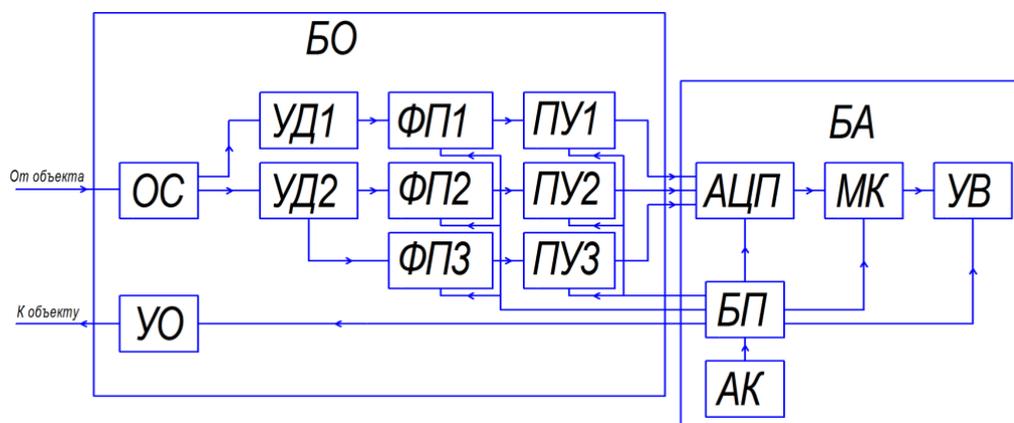


Рисунок. Структурная схема полевого спектрометра

БО (рисунок) состоит из осветительного узла (УО), оптической системы (ОС), диспергирующих узлов (УД1, УД2), фотоприемников (ФП1, ФП2, ФП3) и предусилителей

(ПУ1, ПУ2, ПУ3). Излучение, испускаемое источником, падает на образец, затем отражается от него и попадает во входную щель приемной системы. Внутри ОС световой поток разделяется на две части, которые перенаправляются в УД1 и УД2. Попавшее в УД1 излучение разлагается в спектр, из которого при помощи выходной щели выделяется спектральный интервал 300–1000 нм. В УД2 аналогичным образом выделяется интервал 1000–2500 нм. Излучение, проходящее через выходную щель УД1, попадает на ФП1. Излучение, проходящее через выходную щель УД2, направляется на ФП2. Часть этого излучения, соответствующая спектральному интервалу 1500–2500 нм, перенаправляется на ФП3 при помощи зеркальной поверхности. Сигнал с каждого усиливается до величин, подходящих для оцифровки сигнала, при помощи ПУ.

БА (рисунок) состоит из аналого-цифрового преобразователя (АЦП), микроконтроллера (МК), устройства вывода (УВ), блока питания (БП) и аккумулятора (АК). Аналоговый сигнал оцифровывается при помощи АЦП. МК производит обработку сигнала по специальному алгоритму и сравнивает его с базой спектров излучения различных элементов, чтобы определить состав исследуемого образца. Результат выводится на УВ для оценки оператором. БП обеспечивает перераспределение энергии АК между всеми энергопотребляющими элементами прибора.

Разработанный вариант структурной схемы не является окончательным, он может быть доработан при дальнейшем проектировании прибора. В частности, если уменьшение стоимости прибора за счет уменьшения разрешающей способности и чувствительности в инфракрасном диапазоне будет сочтено целесообразным, можно использовать не три, а два фотоприемника. Направления дальнейших исследований – выбор структурных элементов, разработка конструкции и программно-алгоритмического комплекса.

Литература

1. OreXpress Full Range, Field Portable Spectrometers for Mineral Identification and Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.spectralevolution.com/spectrometers_oreXpress.html, своб.
2. Цикман И.М. Системные параметры и методики калибровки спектрометров для дистанционной диагностики природных и искусственных объектов в диапазоне 0,35–2,5 мкм: автореф. дисс. к.т.н. по спец. 01.04.01 (18.10.2013). – Минск: БГУ НИИПФП им. А.Н. Севченко, 2013. – 24 с.



Балмашнов Роман Владимирович

Год рождения: 1992

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: roman.balmashnov@mail.ru



Кацев Юрий Владиславович

Год рождения: 1986

Научно-исследовательский центр лазерной физики, вед. инженер

e-mail: yury.katsev@gmail.com



Корнев Алексей Федорович

Год рождения: 1960

Научно-исследовательский центр лазерной физики, вед. инженер

e-mail: afkornev@hotmail.com



Кучма Игорь Григорьевич

Год рождения: 1963

Научно-исследовательский центр лазерной физики, вед. инженер

e-mail: igor_kuchma@yahoo.com



Оборотов Дмитрий Олегович

Год рождения: 1978

Научно-исследовательский центр лазерной физики, вед. инженер

e-mail: dimitry.oborotov@gmail.com

УДК 621.373.826

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛУЧЕВОЙ СТОЙКОСТИ ЗЕРКАЛ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ
ОТРАЖАЮЩИМ СЛОЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПИКΟΣЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

Балмашнов Р.В., Кацев Ю.В., Корнев А.Ф., Кучма И.Г., Оборотов Д.О.

Научный руководитель – Корнев А.Ф.

Одним из важных применений лазерных систем с пикосекундной длительностью импульсов является лазерная дальнометрия. Применение в дальнометрии излучения с пикосекундной длительностью импульсов делает актуальным вопрос о лучевой стойкости зеркал, используемых для доставки излучения лазера к оптическим элементам дальнометра.

Ключевые слова: твердотельный лазер, диодная накачка, пикосекундная длительность импульсов, лучевая стойкость.

В настоящее время перед Научно-исследовательским центром лазерной физики Университета ИТМО стоит задача разработки лазера, который будет использоваться для измерения точного расстояния до естественных и искусственных спутников Земли. Отличительными особенностями рассматриваемого лазера являются высокая выходная энергия (около 0,5 Дж на длине волны 1064 нм и 0,25 Дж – на длине волны 532 нм) и высокая частота следования импульсов (200 Гц) в импульсно-периодическом режиме с пикосекундной длительностью импульсов (100 пс).

В данной работе по созданию лазера была поставлена задача исследовать лучевую стойкость двух образцов зеркал с металлическим отражающим слоем под воздействием пикосекундного излучения с длинами волн 1064 и 532 нм: алюминиевое (Al) зеркало на ситалловой подложке, серебряное (Ag) зеркало на бериллиевой подложке. Такие зеркала

могут использоваться в приложениях, требующих высокую механическую и тепловую стабильность оптических элементов, в оптике телескопов, аэрокосмической технике, ядерной энергетике.

Экспериментальная установка. В качестве источника излучения использовался макет лазера с выходной энергией 430 мДж и длительностью импульсов 100 пс, работающий на частоте следования импульсов 200 Гц. Макет лазера реализован по схеме: пикосекундный задающий генератор – усилитель мощности [1]. Оптическая схема лазера приведена на рис. 1.

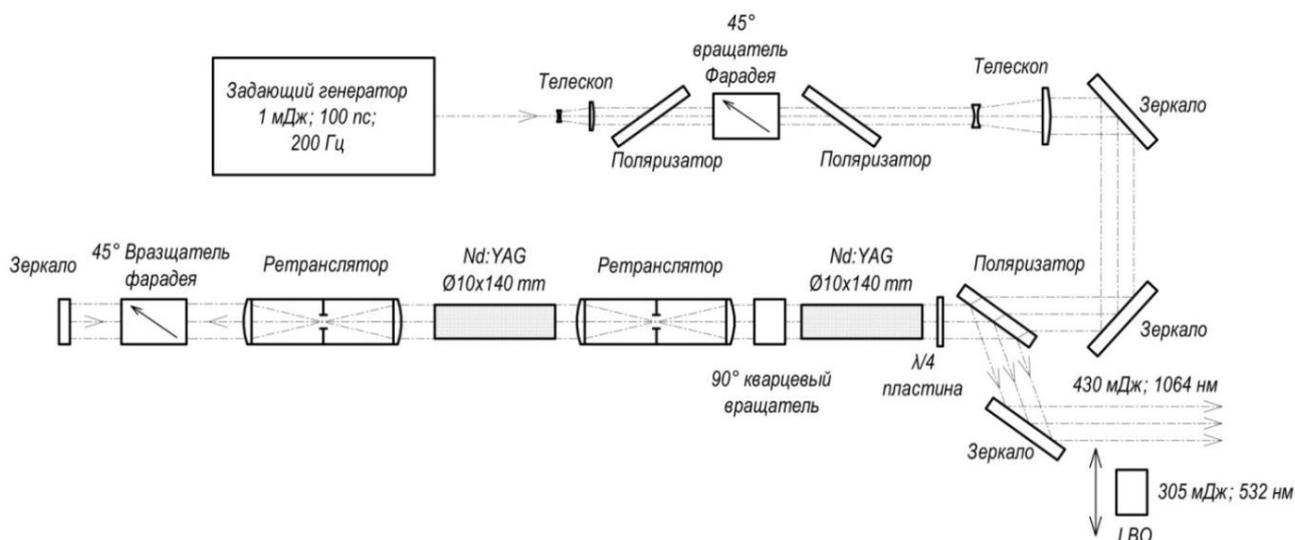


Рис. 1. Оптическая схема лазера

Задающий генератор обеспечивал выходную энергию 1 мДж. Усилитель собран на двух квантронах с активными элементами Nd:YAG $\text{Ø}10 \times 140$ мм. Каждый активный элемент накачивался тремя лазерными диодными матрицами FocusLight с длиной волны 808 нм. Для компенсации термически наведенного двулучепреломления использовались установленные между квантронами ретранслятор и 90° кварцевый вращатель. Вывод излучения был реализован с помощью поляризационной развязки на основе вращателя Фарадея и поляризатора. Для защиты задающего генератора от деполаризованной компоненты дополнительно использовался изолятор Фарадея.

Значение плотности энергии вычислялось как отношение значения энергии в импульсе к площади поперечного сечения пучка на образце.

На рис. 2 приведены графики с результатами измерений.

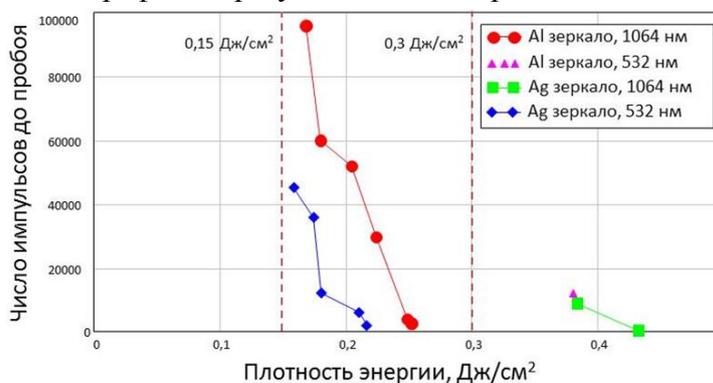


Рис. 2. Графики зависимости числа импульсов до пробоя от плотности энергии на образце при пикосекундной длительности импульсов

Видно, что лучевая стойкость Al зеркала под воздействием излучения 1064 нм и Ag зеркала под воздействием излучения 532 нм выше, чем лучевая стойкость Al зеркала на длине волны 532 нм и Ag зеркала на длине волны 1064 нм.

Также было проведено сравнение лучевой стойкости зеркал при воздействии наносекундным и пикосекундным излучениями с длиной волны 1064 нм.

Авторы, используя экспериментальные данные, рассчитали температуру нагрева облучаемой поверхности покрытия после воздействия одиночного импульса с энергией, при которой гарантированно наблюдалось повреждение покрытия. Температура нагрева облучаемой поверхности покрытия вычислялась по следующей формуле [2]:

$$T = T_0 + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{W(1-R)}{\sqrt{\tau\lambda c\rho}},$$

где T_0 – начальная температура материала покрытия; W – плотность энергии на образце; R – коэффициент отражения зеркала; τ – длительность импульса; λ, c, ρ – теплопроводность, удельная теплоемкость, плотность материала покрытия соответственно.

Результаты измерений лучевой стойкости и расчетов температуры нагрева поверхности покрытия, а также сравнение со справочными значениями температуры плавления материала покрытия приведены в таблице.

Таблица. Результаты экспериментов

Образец	λ , нм	Коэффициент отражения	Лучевая стойкость, Дж/см ²		Расчет температуры нагрева, °С		Температура плавления по справочным данным, °С
			100 пс	10 нс	100 пс	10 нс	
Al зеркало	532	97,5%	0,3	–	–	–	660
	1064	91,6%	0,16	0,9	896	670	
Ag зеркало	532	91,5%	0,15	–	–	–	962
	1064	97,4%	0,3	3,7	507	929	

Из таблицы видно, что имеется корреляция значений лучевой стойкости с коэффициентом отражения зеркал. Температура нагрева материала под воздействием импульса, рассчитанная из экспериментальных данных измерения лучевой прочности, с хорошей точностью совпадает со справочными данными о температуре плавления материала. Можно сделать вывод, что основными механизмами разрушения покрытия является плавление металла, приводящее к необратимой деградации зеркального покрытия.

Как показали результаты экспериментов, справедливо приближение, согласно которому лучевая прочность покрытия (Дж/см²) изменяется обратно пропорционально $\sqrt{\tau}$ [3].

Выводы. Измерена лучевая стойкость зеркал с металлическим отражающим слоем под действием пикосекундных импульсов. Лучевая стойкость Al зеркала на длине волны 532 и 1064 нм равна 0,3 и 0,15 Дж/см² соответственно. Лучевая стойкость Ag зеркала на длине волны 532 и 1064 нм равна 0,16 и 0,3 Дж/см² соответственно.

Результаты расчета температуры нагрева поверхностного слоя металла, полученные при обработке данных, хорошо согласуются с данными о температуре плавления отражающего материала зеркала.

Показано, что приближение, в соответствии с которым лучевая прочность покрытия изменяется обратно пропорционально $\sqrt{\tau}$, может успешно применяться для оценки лучевой прочности зеркал под действием импульсов с длительностью 100 пс–10 нс.

В заключение авторы работы выражают благодарность В.П. Покровскому за полезные обсуждения.

Литература

1. Balmashnov R.V., Katsev Y.V., Kornev A.F., Kuchma I.G., Oborotov D.O. 100 ps 360 mJ 200 Hz Nd:YAG laser for the lunar laser ranging // International Conference Laser Optics. – 2016. – P. R6-4–R6-4.
2. Вейко В.П., Шахно Е.А. Лазерные технологии в задачах и примерах: учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2014. – 88 с.
3. Stuart B.C., Feit M.D., Rubenchik A.M., Shore B.W., Perry M.D. Laser-Induced Damage in Dielectrics with Nanosecond to Subpicosecond Pulses // Phys. Rev. Lett. – 1995. – V. 74. – P. 2248.



Беликов Андрей Вячеславович

Год рождения: 1967

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, д.ф.-м.н., профессор

e-mail: meddv@grv.ifmo.ru



Семьяшкина Юлия Викторовна

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4240

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: yvsemyashkina@mail.ru



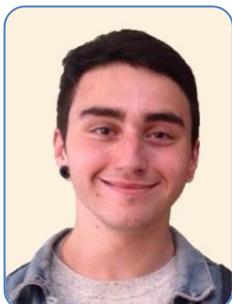
Модин Михаил Александрович

Год рождения: 1989

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В4115

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: michail.modin@mail.ru



Жубрёв Давид Расимович

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В3415

Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: dav-4ever@yandex.ru



Полукаров Артем Сергеевич

Год рождения: 1996

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В3415

Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: Shrekt11@gmail.com

УДК 535.212

**СВЕТОДИОДНЫЙ АППАРАТ ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ
ОНИХОМИКОЗА**

**Беликов А.В., Семяшкина Ю.В., Модин М.А., Жубрёв Д.Р., Полукаров А.С.
Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Беликов А.В.**

Список заболеваний, которые можно лечить с помощью фото- и фотодинамической терапии, постоянно расширяется, что стимулирует разработку новых световых, в том числе светодиодных и лазерных аппаратов, технологий и систем. Представлены результаты антропометрического исследования пальцев и стоп ног человека, и сформулированы требования к размеру и форме светового пятна для фотодинамической терапии онихомикоза. Описано устройство, и в программном пакете «TracePro Expert-7.0.1 Release» (LambdaResearchCorp., США) рассчитаны распределения интенсивности света, создаваемые на поверхности ногтей пальцев ног человека светодиодным аппаратом для фотодинамической терапии онихомикоза («LEDForester», РФ). Определены эффективность системы транспортировки и расстояние от светодиодов до поверхности ногтей, достаточное для достижения за комфортное для терапии время процедуры (30 мин) минимальной терапевтической дозы.

Ключевые слова: светодиод, интенсивность света, онихомикоз, ногтевая пластина, доза, длина волны, фотодинамическая терапия, моделирование.

Онихомикоз – инфекционное заболевание ногтей грибковой этиологии, вызываемое дерматомицетами, дрожжевыми или плесневыми грибами. По данным [1] частота онихомикоза в популяции составляет от 2 до 14%. Однако истинная картина распространенности заболевания традиционно считается большей – не менее 10–20% населения. Чем старше человек, тем выше риск заболевания. Например, у людей старше 70 лет распространенность онихомикоза стоп может составлять 50% и выше. В России количество больных онихомикозом варьирует от 4,5 до 15 млн человек. Одним из перспективных оптических малоинвазивных методов лечения онихомикоза является фотодинамическая терапия (ФДТ) – фототерапия с применением фотосенсибилизатора (ФС), в качестве которого используется поглощающий свет краситель, например, радахлорин [2]. В результате фотодинамической терапии атипичные клетки или микроорганизмы (грибы) селективно разрушаются, а срок лечения по сравнению с традиционными методами сокращается.

Цель работы: моделирование распределения интенсивности света, создаваемого на поверхности ногтей пальцев ног человека светодиодным аппаратом для фотодинамической терапии онихомикоза («LEDForester», РФ), оценка эффективности транспортировки света и геометрии облучения, необходимой для достижения минимальной терапевтической дозы.

Терапевтический эффект при лечении онихомикоза достижим при дозе световой энергии 200–400 Дж/см² [2]. Таким образом, минимальная терапевтическая доза составляет 200 Дж/см². В то же время интенсивность света на поверхности облучаемой биоткани не должна превышать 200 мВт/см², так как при этом возможно возникновение гипертермии, т.е. опасный перегрев [3].

В светодиодном аппарате для фотодинамической терапии онихомикоза («LEDForester», РФ) требуемые для достижения терапевтического эффекта параметры реализуются за счет сменных и интегрируемых друг с другом светодиодных модулей, излучающих на длине волны поглощения радахлорина (660 ± 10 нм), используемого в качестве ФС. А также за счет совместного расположения светодиодов и их драйверов на эффективно охлаждаемой односторонней металлической плате (пр-во ООО «Резонит», СПб, Россия), и применения оптимальной для каждого светодиодного модуля системы охлаждения, универсального блока питания и системы управления. Высокая эффективность передачи излучения от светодиодов к биоткани реализуется уникальной системой рециркуляции света, входящей в состав каждого модуля. При разработке использованы программные продукты TracePro (оптический расчет) и SolidWorks (конструкторская документация), Bluetooth Developer Studio (протокол управления с помощью технологии Bluetooth), KiCAD (схема печатной платы), PSoC Creator (программа микроконтроллера), Android Studio (интерфейс пользователя).

Для выбора размера и формы области облучения были проанализированы фотографии ног добровольцев (мужчины и женщины). В результате были определены среднестатистические из выборки антропометрических данных размеры стоп и пальцев ног человека (фотоаппарат, программное обеспечение CorelDrawX7, ImageJ). Результаты исследования представлены на рис. 1.

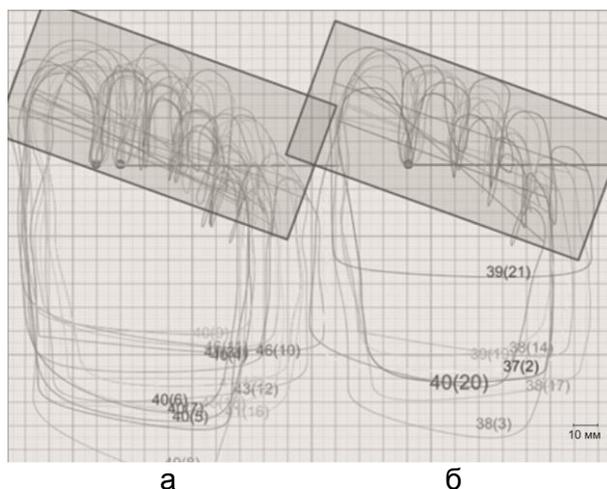


Рис. 1. Контуры, полученные в программе CorelDraw X7 при обработке фотографий стоп и пальцев ног мужчин (а) и женщин (б). Выборка: 21 фотография. Размеры стоп – от 36 до 46. Прямоугольник – площадка 12 (длина) \times 6 (ширина) см^2

Видно, что ногти и пальцы ног всех добровольцев, независимо от их пола, могут быть размещены на площадке прямоугольной формы с размером 6×12 см^2 . Площадка с такими размерами может быть облучена двумя светодиодными модулями, каждый из которых создает на поверхности ногтей пальцев ног человека световое пятно с размером $S=6\times 6$ см^2 .

Длина волны излучения светодиодов должна соответствовать длине волны поглощения радахлорина (660 ± 3 нм), светодиод должен иметь малый угол половинной яркости, высокую мощность и эффективность. В аппарате «LEDForester» использован светодиод OSLON LH-CP7P-2T3T-1 (Osram Opto Semiconductor, Германия): длина волны 660 ± 10 нм, угол половинной яркости 80° , мощность 1 Вт, эффективность 50% [4].

При моделировании распределения интенсивности света светодиодных модулей в программном пакете «TracePro Expert-7.0.1 Release» (LambdaResearchCorp., США) использовался источник с распределением интенсивности света, близким к распределению, указанному в спецификации светодиода OSLON LH-CP7P-2T3T-1 (рис. 2).

В каждом светодиодном модуле использовано $N=28$ светодиодов OSLON LH-CP7P-2T3T-1 (4 ряда по 7 светодиодов в каждом), светодиоды расположены на односторонней металлической плате (пр-во ООО «Резонит», СПб, Россия).

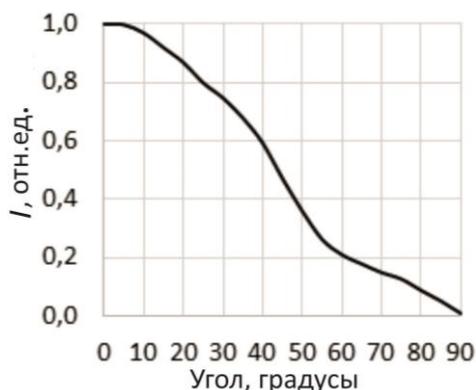


Рис. 2. Угловое распределение интенсивности света (I) для модели источника света

Оценим эффективность системы транспортировки излучения одного светодиодного модуля аппарата «LEDForester». Из спецификации OSLO LH-CP7P-2T3T-1 следует, что его стандартная оптическая мощность равна 0,365 Вт (P_{LED}), отсюда интенсивность света, от одного светодиодного модуля (I'):

$$I' = NP_{LED}/S = 285 \text{ мВт/см}^2. \quad (1)$$

Для отсутствия гипертермии интенсивность на поверхности ногтя не должна превышать 200 мВт/см^2 , отсюда эффективность системы транспортировки (η_T) должна быть $<70\%$. Взаимосвязь эффективности системы транспортировки и времени, необходимого для достижения минимальной терапевтической дозы (200 Дж/см^2) иллюстрирует таблица.

Таблица. Эффективность системы транспортировки, интенсивность на поверхности ногтя и время, необходимое для достижения минимальной терапевтической дозы

$\eta_T, \%$	$I', \text{ мВт/см}^2$	$t, \text{ с}$	$t, \text{ мин}$
70	200	1000	16,5
60	170	1180	19,5
50	140	1430	24
40	115	1740	29
30	85	2350	39

Если допустить, что продолжительность процедуры фотодинамической терапии ониомикоза не должна превышать 30 мин, тогда эффективность системы транспортировки должна лежать в диапазоне $40\% < \eta_T < 70\%$.

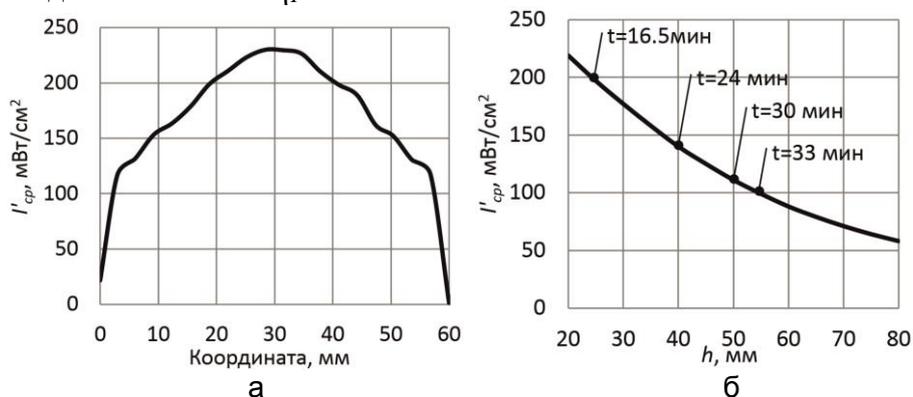


Рис. 3. Распределение интенсивности света, на расстоянии $h=40 \text{ мм}$ (один светодиодный модуль) от поверхности металлической платы со светодиодами (а) и зависимость средней по площади $6 \times 6 \text{ см}^2$ интенсивности света (I'_{cp}) от h (б)

На рис. 3 представлено полученное в результате моделирования в программном пакете «TracePro Expert-7.0.1 Release» (LambdaResearchCorp., США) распределение интенсивности света, создаваемое одним светодиодным модулем ($N=28, S=6 \times 6 \text{ см}^2$) на расстоянии $h=40 \text{ мм}$

от поверхности металлической платы со светодиодами (рис. 3, а), а также зависимость (рис. 3, б) средней по площади $6 \times 6 \text{ см}^2$ интенсивности света от этого расстояния, которое соответствует расстоянию от светодиодов до поверхности ногтей (h).

Видно, что интенсивность света падает при удалении от светодиодов. Очевидно, что минимальная терапевтическая доза (200 Дж/см^2) может быть достигнута при различных комбинациях интенсивности света и продолжительности терапевтической процедуры. В том числе согласно результатам моделирования, средняя по площади $6 \times 6 \text{ см}^2$ интенсивность света, создаваемая одним светодиодным модулем ($N=28$) достигает величины (110 мВт/см^2), достаточной для накопления минимальной терапевтической дозы за время, комфортное для пациента (30 мин), на расстоянии 50 мм от поверхности металлической платы, содержащей светодиоды.

Литература

1. Юцковский А.Д., Кулагина Л.М., Паулов О.И. Современная микология в России. Т. 2. Материалы 2-го Съезда микологов России. – М.: Национальная академия микологии, 2008. – 548 с.
2. Юсупов А.С., Юсупова Н.А., Юсупова Д.А. Способ фотодинамической терапии микозов кожи, слизистых и ногтей. – Патент России № 2429033. – 2010.
3. Булгакова Н.Н., Шугайлов И.А. Фотодинамическая терапия (обзор литературы). Ч. I // Инновационная стоматология [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://стоматология.рф/nauchnye_publicatsii/fotodinamicheskaya_terapiya_obzor_literaturi, своб.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.osram-os.com/osram_os/en/products/product-catalog/leds-for-general-lighting/oslon-ssl-colors/oslon-ssl-80-colors/gh-cs8pm1.24/index.jsp, своб.



Беликов Андрей Вячеславович

Год рождения: 1967

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, д.ф.-м.н., профессор

e-mail: meddv@grv.ifmo.ru



Скрипник Алексей Владимирович

Год рождения: 1968

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: awskrypnik@corp.ifmo.ru



Тавалинская Анастасия Дмитриевна

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В3415

Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: ntavalin@gmail.com



Смирнов Сергей Николаевич

Год рождения: 1992

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, аспирант

Направление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи

e-mail: s.n.smirnov@niuitmo.ru



Сергеев Андрей Николаевич

Год рождения: 1989

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, к.т.н., ассистент

e-mail: mg_phoenix@yahoo.com

УДК 621.375.826; 616.596-002.828

IN VITRO МИКРОПЕРФОРАЦИЯ НОГТЕВОЙ ПЛАСТИНЫ ЧЕЛОВЕКА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1,54 МКМ И 2,84 МКМ

Беликов А.В., Скрипник А.В., Тавалинская А.Д., Смирнов С.Н., Сергеев А.Н.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Беликов А.В.

В работе представлены результаты in vitro исследования воздействия излучения Yb,Er:Glass ($\lambda=1,54$ мкм) и Er:YLF ($\lambda=2,84$ мкм) лазеров на ногтевую пластину человека. Установлено, что с ростом плотности энергии лазерного излучения в ногтевой пластине последовательно возникают отбеливание, карбонизация и удаление с формированием микрократера или микроперфорацией. Определены плотности энергии лазерного излучения и число лазерных импульсов, при которых эти эффекты возникают (пороги эффектов).

Ключевые слова: Yb,Er:Glass-лазер, Er:YLF-лазер, микроперфорация, карбонизация, микрократер, отбеливание, удаление, онихомикоз.

Введение. Онихомикозы составляют 25–30% от общей патологии ногтевых пластин [1]. Под онихомикозом понимают поражение ногтевых пластин, вызванное патогенными или условно-патогенными грибами. Системное лечение онихомикоза при помощи антимикотиков может вызвать аллергическую реакцию у пациента. Местная терапия, например, применение препаратов на основе нафтифина гидрохлорида, является широко распространенной, но малоэффективной процедурой из-за низкой проницаемости ногтевой пластины для лекарственных средств [2].

Современные методы местной терапии онихомикоза используют два способа для увеличения эффективности доставки лекарств. Один из способов предполагает полное удаление пораженной ногтевой пластины перед нанесением лекарственного средства [3]. Однако после такого хирургического вмешательства ткани заживают долго, причиняя массу неудобств и сохраняя при этом высокую вероятность повторного инфицирования и повреждения матрикса. Альтернативным методом увеличения эффективности доставки лекарств является микроперфорация ногтевой пластины [4]. Этот способ является менее травматичным, процедура характеризуется незначительным кровотечением, коротким и комфортным восстановительным периодом. Преимуществами лазерной микроперфорации ногтевой пластины являются низкая вероятность повторного инфицирования и минимальные повреждения прилегающих тканей.

Лазерное излучение может быть использовано не только для лечения онихомикоза, но и в косметических целях, например, для создания желаемого эстетического рисунка на ногтевой пластине [5].

В настоящем исследовании изучалась возможность применения излучения Yb,Er:Glass ($\lambda=1,54$ мкм) и Er:YLF ($\lambda=2,84$ мкм) лазеров для микроперфорации ногтевой пластины. Выбор лазерных излучателей обусловлен отсутствием на сегодняшний день научных данных о воздействии их излучения на ногтевую пластину, а также тем, что длины волн этих лазеров попадают в области интенсивных полос поглощения содержащейся в ногтевой пластине воды.

Материалы и методы. В качестве источника лазерного излучения использовались Yb,Er:Glass-лазер, работающий в режиме разгрузки резонатора, и Er:YLF-лазер с диодной накачкой, работающий в режиме свободной генерации. В эксперименте использовались образцы ногтевых пластин человека *in vitro*. После экстракции образцы хранились на воздухе при комнатной температуре не более 30 дней. Средняя толщина образцов составила 370 ± 15 мкм.

Ногтевая пластина *in vitro* размещалась в фокусе линзы ($F=11$ мм) и подвергалась воздействию импульсов Yb,Er:Glass-лазера ($\lambda=1,54$ мкм) длительностью $4,5\pm 0,1$ мкс с энергией 30 ± 1 мДж, 60 ± 1 мДж и 100 ± 1 мДж при частоте повторения импульсов 1 Гц. Регистрация энергии лазерных импульсов осуществлялась измерителем «OPHIR Nova II» («OPHIR Photonics», Израиль) использованием измерительных головок «PE50BF-C» («OPHIR Photonics», Израиль). Количество импульсов, падающих в одну точку на поверхности ногтевой пластины, было 1, 10 и 100. Диаметр пучка излучения лазера в фокусе линзы определялся методом калиброванных диафрагм. Доля энергии, прошедшей через диафрагму с диаметром 370 ± 10 мкм, составила $86\pm 2\%$.

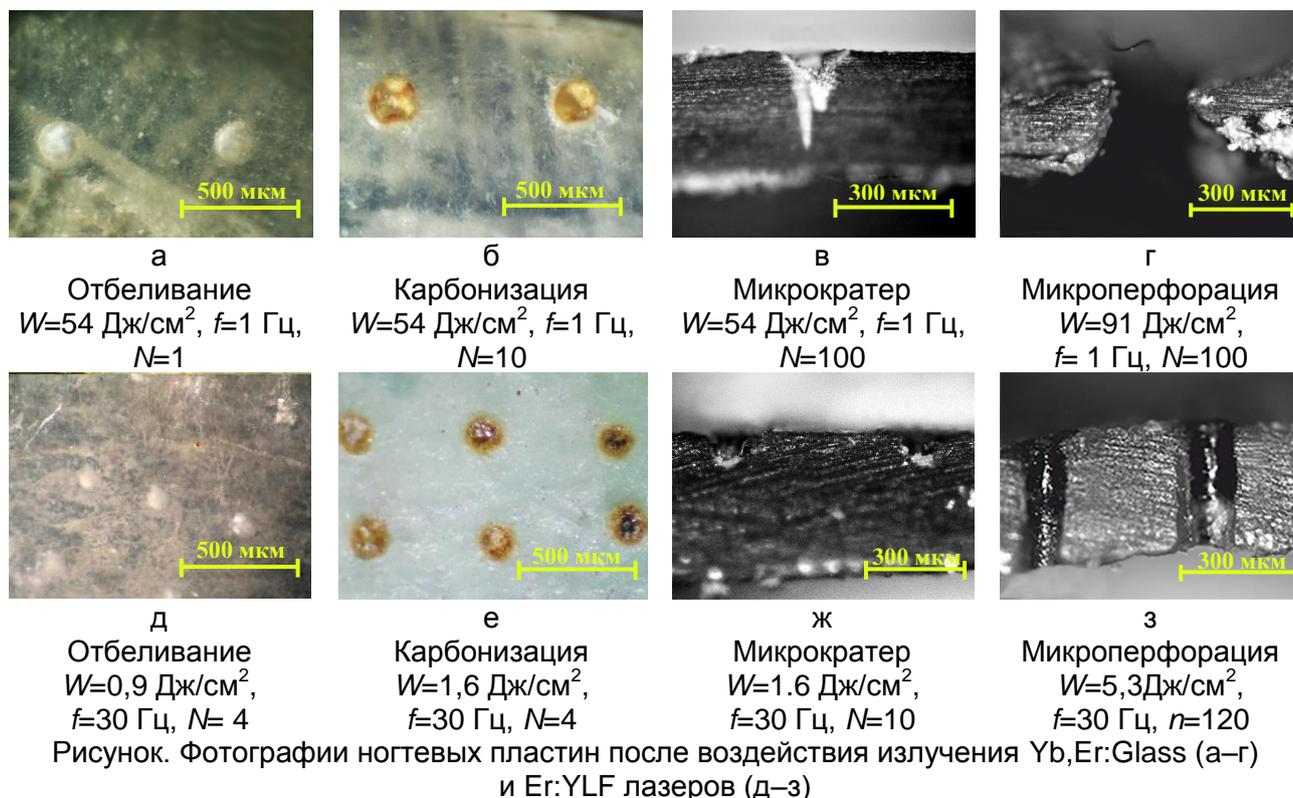
Ногтевая пластина *in vitro* размещалась в фокусе линзы ($F=50$ мм) и подвергалась воздействию импульсов Er:YLF-лазера ($\lambda=2,84$ мкм). Энергия импульса составляла $0,35\pm 0,03$ мДж, $0,45\pm 0,02$ мДж, $0,6\pm 0,03$ мДж, $1\pm 0,01$ мДж, $2\pm 0,01$ мДж, $3\pm 0,01$ мДж и $4\pm 0,01$ мДж при частоте повторения импульсов 30 Гц. Длительность импульса генерации Er:YLF-лазера изменялась от 216 мкс до 280 мкс в зависимости от мощности излучения диодной накачки. Количество импульсов, падающих в одну точку на поверхности ногтевой пластины, было 10, 30, 60, 90 и 120. Диаметр пучка излучения лазера определялся по ожогу, полученному на черной фотобумаге, и был равен 220 ± 15 мкм.

Тип и порог эффектов, возникающих при различных комбинациях энергии и количества импульсов лазерного излучения, были установлены в результате оптико-микроскопической регистрации внешнего вида лазероиндуцированных микроповреждений ногтевой пластины, которая проводилась микроскопом «Leica DM IL LED» («Leica Microsystems GmbH», Германия). После для микрократеров и микроперфораций изготавливались продольные шлифы, и проводилась оптико-микроскопическая регистрация их внешнего вида с помощью микроскопа «Axio Scope A1» («Carl Zeiss», Германия), позволившая определить профиль и глубину микрократеров и микроперфораций.

Результаты и обсуждение. По мере увеличения интенсивности лазерного излучения обнаружены следующие эффекты: отбеливание, карбонизация, удаление с формированием микрократера или микроперфорацией, возникающие в результате воздействия импульсов Yb,Er:Glass (рисунок, а–г) и Er:YLF-лазеров (рисунок, д–з) на ногтевую пластину.

Эффект отбеливания наблюдается после воздействия на ногтевую пластину одиночного импульса Yb,Er:Glass-лазера с энергией 60 ± 1 мДж и 100 ± 1 мДж. Также данный эффект был зафиксирован после воздействия на ногтевую пластину четырех импульсов Er:YLF-лазера с энергией $0,35\pm 0,03$ мДж и $0,45\pm 0,02$ мДж. Таким образом, минимальная плотность энергии

(порог) для появления эффекта отбеливания равна 54 ± 3 Дж/см² ($N=1$) для Yb,Er:Glass-лазера и $0,9 \pm 0,01$ Дж/см² ($N=4$) для Er:YLF-лазера.



Эффект карбонизации наблюдается после воздействия 10 и 100 импульсов Yb,Er:Glass-лазера с энергией 60 ± 1 мДж, а также 10 импульсов с энергией 100 ± 1 мДж. Для Er:YLF-лазера с энергией $0,6 \pm 0,03$ мДж уже при $N=4$ обнаруживается эффект карбонизации, этот эффект можно наблюдать также после воздействия на ногтевую пластину 10, 30, 60, 90 и 120 импульсов лазерного излучения с энергией $1 \pm 0,01$ мДж, после воздействия 10, 30, 60 и 90 импульсов с энергией $2 \pm 0,01$ мДж, после воздействия 10 и 30 импульсов с энергией $3 \pm 0,01$ мДж, а также после 10 импульсов с энергией $4 \pm 0,01$ мДж. Таким образом, минимальная плотность энергии (порог) для появления эффекта карбонизации равна 54 ± 3 Дж/см² ($N=10$) для Yb,Er:Glass-лазера и $1,6 \pm 0,2$ Дж/см² ($N=4$) для Er:YLF-лазера.

Эффект удаления с микроперфорацией, т.е. формированием сквозного микроотверстия в ногтевой пластине, наблюдается после воздействия 100 импульсов излучения Yb,Er:Glass-лазера с энергией 100 ± 1 мДж, а также 120 импульсов излучения Er:YLF-лазера с энергией $2 \pm 0,01$ мДж, после воздействия 60, 90 и 120 импульсов с энергией $3 \pm 0,01$ мДж и после 30, 60, 90 и 120 импульсов с энергией $4 \pm 0,01$ мДж. Таким образом, минимальная плотность энергии (порог), необходимая для микроперфорации ногтевой пластины, равна 91 ± 5 Дж/см² ($N=100$) для Yb,Er:Glass-лазера и $5,3 \pm 0,3$ Дж/см² ($N=120$) для Er:YLF-лазера.

Выводы. Таким образом, при воздействии на ногтевую пластину импульсного излучения Yb,Er:Glass-лазера или Er:YLF-лазера наблюдаются эффекты отбеливания, карбонизации и удаления с формированием микрократера или микроперфорацией. Определены минимальные плотности энергии и число лазерных импульсов, необходимые для возникновения каждого из этих эффектов (пороги). Экспериментально установлено, что пороги описанных выше эффектов значительно ниже для излучения Er:YLF, чем для Yb,Er:Glass-лазера. Эффект удаления с формированием микрократера или микроперфорацией может быть использован для увеличения эффективности доставки лекарственных средств при местной терапии

онихомикоза, а эффекты отбеливания и карбонизации могут быть востребованы в косметологии для управления цветом ногтевой пластины и создания текстур.

Литература

1. Мяделец О.Д., Адашкевич В.П. Морфофункциональная дерматология. – М.: Медлит, 2006. – 752 с.
2. Сергеев Ю.В., Сергеев А.Ю. Онихомикозы. Грибковые инфекции ногтей. – М.: ГЭОТАР Медицина, 1998. – 38 с.
3. Гаин Ю.М., Богдан В.Г., Попокон О.В., Алексеев С.А. Хирургия вросшего ногтя: монография. – Минск: Издатель Змицер Колас, 2007. – 224 с.
4. Neev J. et al. Ablation of human nail by pulsed lasers // Lasers in Surgery and Medicine. – 1997. – V. 21. – № 2. – P. 186–192.
5. Пат. US6717102 В2 США. Laser tissue processing for cosmetic and bio-medical applications / J. Neev, Y. Fisher. – № 09/878,003; заявл. 08.06.01, опубл. 06.04.04, Бюл. № 7 (Iч.); приоритет 08.06.00, № 60/210,532 (США). – 10 с.



Блохина Анастасия Александровна

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В5408

Направление подготовки: 12.05.01 – Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения
e-mail: nastena.95.05@mail.ru



Рыжова Виктория Александровна

Год рождения: 1966

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, к.т.н., доцент

e-mail: victoria_ryz@mail.ru

УДК 535.518.8

ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Блохина А.А., Рыжова В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рыжова В.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

Поляриметрические эффекты, возникающие при прохождении линейно поляризованного излучения через срез мясного продукта, говорят о наличии анизотропии исследуемого объекта. Работа посвящена изучению анизотропных характеристик мясного образца, рассматриваемого в качестве мутной рассеивающей среды. Потенциально такие характеристики позволят получить качественно новые результаты при исследовании биообразцов.

Ключевые слова: поляризация, анизотропия, рассеивающие среды, мясной продукт.

Согласно мировой статистике, одним из важнейших, наиболее потребляемых продуктов в рационе современного человека является мясо. В связи с этим в настоящее время актуальны исследования, направленные на разработку новых методов получения информации о свежести, качестве и состоянии мясных продуктов. На данный момент доподлинно известно, что в общем случае мясной образец содержит большое количество функциональных единиц и отличается сложной структурой. Его относят к классу сильно рассеивающих сред, при распространении излучения в которых существенную роль играют процессы светорассеяния. Рассеянное излучение несет информацию о формирующих биоткань факторах, таких как размеры и форма структурных элементов, их ориентация, оптические постоянные и другие параметры [1]. Одним из наглядных проявлений сложности строения животных тканей является наличие у биообразцов оптической анизотропии. Примером этого явления могут служить поперечнополосатые мышечные волокна, в которых обнаруживается чередование темных и светлых анизотропных участков. Их изучение представляется возможным при использовании поляризованного излучения.

По результатам обзора существующих методов и средств исследования мясного сырья, наиболее перспективной была признана оценка свойств анизотропных участков поляриметрическим методом. Методы поляриметрии основаны на исследовании поляризационной структуры поля рассеянного объектом монохроматического излучения. Особенностью такого подхода является учет векторной структуры поля рассеянного света за счет измерения параметров анизотропии оптически активных биологических структур. Исследование поляризационных свойств биоткани требует определения матрицы Мюллера образца, используя различные поляриметрические техники и средства для измерений [2, 3]. Характеристики исследуемой среды, связаны с параметрами поляризованного излучения с помощью формулы:

$$\mathbf{S}_{\text{int}} = \mathbf{M} \times \mathbf{S}_{\text{out}}, \quad (1)$$

где \mathbf{S}_{int} и \mathbf{S}_{out} – выходной и входной вектора Стокса соответственно; \mathbf{M} – матрица образца [4]. При проведении экспериментальной части исследования образец освещается излучением с заданным состоянием поляризации, что позволяет считать входной вектор Стокса известным. В то же время в результате обработки данных, полученных опытным путем, устанавливается выходной вектор Стокса.

Согласно теории, в тканях животного происхождения наиболее общие, часто встречающиеся поляриметрические эффекты – это деполяризация, линейное двулучепреломление и оптическая активность. Их наличие как раз и объясняется тем, что биоткань состоит из анизотропных мышечных волокон и содержит оптически активные (хиральные) молекулы. Явление деполяризации, кроме того, объясняется остаточным рассеянием света биотканями. Они часто существуют одновременно, и каждый из них, извлеченный отдельно из матрицы Мюллера, перспективен как полезная биологическая характеристика. Чтобы изолировать и количественно оценить каждый эффект отдельно, матрица Мюллера раскладывается на произведение трех «базисных» матриц по формуле:

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_{\Delta} \mathbf{M}_{\mathbf{R}} \mathbf{M}_{\mathbf{D}}, \quad (2)$$

где матрица деполяризации \mathbf{M}_{Δ} рассматривает деполяризующие эффекты среды, матрица фазового сдвига $\mathbf{M}_{\mathbf{R}}$ описывает эффекты линейного двулучепреломления и оптической активности, а матрица ослабления $\mathbf{M}_{\mathbf{D}}$ включает эффекты линейного и циркулярного дихроизма (Δ – коэффициент деполяризации, δ – линейное вращение, Ψ – оптическое вращение, d – коэффициент ослабления) [5].

Методика работы предполагает облучение образца когерентным излучением с заданным состоянием поляризации. В каждой элементарной площадке поперечного сечения выходного пучка измеряются четыре параметра вектора Стокса S_0, S_1, S_2, S_3 для рассеянного вперед излучения. После рассчитываются связанные с ними параметры рассеянного вперед излучения: в первую очередь степень поляризации P , а также азимут плоскости поляризации

α , эллиптичность β , изменения которых, как раз и свидетельствуют о наличии анизотропии в мышечных волокнах.

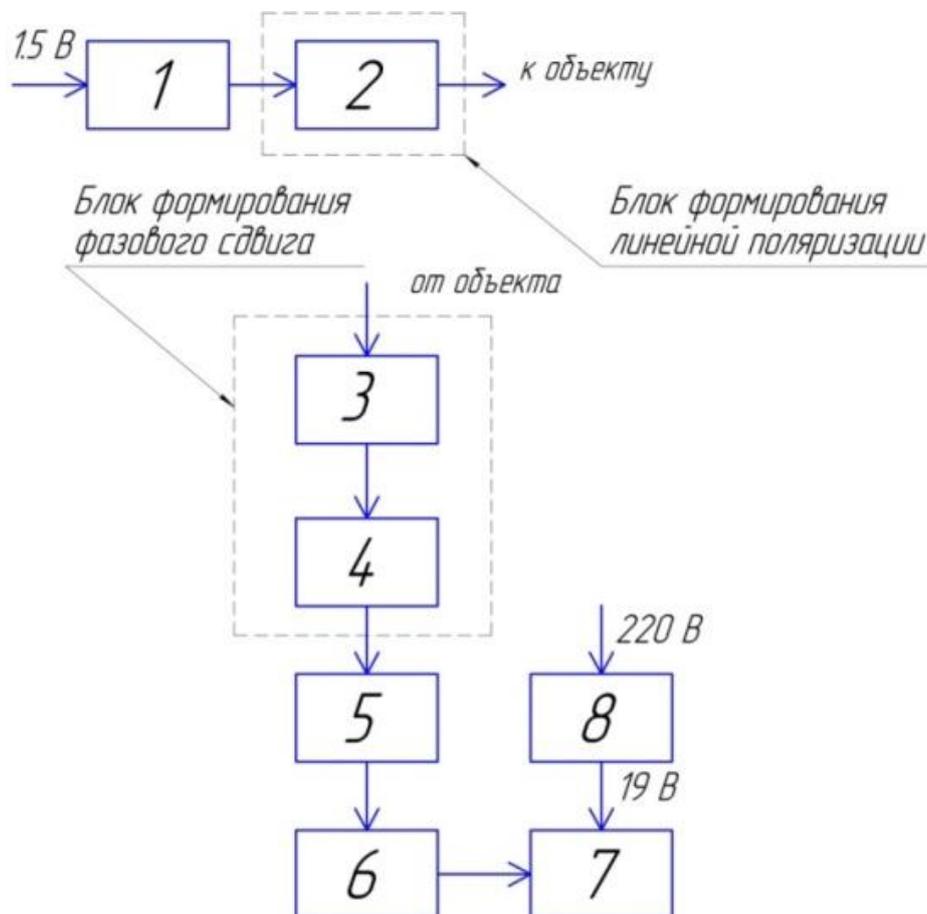


Рисунок. Структурная схема экспериментального макета: 1 – источник излучения; 2 – поляризатор; 3 – анализатор; 4 – фазовая пластинка; 5 – оптическая система; 6 – приемный блок; 7 – персональный компьютер; 8 – блок питания

По итогам аналитического обзора технических решений в данной научной области, а также по результатам теоретического исследования анизотропных характеристик мясных продуктов была разработана структурная схема экспериментального макета, представленная на рисунке.

С помощью данной установки можно получить оценку азимута и эллиптичности поляризации излучения, прошедшего через мясной образец, и тем самым изучить анизотропные свойства среды животного происхождения.

Литература

1. Симоненко Г.В., Тучин В.В. Оптические свойства биологических тканей. Учебно-методическое пособие. – Саратовский государственный университет, 2007. – 48 с.
2. Коротаев В.В. Поляризационные приборы: учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 94 с.
3. Панков Э.Д., Коротаев В.В. Поляризационные угломеры. – М.: Недра, 1992. – 240 с.
4. Ghosh N., Wood M.F.G., Li S., Weisel R.D., Wilson B.C., Li R.K., Vitkin I.A. Mueller matrix decomposition for polarized light assessment of biological tissues // Journal of biophotonics. – 2009. – V. 2. – № 3. – P. 145–156.
5. Lu S.Y. and Chipman A. Interpretation of Mueller matrices based on polar decomposition // Journal of the Optical Society of America A. – 1996. – V. 13. – P. 1106–1113.



Боримова Анна Александровна

Год рождения: 1994

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники
и оптоинформатики, группа № V4200

Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика

e-mail: any-any9408@mail.ru

УДК 535.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СУПЕРКОНТИНУУМА В СТРУЕ ТЯЖЕЛОЙ ВОДЫ И СПИРТА

Боримова А.А.

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Цыпкин А.Н.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615894 «Современные проблемы фотоники».

В работе экспериментально исследована генерация спектрального суперконтинуума (ССК) в струях тяжелой воды и этилового спирта. Показано, что спектр генерируемого ССК имел ширину до 2,5 октав и простирался от 350 до 1700 нм в струе тяжелой воды, от 400 до 1600 нм в этиловом спирте. Интенсивность ССК достигала 1011 Вт/см². Было установлено, что эффективность преобразования при генерации суперконтинуума в струе этилового спирта составила 60%, а для тяжелой воды 70%.

Ключевые слова: спектральный суперконтинуум, нелинейная фемтосекундная оптика, тяжелая вода, этиловый спирт.

Генерация спектрального суперконтинуума (ССК) в нелинейных средах представляет интерес для решения различных задач фундаментального и прикладного характера в таких областях как нелинейная микроскопия, оптическая томография, биомедицина и «pump-probe» спектроскопия [1]. К настоящему времени были проведены исследования генерации ССК в различных средах: газах и жидкостях, прозрачных диэлектриках и полупроводниках; микроструктурированных волокнах [2]. Использование жидкостей в качестве нелинейной среды для генерации ССК позволяет получать широкополосное излучение с более высокой интенсивностью и более короткой длительностью, чем, например, в микроструктурированных волокнах, что дает возможность повышать разрешение в установках когерентной томографии и «pump-probe» спектроскопии, увеличивать дальность передачи информации посредством ССК и т.п. Использование кювет для генерации ССК в жидкостях приводит к увеличению длительности выходного импульса из-за дополнительного вклада окон кюветы в общую хроматическую дисперсию, а также при увеличении интенсивности накачки возможно их повреждение.

В данной работе использование струй жидкостей, расположенных перед каустикой излучения накачки, позволило продемонстрировать генерацию суперконтинуума с высокой интенсивностью в ближнем ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах спектра.

В работе [3] был предложен способ генерации высокоинтенсивного ССК в струе жидкости с высокой эффективностью. За счет того, что нелинейная среда (струя жидкости) располагалась до геометрического центра фокусировки (каустики) излучения накачки, образование филамента или пробоя происходило при больших плотностях интенсивности накачки, что увеличивало эффективность преобразования в ССК. В качестве источника фемтосекундных импульсов использовалась лазерная система на основе регенеративного усилителя Regulas 35F1K (Avesta Project) со следующими параметрами: длительность импульса 30 фс, энергия импульса до 2,2 мДж, частота повторения до 1 кГц, центральная

длина волны 800 нм. Фемтосекундное излучение фокусировалось линзой с фокусным расстоянием 10 см в струе жидкости, толщиной 1,8 мм, расположенной на расстоянии 4 мм перед точкой фокусировки. Полученное излучение ССК коллимировалось 5 см кварцевой линзой. Спектр ССК анализировали с помощью спектрометров ASP-100M (Avesta Project спектральный диапазон 200–1000 нм) и EPP-2000-NIR (StellarNet Inc, спектральный диапазон 900–1700 нм). Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

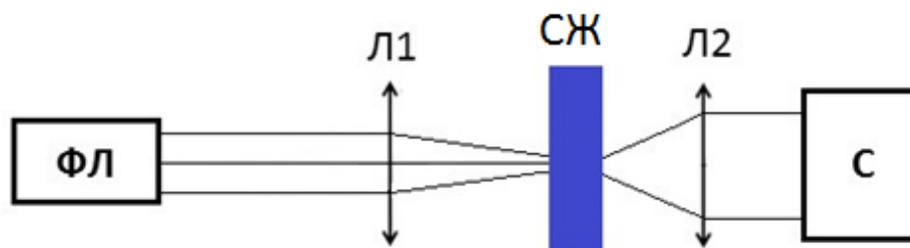


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: ФЛ – фемтосекундный лазер; Л1 – линза с фокусным расстоянием 10 см; СЖ – струя жидкости, толщиной 1,8 мм; Л2 – линза с фокусным расстоянием 5 см; С – спектрометр

Ранее результаты генерации спектрального ССК в струе воды показали, что для того, чтобы повысить интенсивность и увеличить ширину ССК, которая ограничивается пиками поглощения воды в ИК области спектра [4], необходимо использовать жидкости, с большим чем у воды нелинейным показателем преломления и большим окном прозрачности. Такими жидкостями оказались, например, тяжелая вода и этиловый спирт [4, 5]. Значения нелинейных показателей преломления и диапазона прозрачностей данных жидкостей приведены в таблице.

Таблица. Значения нелинейных показателей преломления и диапазона прозрачностей жидкостей

Жидкость	Диапазон прозрачности, нм	Нелинейный показатель преломления (n_2), $\text{см}^2/\text{Вт}$
Вода	300–1400	$1 \cdot 10^{-16}$
Этиловый спирт	300–1600	$4 \cdot 10^{-16}$
Тяжелая вода	300–1700	$6,4 \cdot 10^{-16}$

На рис. 2 показаны экспериментальные результаты генерации ССК в струе тяжелой воды и этилового спирта в зависимости от плотности мощности излучения накачки.

Из рис. 2 (I) видно, что при интенсивности накачки свыше $5,0 \cdot 10^{12}$ Вт/см² наступает режим филаментации в тяжелой воде, что определялось по одновременному значительному уширению спектра от 350 до 1700 нм. При дальнейшем увеличении плотности мощности накачки, в излучении ССК формировались компоненты в сине-зеленой (350–550 нм) и инфракрасной областях (900–1000 нм, 1300–1600 нм) спектра, а излучение на фундаментальной частоте практически перекачивалось в излучение ССК. Спектр генерируемого в струе этилового спирта ССК имел ярко выраженные компоненты на фундаментальной частоте и в ИК области (900–1200 нм) и простирался от 400 нм до 1600 нм (рис. 2 (II)).

Была определена интенсивность генерируемого спектрального суперконтинуума в струе тяжелой воды, которая составила $6,6 \cdot 10^{11}$ Вт/см² и струе этилового спирта $4,7 \cdot 10^{11}$ Вт/см² для интенсивности излучения накачки $2,5 \cdot 10^{12}$ Вт/см². Показано, что преобразование энергии накачки в энергию суперконтинуума составляет 70% для тяжелой воды и 60% для этилового спирта.

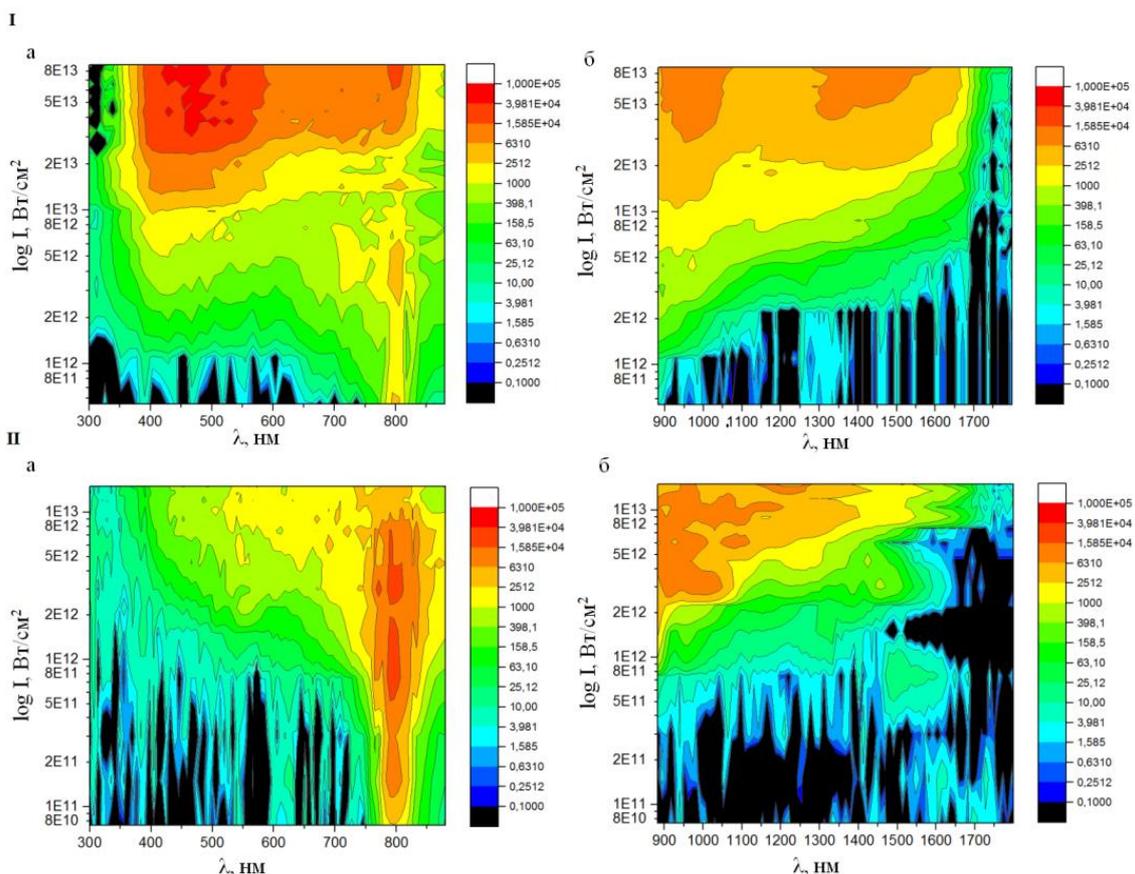


Рис. 2. Экспериментальные результаты генерации спектрального суперконтинуума в струе тяжелой воды (I) и этилового спирта (II): спектральная плотность суперконтинуума, измеренная спектрометром ASP-100M (а); спектральная плотность суперконтинуума, измеренная спектрометром EPP-2000-NIR (б). Справа от рисунка дана цветовая шкала интенсивности спектральной плотности в логарифмическом масштабе

В результате экспериментов была продемонстрирована эффективная генерация спектрального суперконтинуума в струях тяжелой воды и этилового спирта шириной до 2,5 октав. Показано, что более высокий коэффициент нелинейного показателя преломления и более широкий диапазон прозрачности позволили получить более широкий и высокоинтенсивный ССК по сравнению с ССК, полученным в аналогичных условиях в воде [3]. С увеличением мощности возбуждающего излучения происходила перекачка излучения в сине-зеленую и ИК области спектра. Показано, что спектр генерируемого в струе тяжелой воды излучения на 30%, а в струе этилового спирта на 12% шире суперконтинуума, наблюдавшегося в аналогичных условиях ранее в струе воды [3].

Литература

1. Dobryakov A., Kovalenko S., Weigel A., Pérez-Lustres J., Lange J., Müller A., Ernsting N. Femtosecond pump/supercontinuum-probe spectroscopy: optimized setup and signal analysis for single-shot spectral referencing // *Rev. Sci. Instrum.* – 2010. – V. 81. – P. 113106.
2. Дукельский К.В., Кондратьев Ю.Н., Хохлов А.В., Шевандин В.С., Желтиков А.М., Коноров С.О., Серебрянников Е.Е., Сидоров-Бирюков Д.А., Федотов А.Б., Семенов С.Л. Микроструктурированные световоды с кварцевой сердцевиной для получения спектрального суперконтинуума в фемтосекундном диапазоне // *Оптический журнал.* – 2005. – Т. 72. – № 7. – С. 57–60.
3. Tsupkin A.N., Putilin S.E., Melnik M.V., Makarov E.A., Bepalov V.G. and Kozlov S.A. Generation of high-intensity spectral supercontinuum of more than two octaves in a water jet // *Applied Optics.* – 2016. – V. 55. – № 29. – P. 8390–8394.

4. Kedenburg S., Vieweg M., Gissibl T., Giessen H. Linear refractive index and absorption measurements of nonlinear optical liquids in the visible and near-infrared spectral region // Opt. Mater. Express. – 2012. – V. 2. – № 11. – P. 1588–1611.
5. Weber M. Handbook of Optical Material. – USA: CRC Press, 2003. – 499 p.

**Булькина Анастасия Борисовна**

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4105

Направление подготовки: 12.04.02 – Опототехника

e-mail: a.bulykina@mail.ru

**Рыжова Виктория Александровна**

Год рождения: 1966

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, к.т.н., доцент

e-mail: victoria_ryz@mail.ru

**Самохин Никита Юрьевич**

Факультет инфокоммуникационных технологий, кафедра сетевых и облачных технологий, группа № К4215

Направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи

e-mail: samon@corp.ifmo.ru

УДК 535.513

**РАЗРАБОТКА МАКЕТА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
КОЖНЫХ ПОКРОВОВ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ МЕТОДОМ****Булькина А.Б., Рыжова В.А., Самохин Н.Ю.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Рыжова В.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

Рассмотрены принципы построения лабораторной установки для исследования поляризационных свойств кожного покрова. Предложены структурная и оптическая схемы, позволяющие проводить измерения в отраженном свете для диагностики изменений структурных свойств биоткани. Обоснован выбор элементов разрабатываемой системы.

Ключевые слова: оптико-электронная система, макет поляризационной установки, исследование кожных покровов, биомедицинская диагностика, эллипсометрия рассеяния.

Разработка методов и средств диагностики онкологических заболеваний имеет особую значимость. Это позволит распознать новообразования на ранних стадиях их проявления. Развитие оптических и лазерных технологий позволило расширить комплекс методов,

которые позволяют проводить инструментальную диагностику онкологических заболеваний. Перспективным направлением биомедицинской диагностики является развитие автоматизированных систем неразрушающего контроля для исследования поляризационных свойств кожного покрова на основе детектирования обратно рассеянного излучения. Определение поляризационных характеристик исследуемой ткани дает возможность изучить изменения структурных свойств под влиянием различных патологий. В связи с этим измерение и анализ поляризационных характеристик рассеянного кожей оптического излучения для развития методов диагностики кожного покрова *in vivo* представляются актуальными.

Целью работы является разработка макета лабораторной установки для исследования кожных покровов поляризационным методом.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. осуществить патентный поиск технических решений в области для исследования кожного покрова;
2. на основе проведенного патентного поиска разработать структурную схему макета лабораторной установки;
3. разработать оптическую схему;
4. провести расчет потери излучения при прохождении кожного покрова.

Основываясь на существующих схемах, описаниях патентов и полезных моделях приборов, была разработана структурная схема макета лабораторной установки (видеоэллипсометра), представленная на рис. 1. В качестве аналога был использован быстродействующий Стокс-эллипсометр. Его принцип действия основан на том, что информация об эллипсометрических параметрах обеспечивает, характеристику поверхности образца вблизи отражения, так как отраженный свет, как правило, взаимодействует с материалом образца от поверхности. Достоинства: высокая точность. Недостатки: использование кюветы для исследования образца [1].

Формирование состояния поляризации входного излучения осуществляется с помощью компенсатора К (фазовая пластинка) и поляризатора П. Отраженное от образца излучение попадает в приемный канал, состоящий из анализатора А и блока регистрации изображения БРИ на основе USB-видеокамеры. Выходное изображение передается на блок обработки и визуализации изображения БВИ, в качестве которого используется персональный компьютер со специализированным программным обеспечением.

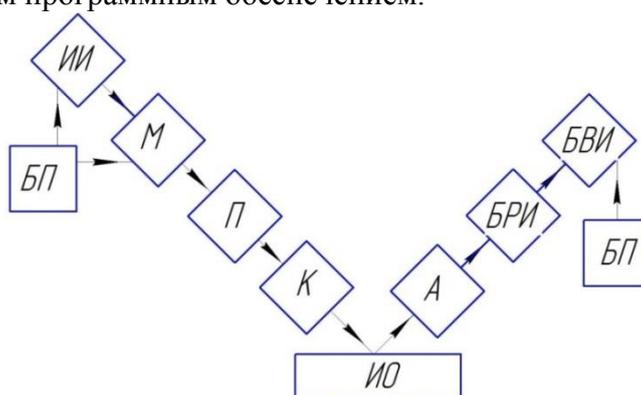


Рис. 1. Структурная схема макета лабораторной установки

По результатам анализа оптических свойств кожи были сформулированы требования к компонентам разрабатываемой системы. Основным требованием является необходимость согласования длины волны выбранного источника излучения и спектральной чувствительности приемника излучения со спектром поглощения важнейших тканевых хромофоров.

В эпидермисе основным хромофором является меланин. В более глубоких слоях кожи хромофорами являются гемоглобин и оксигемоглобин. Гемоглобин содержится в эритроцитах. До 70% дермы составляет вода [2]. На рис. 2 представлены графики спектра поглощения хромофоров кожного покрова.

В качестве приемника оптического излучения предлагается использовать цветную камеру фирмы «ЭВС» VIE-545, светочувствительным элементом которой является КМОП-матрица фирмы OmniVision OV5620.

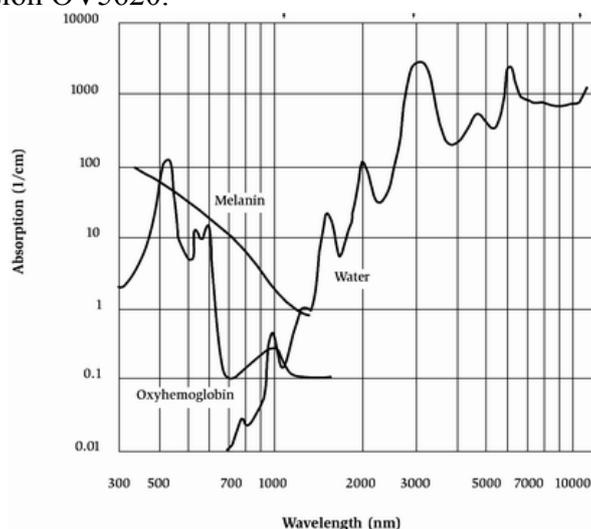


Рис. 2. Спектр поглощения основных хромофоров кожного покрова в видимом и инфракрасном диапазонах

В качестве источника излучения предлагается использовать He-Ne-лазер ($\lambda=0,63$ мкм, мощность 1,5 мВт) ЛГН-207Б. Это связано с доступностью данного лазера, недорогой стоимостью. Данный лазер является традиционно используемым источником излучения в лазерной медицине. Он применяется в хирургии, для биостимуляции биологических тканей. Использование данного лазера связано с глубиной проникновения и диагностическим окном. Максимум пропускания оптического излучения кожей находится в диапазоне от 0,8 мкм до 1,2 мкм. В диапазоне от 0,6 мкм до 1,4 мкм кожный покров поглощает примерно 25–40% падающего излучения [3].

Потери излучения могут возникнуть из-за переотражения оптическими элементами. Поэтому необходимо определить коэффициент отражения. При нормальном падении лучей на преломляющую поверхность он находится по известной формуле, в которой мы примем, что одна среда является воздухом

$$\rho = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2, \quad (1)$$

где ρ – коэффициент отражения; n – показатель преломления среды.

Если угол падения лучей превышает 10° , то при расчете ρ необходимо учитывать зависимость коэффициента отражения ρ от угла падения и состояния поляризации излучения (формулы Френеля). Если излучение поляризовано в плоскости падения, то коэффициент отражения рассчитывается как:

$$\rho = \frac{\text{tg}^2(\varepsilon - \varepsilon')}{\text{tg}^2(\varepsilon + \varepsilon')}, \quad (2)$$

где ε и ε' – углы падения и преломления.

Рассчитываются потери излучения при прохождении каждого элемента системы:

$$W_n = W_{n-1}(1 - \rho_n), \quad (3)$$

где W_n и W_{n-1} – мощность излучения, прошедшего через поверхность.

После всех поверхностей находится процент, на который происходит уменьшение мощности выходного излучения [4].

Излучение, прошедшее через данную оптическую систему, будет не более 52% от начального излучения.

Литература

1. Быстродействующий эллипсометр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com/patents/US20100007882>, своб.
2. Тучин В.В. Оптическая биомедицинская диагностика. – М.: Физматлит, 2007. – Т. 1. – 560 с.
3. Пушкарева А.Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 103 с.
4. Панков Э.Д., Коротаев В.В. Поляризационные угломеры. – М.: Недра, 1992. – 240 с.



Бурцева Анастасия Александровна

Год рождения: 1992

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4200

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: nastyaburtseva@inbox.ru



Ежова Ксения Викторовна

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., доцент

e-mail: ezhovakv@aco.ifmo.ru

УДК 535.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АТТЕСТАЦИИ И ЦИФРОВОЙ КОМПЕНСАЦИИ ДИСТОРСИИ ПРОЕКЦИОННОГО ОБЪЕКТИВА

Бурцева А.А., Ежова К.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежова К.В.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 610749 «Проектирование и экономическое обоснование оптических систем для фундаментальных и прикладных исследований».

В работе рассматривается возможность компенсации дисторсии проекционного объектива путем внесения предварительных искажений в проецируемое цифровое изображение. Приведено математическое описание и результаты моделирования дисторсии с помощью косинусных и синусных полиномов Цернике.

Ключевые слова: дисторсия, проецирование, компенсация дисторсии.

При проецировании на неплоские поверхности, например в мэппинг-шоу, помимо геометрических искажений изображения, возникают искажения, обусловленные используемым проекционным объективом, а также искажения, появляющиеся при

нарушении ортоскопии оптической системы «проекционный объектив – плоскость проецирования».

Для компенсации возникающих искажений необходимо провести предварительную обработку изображения и внести в проецируемое изображение обратные компенсационные искажения.

Нарушение подобия изображения и предмета при отступлении от строгой ортоскопии в оптической системе называется дисторсией оптической системы. В зависимости от того, центрированной или нецентрированной является оптическая система, различают два вида дисторсии – центрированная и нецентрированная соответственно [1].

Соблюдение центрированности оптической системы при проецировании в мэпинг-шоу не представляется возможным, поэтому наибольший интерес представляет возможность компенсации нецентрированной дисторсии.

Моделирование дисторсии проекционного объектива целесообразно применение разложения дисторсии по предметным координатам с применением полиномов Цернике независимо от других аберраций.

Впишем в поле зрения сетку Аббе с заданным количеством ячеек. В случае если дисторсия отсутствует, сетка останется без изменений, а при наличии дисторсии произойдет искажение сетки. На рис. 1 приведена сетка Аббе при наличии дисторсии и при ее отсутствии. Характер возникающих искажений позволяет определить коэффициенты, которыми вызвана дисторсия.

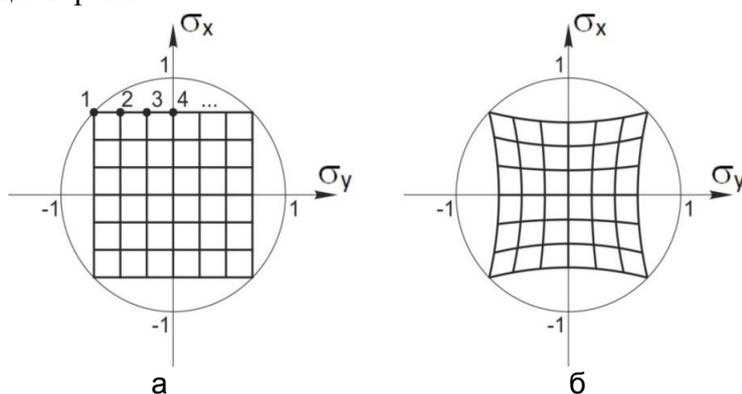


Рис. 1. Сетка Аббе в поле зрения: при отсутствии дисторсии (а); при наличии дисторсии (б)

Для возможности использования предлагаемого подхода при аттестации проекционных объективов и компенсации дисторсии необходимо решение прямой и обратной задачи. На первом этапе необходимо решить прямую задачу моделирования дисторсии в общем случае, для получения математического аппарата, описывающего влияние коэффициентов дисторсии на формирование изображение и смещение узлов сетки в поперечном направлении. На втором – обратную для определения дисторсии конкретного проекционного объектива по измеренным отклонениям узлов сетки (фактически, по измеренным значениям поперечной аберрации объектива) на основе разработанного математического аппарата прямой задачи. В рамках данной работы рассматривается решение прямой задачи.

Четные, или косинусные, коэффициенты, обозначаются C_{mn} , нечетные, или синусные – S_{mn} , где m – индекс по степеням квадрата относительной предметной координаты (σ^2); n – степень предметной угловой координаты (θ) [2–4].

Матрица дисторсии формируется на основании диаграммы базиса, представленной в таблице, в которой приведено количество степеней по m .

Таблица. Диаграмма базиса

	cos				sin		
степень θ	0	1	2	3	1	2	3
кол-во степеней по k	5	6	5	4	6	5	4

Каждой точке поля зрения соответствует вектор полиномов, состоящий из последовательности векторов четных и нечетных полиномов [2–4]:

$$P_{Ci} = (P_{Ci00}, \dots, P_{Cimn}), \quad (1)$$

$$P_{Si} = (P_{Si00}, \dots, P_{Simn}). \quad (2)$$

Тогда поле зрения описывается матрицей:

$$\begin{pmatrix} P_0(\sigma_{x_1}, \sigma_{y_1}) & P_1(\sigma_{x_1}, \sigma_{y_1}) & \dots \\ P_0(\sigma_{x_2}, \sigma_{y_2}) & P_1(\sigma_{x_2}, \sigma_{y_2}) & \dots \\ P_0(\sigma_{x_3}, \sigma_{y_3}) & P_1(\sigma_{x_3}, \sigma_{y_3}) & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}. \quad (3)$$

В матрице (3) в столбцах – вектора полиномов, в строках – точки поля зрения.

В результате умножения матрицы полиномов на вектор коэффициентов разложения по полиномам Цернике получаем величину смещения точки [2–4]:

$$\Delta X' = \frac{\lambda}{NA} k_{SC} \mathbf{P}_x \mathbf{C}\mathbf{S}_x, \quad (4)$$

$$\Delta Y' = \frac{\lambda}{NA} k_{SC} \mathbf{P}_y \mathbf{C}\mathbf{S}_y, \quad (5)$$

где λ – длина волны; NA – числовая апертура; k_{SC} – коэффициент масштабирования; \mathbf{P}_x и \mathbf{P}_y – матрицы полиномов; $\mathbf{C}\mathbf{S}_x$ и $\mathbf{C}\mathbf{S}_y$ – векторы синусных и косинусных коэффициентов.

Смещение точки или поперечную aberrацию по осям X и Y будет равно [2–4]:

$$\Delta X' = \begin{pmatrix} \Delta x'_1 \\ \Delta x'_2 \\ \dots \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\Delta Y' = \begin{pmatrix} \Delta y'_1 \\ \Delta y'_2 \\ \dots \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Координаты каждой точки на изображении определяются как сумма координаты точки неискаженного изображения и величины смещения этой точки:

$$x' = x + \Delta x, \quad (8)$$

$$y' = y + \Delta y. \quad (9)$$

При описании дисторсии с помощью коэффициентов Цернике, искаженное изображение сетки формируется по ее вершинам с учетом поперечной aberrации, вызванной дисторсией.

Полученное описание с использованием синусных и косинусных полиномов Цернике позволяет смоделировать картины дисторсии проекционного объектива по измеренным отклонениям узлов тестового изображения. Результаты моделирования приведены на рис. 2.

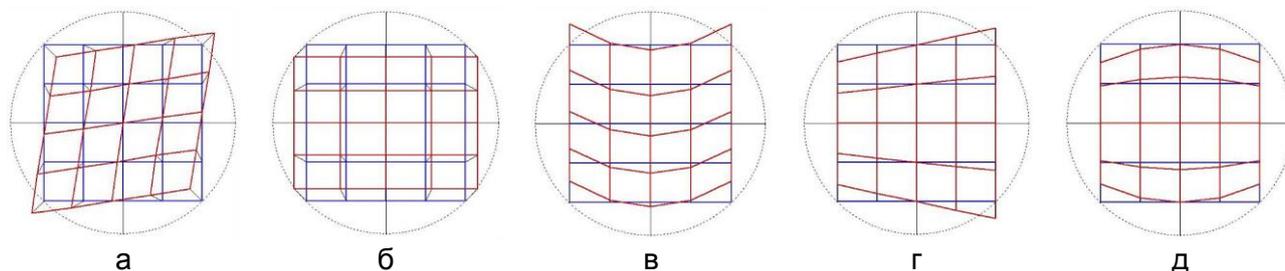


Рис. 2. Картины дисторсии: нецентрированная (а); анаморфированная (б); параболическая (в); перспективная (г); полубочкообразная (д)

Изображенные на рис. 2 картины дисторсии соответствуют картинам, которые получил М.М. Русинов при разложении дисторсии с использованием степенных коэффициентов [1].

Моделирование картины фотограмметрической дисторсии проекционного объектива позволяет подтвердить корректность математического описания возникающих искажений. Решение обратной задачи позволит получить описание дисторсии проекционного объектива

по измеренным отклонениям узловых точек и учесть эти данные при предварительной обработке проецируемого изображения с целью компенсации дисторсии объектива.

Литература

1. Русинов М.М. Инженерная фотограмметрия. – М.: Недра, 1966. – 248 с.
2. Ежова К.В. Автоматизация коррекции фотограмметрической дисторсии проекционных оптических систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.07. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 22 с.
3. Ежова К.В. Автоматизация коррекции фотограмметрической дисторсии проекционных оптических систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук: защищена 29.05.2007: утв. 05.11.2007. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 23 с.
4. Ezhova K.V. Expansion of photogrammetric distortion in orthogonal Zernike polynomials // J. Opt. Technol. – 2012. – V. 79. – P. 299–301.



Бутылкина Ксения Дмитриевна

Год рождения: 1991

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: butylkinax@gmail.com



Романова Галина Эдуардовна

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., доцент

e-mail: romanova_g_e@mail.ru



Бахолдин Алексей Валентинович

Год рождения: 1976

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., доцент

e-mail: bakholdin@aco.ifmo.ru

УДК 5202:535.1

СВЕТОСИЛЬНЫЕ ЗЕРКАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТИВЫ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Бутылкина К.Д., Романова Г.Э., Бахолдин А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Романова Г.Э.

В работе рассмотрены зеркальные системы – плананастигматы, которые могут применяться в качестве обзорных телескопов с угловыми полями до нескольких градусов. В общем случае необходимо применять многозеркальные системы, однако и среди трехзеркальных объективов можно найти системы, позволяющие решить эту задачу. На основе аналитических выражений, полученных на базе теории аббераций третьего порядка, выполнено исследование схем объективов с точки зрения конструктивных особенностей. Для найденных решений проведен анализ коррекционных возможностей.

Ключевые слова: плананастигмат, зеркальные объективы, обзорные телескопы.

Новым этапом развития телескопов можно назвать обзорные системы, получившие большое распространение в последние десятилетия. Обзорные объективы обсерваторий позволяют проводить постоянный мониторинг внеземного пространства, отслеживать изменения во Вселенной, предостерегать планету от опасного космического мусора, астероидов.

Несколько наиболее значимых современных проектов перечислены ниже. Среди этих проектов есть и наземные обсерватории, и космические аппараты:

1. VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy). С момента начала активной работы (2009 г.) VISTA остается крупнейшим в мире обзорным телескопом, работающим в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах. Диаметр зеркала телескопа – 4,1 м, фокусное расстояние 13000 мм, матрица приемника представляет собой массив из 16 инфракрасных детекторов.

Башня VISTA установлена в Паранальской обсерватории (Чили), на соседней горной вершине с Очень Большим Телескопом (Very Large Telescope, VLT). Принято считать, что в этом месте лучший на Земле астроклимат [1].

2. European Extremely Large Telescope (E-ELT). Разработанный телескоп имеет главное зеркало диаметром 39,3 м, вторичное зеркало диаметром 6 м, фокусное расстояние телескопа 420–840 м. Главное зеркало состоит из почти 800 шестиугольных сегментов размером 1,4 м. Телескоп будет оснащен уникальной адаптивной оптической системой из 5 зеркал, способной компенсировать турбулентность земной атмосферы и получать изображения с большей степенью детализации, чем орбитальный телескоп «Хаббл». Телескоп имеет оптическую схему Несмита [2].

В 2015 году прошла закладка первого камня обсерватории, начало запуска запланировано на 2020 год. Расположение выбрано также, как и в Чили – в пустыне Атакама.

3. Джеймс Уэбб (The James Webb Space Telescope, JWST). Этот телескоп принято называть «приемник Хаббла». Основное различие между «Хабблом» и JWST заключается в диапазонах работы: приборы «Хаббла» работают в ИК, видимом и ультрафиолетовом диапазонах, а JWST будет использовать преимущественно ИК диапазон. В конструкцию JWST входят зеркало диаметром 6,5 м (диаметр зеркала Хаббла – 2,4 м) и солнцезащитный щит [3]. Первые научные исследования планируются в апреле 2019 года.

4. Евклид (Euclid). Проект включает в себя телескоп 1,2 м, работающий в видимом и ближнем ИК диапазоне. Главная цель проекта заключается в точном измерении ускорения Вселенной для лучшего понимания геометрии темной материи и темной энергии [4].

Аналогичные проекты сегодня активно проектируются и разрабатываются во всем мире. При этом схемы, используемые в качестве объективов в таких проектах, должны обеспечивать высокое качество изображения и сравнительно небольшие габариты в широком спектральном диапазоне. Решения могут быть найдены в области зеркальных и зеркально-линзовых систем, однако зеркально-линзовые накладывают определенные ограничения на рабочий диапазон и требуют тщательного подбора материалов корректора. Многозеркальные системы в последние годы находят все большее применение, как в астрономии, так и при решении других прикладных задач.

Наиболее простыми из зеркальных систем, которые могут обеспечить высокое качество изображения в пределах широкого поля, являются трехзеркальные системы. Для этого в схеме необходимо исправить сферическую аберрацию, кому, астигматизм и кривизну изображения. Система задается с помощью следующих исходных данных:

$$-2 \leq \alpha_2 \leq -1,2,$$

где α – тангенс угла, образованного нулевым лучом с осью после отражения от поверхности;

$$-0,1 \leq \alpha_3 \leq 0,1,$$

$$0,2 \leq h_2 \leq 0,45,$$

где h – высота нулевого луча на отражающей поверхности.

Габаритный и абберационный расчеты проводились на основании полученных ранее формул [5, 6], базирующихся на теории аббераций третьего порядка. В рамках указанных диапазонов проводился расчет и исследование полученных систем с точки зрения габаритов и удобного положения приемника. Поскольку к основным требованиям рассматриваемых объективов относятся компактность, большое фокусное расстояние, полученные варианты схем анализировались, прежде всего, по величине межосевых расстояний:

- отсеивались схемы со слишком большими и слишком малыми (менее $0,2f'$) расстояниями между вторым и третьим зеркалами (d_2);
- анализировалось положение плоскости приемника (желательно, что бы оно находилось за вершиной второго зеркала);
- принимался во внимание коэффициент экранирования (по диаметру с учетом углового поля, диафрагменного числа и защиты плоскости изображения от постороннего света не превышает значения $\eta \leq 0,55$).

В рассматриваемых системах все зеркала представляют собой асферические поверхности второго порядка: форма первого зеркала меняется от эллиптической, близкой к параболической, до гиперболической, не сильно отличающейся от параболической; форма второго и третьего зеркал меняется от сплюснутого эллипсоида до гиперболоида, следовательно, могут быть найдены системы со сферическим вторым зеркалом. Однако системы со сферическим вторым зеркалом будут иметь значительную осевую длину d_2 . Таким образом, с точки зрения защиты от постороннего света более приемлемыми являются системы со сферическим третьим зеркалом.

На основании проведенного исследования был рассчитан пример схемы с фокусным расстоянием $f' = 1200$ мм, относительным отверстием 1:1,67 и угловым полем $2\omega = 3^\circ$, для которой проводился более глубокий анализ аббераций и расчет защитных бленд. Схема системы приведена на рисунке, система имеет качество изображения, близкое к дифракционному, все три поверхности представляют собой асферики второго порядка.

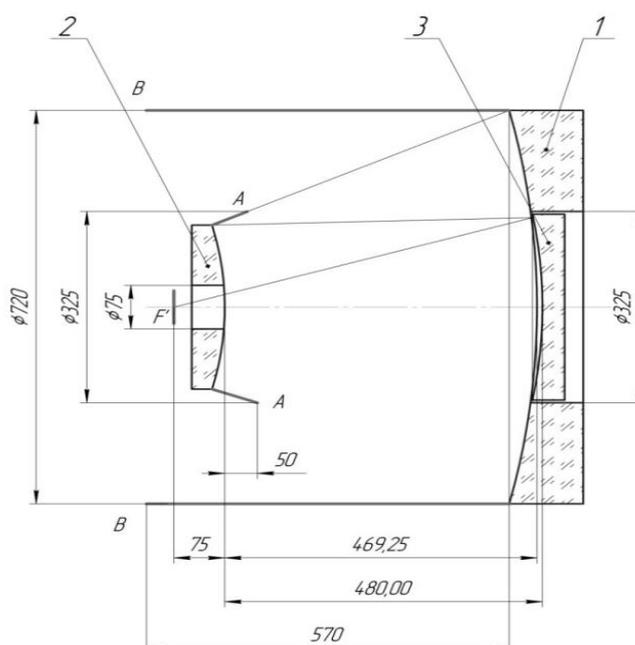


Рисунок. Оптическая схема объектива $f' = 1200$ мм, 1:1,67, $2\omega = 3^\circ$

В работе проведено исследование трехзеркальных систем без промежуточного изображения с исправленными сферической аберрацией, комой, астигматизмом и кривизной изображения. Были рассмотрены схемы, как с параллельным, так и со сходящимся и расходящимся пучками между вторым и третьим зеркалами, проанализирована форма зеркал и возможности получения высокого качества изображения при сохранении простой формы поверхностей. В качестве иллюстрации рассчитана схема объектива, который может быть использован как светосильный обзорный телескоп.

Литература

1. VISTA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://elementy.ru/kartinka_dnya/75/Teleskop_VISTA, своб.
2. E-ELT OPTICAL DESIGN [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eso.org/public/russia/teles-instr/e-elt/>, своб.
3. The James Webb Space Telescope [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/science/20091027/190695299.html>, своб.
4. Телескоп Евклида. Наука и техника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://futurenow.ru/2020-2026-kosmicheskij-teleskop-evklid-otkryvaet-novye-gorizonty-v-izuchenii-temnoy-materii-i-temnoy>, своб.
5. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. – Л.: Машиностроение, 1968. – 312 с.
6. Буылкина К.Д., Цуканова Г.И. Светосильные трехзеркальные объективы без промежуточного изображения с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами // Оптический журнал. – 2014. – Т. 81. – № 3. – С. 3–7.



Верховская Яна Ивановна

Год рождения: 1982

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: yana_rus@inbox.ru



Прокопенко Виктор Трофимович

Год рождения: 1936

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, д.т.н., профессор

e-mail: prokopenko@mail.ifmo.ru

УДК 681.785

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Верховская Я.И., Прокопенко В.Т.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Прокопенко В.Т.

В работе проведен анализ спектральных измерений оптических свойств полимерных материалов органического происхождения с анизотропными характеристиками.

Ключевые слова: оптические методы, оптические свойства, полимерные материалы, ИК-спектры, янтарь.

Стремительное развитие науки, техники и технологий способствует перспективе развития конкурентоспособных материалов, а современное направление химии высокомолекулярных соединений открывают новые возможности применения макромолекулярных синтезируемых материалов при изготовлении изделий и деталей не только в качестве оптических сред и материалов, но и для других областей использования.

Например, при разработке и получении современных функциональных полимерных материалов и композиций на их основе, с заданными оптическими характеристиками путем синтеза, модификации и переработки, позволяет не только расширить традиционные области применения в оптике, светотехнике, но и вести поиск в нетрадиционных для полимеров смежных областях [1].

Анализ современного развития научных направлений обработки, переработки и применения янтаря выявил, что основными тенденциями в данной области являются исследования наноструктурных свойств, разработка технологий производства композитных (композиционных) материалов и изделий на его основе в художественной, электротехнической, лакокрасочной, фармацевтической, парфюмерной промышленности. А также исследования воздействия на биологические объекты и человека в медицине, разработка оборудования обработки и способов получения искусственного янтаря.

В настоящее время исследования ведутся в АО «Янтарный комбинат», Московским государственным университетом им. Ломоносова, институтом Reihhold (Норвегия), Всероссийским институтом авиационных материалов, ЦНИИ кораблестроения им. Крылова, Государственным оптическим институтом им. С.И. Вавилова, ОАО «Российской венчурной компанией», Калининградским государственным техническим университетом. Стоит отметить специализированные исследования в естественнонаучной и культурно-исторической части Калининградским областным музеем Янтаря.

Анализ технологии материалов, конструкций, процессов и методов производства, оборудования – сложная техническая задача, требующая использование современной научно-технической базы, современной вычислительной и лабораторной техники. Однако исследования физических, химических, механических и технологических свойств янтаря ограничены малодоступностью и высокой стоимостью лабораторных работ и не способствуют удовлетворению научных интересов в художественной, электротехнической, лакокрасочной промышленности, а также историков, археологов, реставраторов, художников, медиков, геологов и т.д.

В связи с этим разработка и создание научно-методического руководства проведения неразрушающего оптического контроля полимерных материалов органического происхождения, процессов их переработки и обработки, изготовления и идентификации янтарной продукции, методов и способов хранения способствуют развитию разработок композиционных материалов органического происхождения, синтеза высокомолекулярных соединений. Открывают новые возможности применения макромолекулярных материалов не только в качестве оптических сред и материалов, но и для других областей использования, что в настоящее время актуально и требует высококачественных технических, алгоритмических и программных средств.

Цель работы заключалась в исследовании оптических свойств неоднородных полимерных материалов органического происхождения с анизотропными физико-механическими характеристиками.

Основными задачами исследования являлись:

- систематизировать органические полимерные смолы, выделить янтареподобные смолы и их классифицировать, выделяя их в отдельные группы по существенному признаку;
- исследование оптических свойств анизотропных полимерных материалов органического происхождения;
- анализ изменений оптических свойств при термическом воздействии.

Конечной задачей исследования являлось определение таких свойств композиционных полимерных материалов как светопропускание, светоотражение, прозрачность.

В настоящее время известны ряд научных работ, посвященных классификации янтареподобных смол, например, под руководством Н.А. Орлова [1] определены более 30 видов ископаемых смол, которые представлены двумя направлениями: янтареподобные «аморфные» (копалиты, сукциниты, ретиниты, шрауфиты, пироретиты) и «кристаллические» (бензоэ, т.е. фластафитов, ксилоретинов, фихтелитов) смолы. По К. Андерсону и др. связанные со структурными особенностями углеродного скелета макромолекулярной структуры смолы [2] поделены на 5 классов, в которых Балтийский (сукцинит) и доминиканский янтарь отнесен к первому с лабдановой решеткой (скелетом) [3].

Объектом исследования стали химический и вещественный состав, строение, микро- и макромолекулярные структурные образования полимерных материалов органического происхождения.

Предметом исследования определен сукцинит Пальмникенского месторождения г. Калининград Российской Федерации (таблица) [4].

Таблица. Сукцинит Пальмникенского месторождения г. Калининград Российской Федерации

№ п/п	Описание			Фото образцов
	Морфология			
	описание	Цвет	Прозрачность, блеск	
1.	Прозрачный необработанный янтарь светло-желтый, поверхность полированная, равномерная прозрачность,	Желтый	Прозрачный, блеск на корке – стеклянный	
2.	Непрозрачный, облачный янтарь, поверхность полированная, местами корка	Желтый-медовый	Облачный, бастард, блеск на сколе – стеклянный, на корке – отсутствует	
3.	Обработанный янтарь, костяной, с элементами корки, излом матовый, пористый	Белый	бастард, блеск на сколе – восковой	
4.	Частично обработанный янтарь с коркой, с характерными параллельными направлениями, непрозрачный с облачной текстурой	Желтый-медовый	Облачный, блеск на сколе – стеклянный, на корке – восковой	
5.	Непрозрачный, костяной, светлый с элементами корки, поверхность полированная	Белый	Бастард, костяной, блеск на сколе – восковой	
6.	Непрозрачный янтарь, светло-желтого цвета, с диагональными глубокими трещинами	Светло-желтый	Бастард – костяной, блеск на сколе – восковой	
7.	Непрозрачный янтарь, неравномерной структуры и окраса, с глубокими трещинами, ломкий, шлифованная поверхность	Белый, светло-желтый	Костяной, блеск на сколе – восковой	

№ п/п	Описание			Фото образцов
	Морфология			
	описание	Цвет	Прозрачность, блеск	
8.	Непрозрачный янтарь, светло-желтого медового цвета, с облачной текстурой, элементами корки	Желтый, медовый	Бастард, облачный, скол – стеклянный, восковой	
9.	Прозрачный янтарь с характерными корками, местами шлифованный	Желтый	Прозрачный, скол – стеклянный	
10.	Светло-коричневый, мутный, полупрозрачный в тонком слое янтарь, шлифованная поверхность	Светло-коричневый, карамель	Непрозрачный, скол – стеклянный	
11.	Светло-желтый, непрозрачный янтарь с белыми разводами, с элементами корки	Светло-желтый	Бастард, скол – восковой	

При проведении исследований образцов сукцинита методом ИК-спектроскопии, применялись технологии просвечивающей спектроскопии, а также зеркального и диффузного отражения на оборудовании ИК-Фурье-спектрометра VERTEX 70 (BRUKER) на предварительно откалиброванном интерферометре RockSolid™ с микроскопом HYPERION 1000.

Измерения проводились в спектральном диапазоне $7500\text{--}370\text{ см}^{-1}$ ($1,3\text{--}25\text{ мкм}$), $25000\text{--}8500\text{ см}^{-1}$ ($400\text{--}1200\text{ нм}$) с спектральным разрешением измерений $0,4\text{--}32\text{ см}^{-1}$, скоростью сканирования – 10 сканов в секунду при разрешении 8 см^{-1} , фотометрической точностью 0,1% T, отношение сигнал/шум (от пика до пика), при регистрации спектров поглощения время накопления 5 с, (разрешение 4 см^{-1}), не менее 7000:1, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений по шкале волновых чисел (по парам воды в атмосфере на длине волны $1554,353\text{ см}^{-1}$) $\pm 0,5\text{ см}^{-1}$.

При исследовании собственного поглощения первого порядка коэффициентов поглощения проведена специальная пробоподготовка – истирание образца и прессование в таблетки на основе KBr, которая позволяет получить тонкий (первые микроны) слой материала, и усреднить спектры по всем возможным ориентациям, компенсируя анизотропию [5].

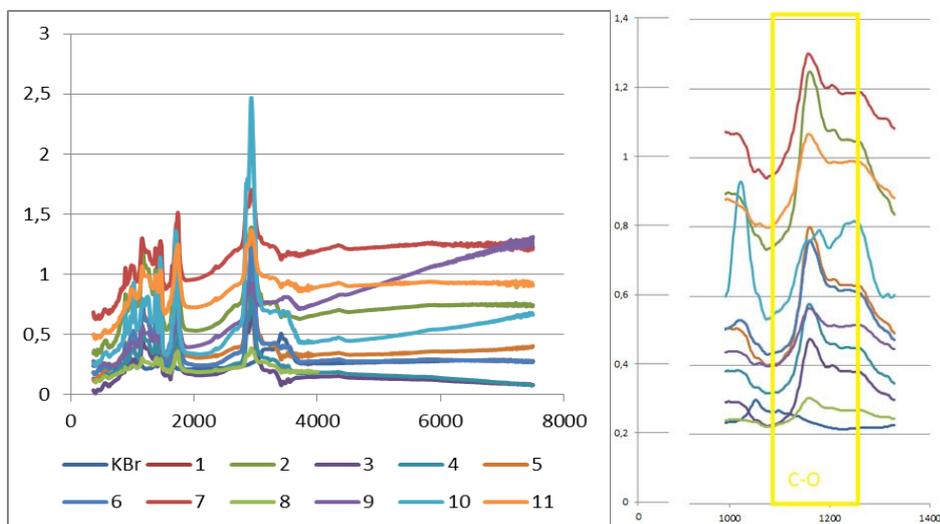


Рисунок. ИК-спектры поглощения сукцинита (янтаря)

Выводы. С помощью ИК-спектроскопии изучены 11 образцов сукцинита Пальмникенского месторождения различной прозрачности, а также термически обработанный (рисунок). Экспериментально установлено, что ИК-спектры сукцинита схожи и имеют малую зависимость от прозрачности, что может быть использовано в качестве основных характеристик при идентификации и диагностики, но термическая обработка оказывает влияние на структурное изменение материала в спектральном диапазоне 1160–1250 см⁻¹, соответствующим С-О кислотам и С-О эфирам, что также дает преимущество при диагностировании янтаря.

Литература

1. Орлов Н.А., Успенский В.А. Минералогия каустобиолитов. – М.; Л.: АН СССР, 1936. – 198 с.
2. Anderson K.B., Crelling J.C. Introduction to Amber, Resinite and Fossil Resins // ACS Symposium Series. – 1995. – V. 617. – P. 170–192.
3. Anderson K.B., Winans R.E., Botto R.E. The nature and fate of natural resins in the geosphere – II. Identification, classification and nomenclature of resinites // Organic Geochemistry. – 1992. – V. 18. – № 6. – P. 829–841.
4. Прокопенко В.Т., Верховская Я.И., Сапунова Н.П. Оптические свойства полимерных материалов // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2016. – Т. 1. – С. 233–235.
5. Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2004. – 736 с.



Власова Елена Андреевна

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В4116

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: elenavlasova94@icloud.com



Карлагина Юлия Юрьевна

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В4216

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: Julia.karl@mail.ru



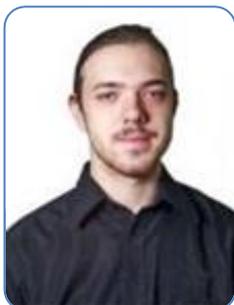
Кривонос Алексей Сергеевич

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В4116

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: as.krivonosov@ya.ru

**Москвин Михаил Константинович**

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В4116

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: moskvin_mk@inbox.ru

УДК 535.016:535-2

ЛАЗЕРНОЕ ДЕКОРИРОВАНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ**Власова Е.А., Карлагина Ю.Ю., Кривоносов А.С., Москвин М.К.****Научный руководитель – к.т.н., н.с. Одинцова Г.В.**

В работе показан метод получения цветных изображений на поверхности драгоценных металлов. Данный метод достигается путем напыления титановой пленки на поверхность драгоценного металла и ее последующего окисления. При нагреве металлической пленки, нанесенной на драгоценное изделие, на воздухе образуются тонкие оксидные пленки различной толщины, в которых за счет интерференции света возможно получить цветовую палитру для конкретной металлической пленки. Цвет поверхности после облучения меняется в зависимости от угла наблюдения. Работа была направлена на получение цветовой палитры на поверхности драгоценных металлов, с напыленными на них тонкими пленками титана, окисляющимися излучением волоконного лазера с длиной волны 1,06 мкм. Были получены цветовые палитры и проведены спектрофотометрические исследования образцов при нормальном падении света.

Ключевые слова: наносекундные лазерные импульсы, лазерное окрашивание, титановые пленки, лазерная маркировка.

Введение. Из существующих на сегодняшний день способов нанесения изображения на поверхность металлов лазерная маркировка является наиболее современным и технологичным методом, который позволяет наносить изображения с высокой точностью без механического воздействия [1]. Одним из перспективных видов лазерной маркировки является создание на поверхности металлических изделий цветных изображений путем лазерного окисления тонких пленок металла – технология цветной лазерной маркировки (ЦЛМ), которая была широко рассмотрена в литературе [2, 3]. Большой интерес представляет применение этой технологии в ювелирной промышленности.

В качестве материала для эксперимента была использована золотая пластинка (золото 525°). Метод нанесения цветного изображения на поверхность драгоценных металлов включает четыре этапа обработки исходного образца (рис. 1).

Первая стадия заключается в полировке поверхности исходного изделия с помощью пасты Dialux Bleu. Вторая стадия включает в себя напыление оксидной металлической пленки на поверхность драгоценного изделия. В качестве металла для эксперимента был выбран титан, поскольку он обладает высокой устойчивостью получаемых цветных оксидных структур к внешним воздействиям. Третья стадия обработки образца заключается в окислении титановой пленки путем локального лазерного нагрева до появления цветов побежалости на поверхности изделия. В качестве лазерного источника был выбран Минимаркер-2. На последней стадии происходит лазерная очистка излишков титановой пленки с поверхности драгоценного изделия с помощью той же технологической установки Минимаркер-2.

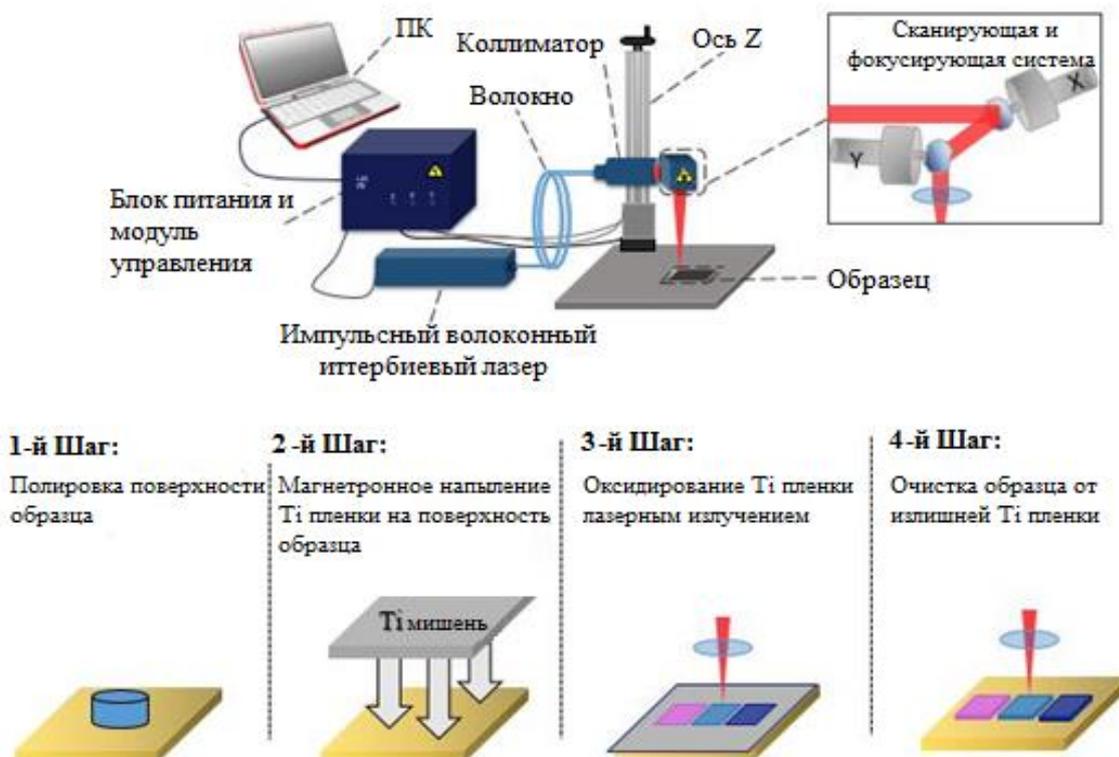


Рис. 1. Схема лазерной установки и процесс получения цветного изображения на поверхности ювелирного изделия

На рис. 2, а, представлена цветовая палитра, полученная на пленке титана, напыленной на поверхности золота. Палитра получена при следующих режимах лазерного воздействия: $q=10 \cdot 10^7$ Вт/см², $N_x=33-142$, $N_y=9$. На рис. 2, б, приведены цвета поверхности золота до окисления лазерным воздействием и цвета, получаемые на поверхности драгоценных металлов, после воздействия лазерного излучения на их поверхность.

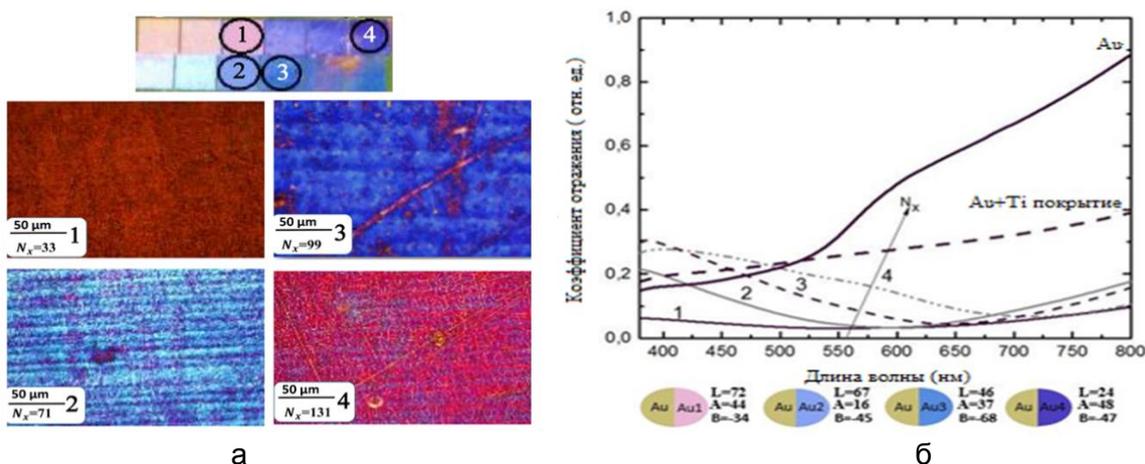


Рис. 2. Цветовая палитра и микрофотографии оксидных пленок, полученных на поверхности золота (а); спектры отражения поверхности оксидной титановой пленки золота (б)

Заключение. Проведенные эксперименты подтверждают возможность получения цветных изображений на поверхности драгоценных металлов с помощью окисления пленок титана, напыленных на их поверхность методом магнетронного напыления. Были подобраны режимы для получения палитр цветов на поверхности драгоценных металлов. Экспериментально было подтверждено, что получаемые цветные оксидные структуры обладают высокой износостойкостью и хорошей адгезией к подложкам из драгоценных металлов.

Литература

1. Karlagina Y.Y., Veiko V.P., Odintsova G.V., Ageev E.I., Gorbunova E.V., Andreeva I.M., Шимко А.А. Development of complete color palette based on spectrophotometric measurements of steel oxidation results for enhancement of color laser marking technology // *Materials and Design*. – 2016. – V. 89. – P. 684–688.
2. Antonczak A.J., Kocon D., Nowak M., Koziol P., Abramski K.A. Laser-induced colour marking – Sensitivity scaling for a stainless steel // *Applied Surface Science*. – 2013. – V. 264. – P. 229–236.
3. Veiko V.P., Odintsova G.V., Ageev E.I., Karlagina Y.Y., Loginov A.V., Skuratova A.L., Gorbunova E.V. Controlled oxide films formation by nanosecond laser pulses for color marking // *Optics express*. – 2014. – V. 22. – № 20. – P. 24342–24347.

**Волхонский Владимир Владимирович**

Год рождения: 1948

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра световых технологий и оптоэлектроники, д.т.н., доцент
e-mail: volkhonski@mail.ru**Воробьев Павел Андреевич**Агентство патентных поверенных «АРС-Патент», отдел изобретений,
патентный эксперт

e-mail: worobev@ars-patent.com

**Желонкин Артём Сергеевич**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4236Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: aszhelonkin@corp.ifmo.ru

УДК 654.924

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АДАПТАЦИИ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ
ПАССИВНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ
К КОНТРОЛИРУЕМОМУ ОБЪЕКТУ****Волхонский В.В.** (Университет ИТМО), **Воробьев П.А.** (Агентство патентных
поверенных «АРС-Патент»), **Желонкин А.С.** (Университет ИТМО)**Научный руководитель – д.т.н., профессор Волхонский В.В.** (Университет ИТМО)

В работе рассмотрена задача адаптации формы диаграммы направленности пассивного оптико-электронного инфракрасного извещателя к размерам и конфигурации контролируемого объекта. Приведен анализ возможности применения многоэлементных приемников инфракрасного излучения, в частности, использование термопарных матриц в качестве чувствительных элементов извещателя

для формирования и программной адаптации диаграммы направленности к особенностям объекта обеспечения безопасности.

Ключевые слова: пассивный инфракрасный извещатель, диаграмма направленности, элементарная чувствительная зона, многоэлементный пироэлектрический приемник, термопарная матрица.

Одними из основных элементов систем физической защиты являются средства обнаружения. Именно средства обнаружения в большей степени определяют эффективность системы физической защиты.

Ввиду своей низкой стоимости и высокой способности к обнаружению несанкционированного проникновения (НСП) при низком уровне ложных срабатываний, в системах физической защиты широко применяются пассивные оптико-электронные инфракрасные извещатели (ПОЭИИ), которые позволяют контролировать практически весь объем помещения. Требования к таким извещателям определены в [1], но они предусматривают обнаружение нарушителя,двигающегося только в наиболее выгодных направлениях относительно диаграммы направленности (ДН). Однако квалифицированный нарушитель может противодействовать обнаружению при помощи выбора определенного направления и скорости движения в зоне обнаружения извещателя, а также применения теплоизолирующей одежды и прочих средств.

Возможности по совершенствованию алгоритма обработки сигнала в традиционных извещателях со связанными парами чувствительных элементов крайне ограничены, ввиду низкой информативности сигнала и наличием принципиально неразрешимого противоречия при формировании ДН для обнаружения движения при разных параметрах моделей нарушителей. Использование нескольких пироприемников и нескольких оптических систем для решения данной проблемы приводит к усложнению и удорожанию устройств. Совокупность элементарных чувствительных зон, формируемых приемником и одним сегментом оптической системы, назовем парциальной диаграммой направленности (ПДН), а совокупность нескольких элементарных чувствительных зон с общим алгоритмом обработки, чувствительной зоной ПДН. Основой для решения задачи может стать адаптация ДН к нескольким приоритетным моделям нарушителя и оптимизация соответствующих алгоритмов обработки [2].

Решением поставленной задачи может служить использование четырех и более элементарных приемников инфракрасного (ИК) излучения с независимыми выходами, что позволяет повысить информативность сигнала извещателя и применить многоканальную обработку для формирования одновременно нескольких различных ПДН, адаптированных к приоритетным моделям нарушителя. Так, четырехэлементный приемник позволяет формировать две ортогональные ПДН, оптимизированные к радиальному и тангенциальному направлениям движения [3], а девятиэлементный приемник решает проблему, связанную с низкой вероятностью обнаружения также и при диагональных направлениях.

Однако эти решения, во-первых, не позволяют адаптировать форму ДН к размерам и конфигурации контролируемого объекта и, во-вторых, технически ограничены применением сравнительно небольшого количества элементов пироэлектрического приемника. Потому имеет смысл исследовать возможности формирования ДН при помощи матричного приемника ИК-излучения.

Основным преимуществом ПОЭИИ являются достаточно высокие функциональные характеристики устройства при приемлемой стоимости, что в большей степени определяет их распространенность. В этой связи данное ограничение должно также выполняться при разработке извещателя с матричным приемником. Учитывая сказанное, можно сделать вывод, что наиболее приемлемым вариантом будет применение термопарной матрицы в качестве чувствительного элемента извещателя, на которую необходимо произвести фокусировку ИК-излучения в диапазоне 6–14 мкм [1] при помощи оптической системы, например, линзы Френеля, ввиду ее низкой стоимости, удобства в серийном производстве и

функциональным характеристикам материала. Выделить требуемый диапазон ИК-излучения возможно при помощи соответствующих фильтров.

В традиционных ПОЭИИ элементарные чувствительные зоны формируются при помощи сегментированной линзы Френеля, но в случае термопарной матрицы в качестве приемника ИК-излучения необходимо фокусировать излучение на всю площадь чувствительной поверхности (на весь массив термопар) при помощи несегментированной линзы Френеля. Сегментирование полученной ДН на элементарные чувствительные зоны можно производить на программном уровне при помощи микроконтроллера (по шине I²C), выбирая необходимую комбинацию элементов приемника.

Для проверки реализуемости такого подхода выполним моделирование ДН, а в качестве образца возьмем параметры термопарной матрицы НТРА 32x32d производства [4]. Данная матрица при поставке от производителя имеет кремниевую, либо германиевую оптику, которая, в свою очередь, является дорогостоящей и не подходит для использования в ПОЭИИ, ввиду чего должна быть заменена на линзу Френеля. Однако проверка такой возможности требует моделирования ДН по схеме, представленной на рис. 1.

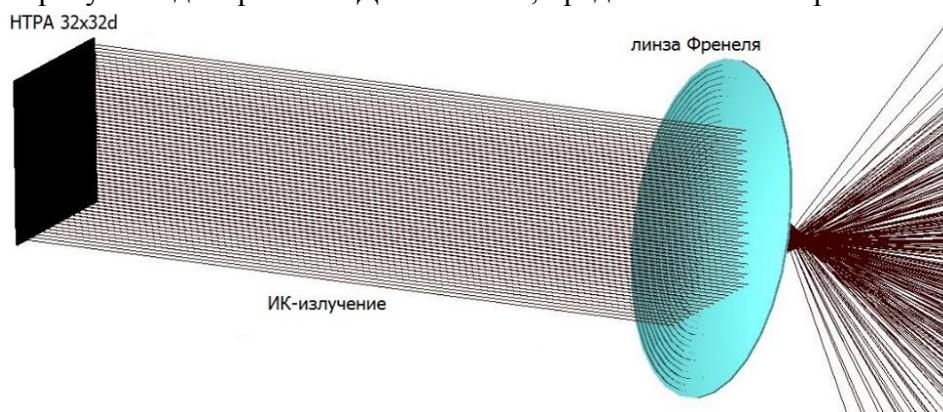


Рис. 1. Установка для моделирования ДН в программе Trace Pro

Программное обеспечение для моделирования и расчета оптических систем Trace Pro [5] позволяет моделировать ДН извещателя с термопарной матрицей. Линза Френеля, сформированная программно, находилась напротив термопарной матрицы на определенном расстоянии, так, чтобы оба элемента имели общую осевую линию, проходящую через их центры. Было установлено ограничение на материал линзы Френеля, чтобы она могла фокусировать ИК-излучение с длиной волны в диапазоне 6–14 мкм, а также были подобраны параметры и расстояния для фокусировки теплового излучения на всю поверхность термопарной матрицы. Моделировалась установка подобного извещателя на потолке помещения высотой 3 м, а ДН имела телесный угол в 90° и конусообразную форму с охватом зоны радиусом в 8 м. Для изменения формы ДН (рис. 2) можно изменять расположение оптической системы относительно термопарной матрицы, а также ее параметры.

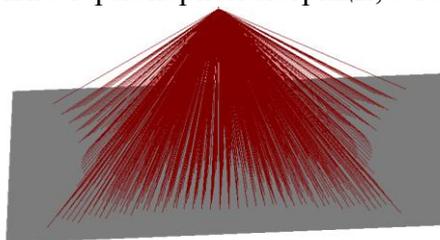


Рис. 2. Форма ДН, полученной при моделировании

Полученная при моделировании ДН имеет лишь одну из возможных форм. Поскольку формирование ДН производится на программном уровне, возможно формировать различные ДН в зависимости от специфики контролируемого объекта, меняя количество элементарных чувствительных зон и их комбинации.

Литература

1. ГОСТ Р 50777-2014. Извещатели пассивные опико-электронные инфракрасные для закрытых помещений и открытых площадок. Общие технические требования и методы испытаний. – Введен 01.01.2016. – М.: Стандартинформ, 2014. – 61 с.
2. Волхонский В.В., Билиженко И.В., Малышкин С.Л., Воробьев П.А. Формирование диаграмм направленности опико-электронных извещателей на основе многоэлементных приемников ИК-излучения // Изв. вузов. Приборостроение. – 2017. – № 1. – С. 96–99.
3. Пат.159824 Российская Федерация, МПК G 08 B 13/19. Охранный пассивный инфракрасный извещатель / Волхонский В.В., Воробьев П.А., Малышкин С.Л., Перчуков В.И., Рахматуллина Т.М.; заявитель и патентообладатель Закрытое Акционерное Общество «РИЭЛТА» (RU). – № 2015128717/12; заявл. 14.07.2015; опубл. 20.02.2016 Бюл. № 5. – 2 с.
4. Thermopile Arrays and Imaging: Overview-НТРА32x32d [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.heimanssensor.com/Datasheets/Overview-НТРА32x32d_Rev3.pdf, своб.
5. Trace Pro [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lambdares.com/tracepro>, своб.



Ворожцова Юлия Сергеевна

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, группа № В3464
Направление подготовки: 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
e-mail: leta-x@mail.ru



Слободов Александр Арсеньевич

Год рождения: 1951

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, д.х.н., профессор
e-mail: aslobd@gmail.com



Усманова Фания Гайнулхаковна

Год рождения: 1978

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, к.х.н., доцент
e-mail: fania1909@gmail.com

УДК 54.01

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ НЕФТЕЙ И ИХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Ворожцова Ю.С., Слободов А.А., Усманова Ф.Г.

Научный руководитель – д.х.н., профессор Слободов А.А.

В работе рассмотрен компонентный состав нефтей, отмечены его характерные особенности, состоящие в преимущественном содержании тех или иных классов органических и неорганических соединений. Кроме того, в работе обозначены основные термодинамические характеристики указанных компонентов, необходимые для моделирования фазовых и химических взаимодействий в нефтях.

Ключевые слова: нефть, химический состав, термодинамические параметры, классы органических веществ, прогнозирование образования отложений.

Современная нефтегазодобывающая промышленность часто сталкивается с проблемой закупорки трубопроводов и скважинного оборудования различного рода отложениями, которые можно разделить на три основные группы:

1. соли. Их состав во многом зависит от минерального состава воды, добываемой совместно с нефтью;
2. газовые гидраты, главным условием образования которых является сочетание низкой температуры и высокого давления. Они образуются из молекул воды и попутного нефтяного газа, компонентами и соотношением которого определяется химический состав газовых гидратов;
3. асфальтосмолопарафиновые отложения, проблема определения точного химического состава которых до сих пор остается нерешенной [1]. Они представляют собой высоковязкие жидкости преимущественно черного или темно-коричневого цвета, локализующиеся на стенках трубопровода. Их образование также связывают с определенными термобарическими условиями. Образование перечисленных видов отложений ведет к ухудшению технико-экономических показателей добычи углеводородов, поэтому борьба с ними является одной из приоритетных задач нефтегазодобывающих компаний. Современные пути решения данной проблемы заключаются в применении экспериментальных, графических или расчетных методов [2]. Наиболее точные результаты позволяет получить экспериментальный способ, требующий использования специального оборудования и привлечения квалифицированного персонала, что достаточно сложно осуществимо в реальных условиях эксплуатации скважин [3]. Применение менее точных графических и графических методов, как показывает практика, недостаточно для того, чтобы решить данную проблему – они нуждаются в постоянной доработке и адаптации под условия добычи определенной нефти определенного месторождения.

В настоящей работе предложено решение названной проблемы путем изучения и моделирования фазовых и химических взаимодействий в нефтях, по результатам которого получить возможность более точного прогнозирования образования продуктов (в том числе и отложений) того или иного химического состава в нефтяной системе. Это, в свою очередь, позволит с высокой точностью определить методы предотвращения или удаления их. Однако нефть каждого месторождения уникальна по своему химическому составу, что затрудняет реализацию данного метода. Исходя из этого, для начала необходимо создать базу компонентов нефти и их стандартных термодинамических характеристик, необходимых для дальнейшего процесса термодинамического моделирования, что являлось **целью работы**.

В ходе анализа тематической литературы [4] (как пример) было установлено, что химический состав нефти можно разделить на три основные группы (рис. 1).



Рис. 1. Основные группы компонентов нефти

Из углеводородов в нефти (рис. 2) преобладают алканы (C_nH_{2n+2}), содержание которых в некоторых составах доходит до 70% и уменьшается с ростом температуры

кипения нефтяных фракций. Циклоалканы (C_nH_{2n}) сравнимы по содержанию с алканами и представлены в основном моноциклическими соединениями, среди которых преобладают метилзамещенные циклопентаны и циклогексаны. До 20% аренов или ароматических углеводородов могут содержать нефти различных составов, их содержание, в отличие от алканов, с повышением температуры кипения фракции увеличивается. Алкены, циклоалкены и алкины либо не содержатся, либо содержатся в незначительных количествах (до 1%).

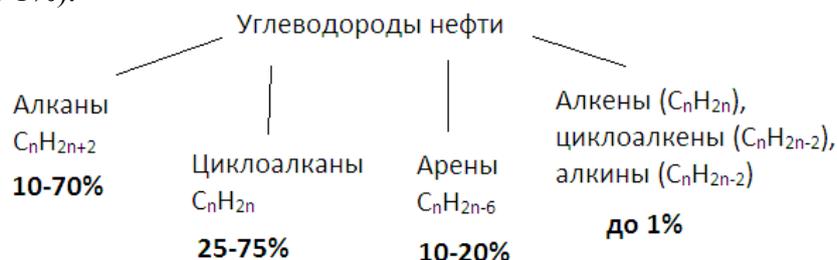


Рис. 2. Содержание углеводородов в нефти

К гетероатомным соединениям нефти (рис. 3) относятся кислородные (кислоты, фенолы, кетоны, эфиры), азотистые (амины и амиды кислот), сернистые (тиолы, сульфиды и дисульфиды). Из компонентов, содержащих кислород, по содержанию в нефти остальных превосходят кислоты (до 3%), содержание остальных варьируется от 0,01 до 1%. Сернистые соединения преимущественно представлены тиолами и их общее содержание не превышает 1%, также как и азотистых соединений.

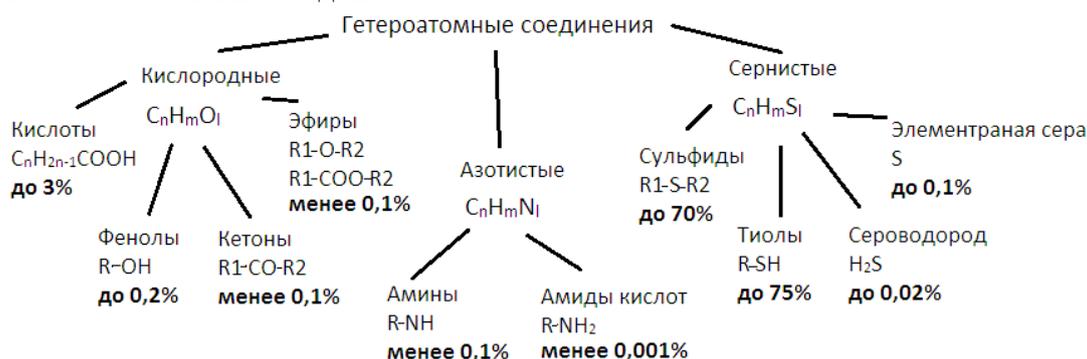


Рис. 3. Компоненты нефти гетероатомного строения

К минеральным компонентам нефти относят соли и металлоорганические соединения (до 0,01%).

Для того чтобы реализовать моделирование процессов, происходящих в системе обнаруженных компонентов, необходимо установить их некоторые термодинамические величины, связанные уравнением $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, отвечающим законам термодинамики, а именно:

- стандартная молярная энтальпия образования, $\Delta_f H_{298}^\circ$, в кДж/моль, при 298,15 К;
- стандартная молярная энергия Гиббса образования, $\Delta_f G_{298}^\circ$, в кДж/моль, при 298,15 К;
- стандартная молярная энтропия, S_{298}° , в Дж/(моль·К), при 298,15 К;
- стандартная молярная изобарная теплоемкость, как температурно-зависимая функция:

$$C_p(T) = a + bT + cT^2 + c'T^{-2},$$

где a , b , c и c' – эмпирические коэффициенты.

Составленная база данных, выдержка из которой представлена в таблице, в дальнейшем будет использована в моделировании фазовых и химических превращений в нефти для прогнозирования состава отложений, образующихся в процессе добычи углеводородов, для более точного и эффективного подбора средств и методов борьбы с ними.

Таблица. Выдержка из базы данных компонентов нефти

Вещество	Формула	$T_{\text{кип.}}$, °C	$T_{\text{пл.}}$, °C	$\Delta_f H_{298}^\circ$ кДж/моль	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль·К)	$C_p^\circ(T)$, Дж/(моль·К)
н-пентан	C_5H_{12} (ж)	36	-132	-173,5	-9,7	262,8	167,2
	C_5H_{12} (г)			-146,9	-8,4	349,0	
н-гексан	C_6H_{14} (ж)	68,7	-95,3	-198,7	-4,4	296,0	195,6
	C_6H_{14} (г)			-166,9	-0,3	388,4	
н-гептан	C_7H_{16} (ж)	98,4	-90,6	-224,2	0,7	328,8	224,7
	C_7H_{16} (г)			-187,6	7,9	427,9	
н-октан	C_8H_{18} (ж)	125,7	-56,8	-250,1	6,4	360,8	254,6
	C_8H_{18} (г)			-208,5	16,3	466,7	

Литература

1. Нелюбов Д.В., Семихина Л.П., Овчинникова Я.А. Основы метода прогнозирования парафинизации нефтедобывающих скважин // Нефтегазовое дело. – № 5. – 2012. – С. 383–388.
2. Макогон Ю.Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование. – М.: Недра, 1985. – 230 с.
3. Хорошилов В.А., Малышев А.Г. Предупреждение и ликвидация гидратных отложений при добыче нефти. – М.: ВНИИОЭНГ, 1986. – 55 с.
4. Соболева Е.В., Гусева А.Н. Химия горючих ископаемых: учебник. – М.: Изд-во Московского университета, 2010. – 312 с.



Гареев Эмиль Зуфарович

Год рождения: 1992

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: gareev.e@corp.ifmo.ru



Шарило Константин Дмитриевич

Год рождения: 1996

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В3330

Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: k.sharipo@mail.ru

УДК 628.92/97

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПОСРЕДСТВОМ СВЕТОДИОДОВ

Гареев Э.З., Шарило К.Д.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент Бугров В.Е.

Работа посвящена исследованию возможности использования на практике беспроводной оптической технологии передачи данных, основанной на светодиодах видимого излучения. Выбор темы

обусловлен перспективами развития рассматриваемой технологии передачи данных. В качестве результата в работе представлен лабораторный макет, его характеристики и результаты тестирования.

Ключевые слова: беспроводные сети передачи данных, светодиоды, светодиодные лампы, оптоэлектроника, беспроводные технологии, Li-Fi технология.

На сегодняшний день передача данных, а конкретно скорость передачи данных, является наиболее обсуждаемым вопросом в области телекоммуникаций. С развитием систем Wi-Fi и WiMax произошел резкий скачок в сфере передачи данных, однако развитие беспроводных технологий не остановилось на этом. В июне 2011 года доктор Харальд Хаас (профессор Эдинбургского университета) продемонстрировал, что светодиодная лампа с модулятором для кодирования сигнала, способна передавать поток информации со стабильной высокой скоростью [1]. Технология получила название Li-Fi. Система, представленная в данной работе, основана на данной технологии беспроводной передачи данных.

В настоящее время технология Li-Fi предположительно может использоваться там, где использование Wi-Fi невозможно, например, на химических и нефтяных станциях, заводах (вызывает опасные наводки радиосигналов). Многие медицинские устройства управляются с помощью радиоволн, и эти излучения могут привести к проблемам со здоровьем у пациентов. На борту самолета пассажиры смогут использовать световую передачу данных, так как данная связь не вносит помех в радиосигналы самолета. Для связи при проведении подводных работ используются кабели. А технология передачи данных Li-Fi поможет снять ограничения, связанные с длиной кабеля и ограничения на передвижения. Также использование данного метода связи возможно на дорогах, где светодиодные фары автомобилей смогут выступать в качестве источника данных о скорости транспорта, маршруте следования и других данных. Такая сеть показана на рис. 1 и получила название VANET (Vehicular ad hoc network) [2].

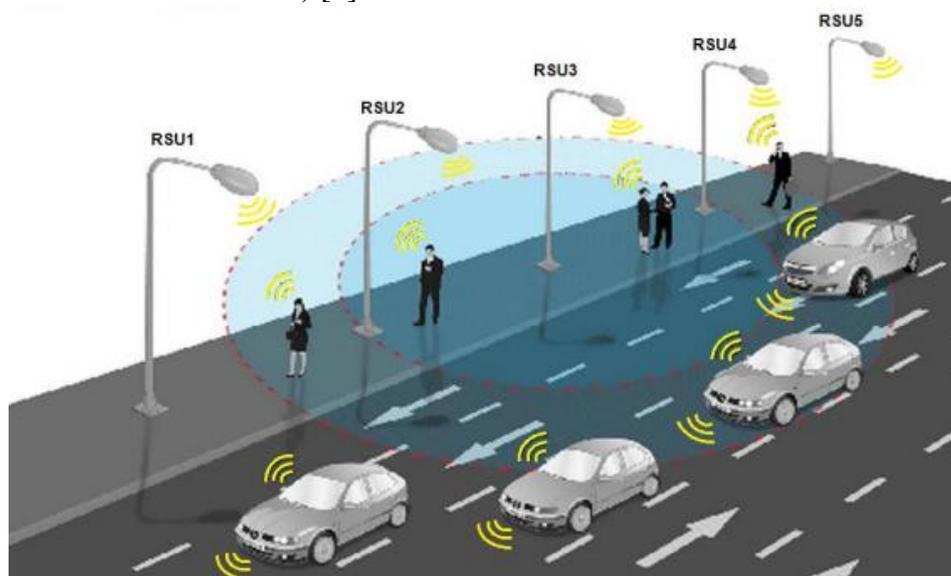


Рис. 1. Сеть VANET

В технологии Li-Fi используется свет от светодиодов в качестве среды для высокоскоростной передачи данных. Принцип действия самой системы заключается в том, что светодиод, излучающий свет в видимой области спектра, включается и выключается с огромной скоростью. Человеческий глаз не способен воспринимать частоту мерцаний свыше 100 мерцаний в секунду, таким образом, для наблюдателя такой принцип передачи информации будет незаметен. Также стоит отметить, что свет, излучаемый светодиодом, является нераздражительным для человеческих глаз.

На рис. 2 можно наблюдать общую схему собранного экспериментального стенда. Здесь в качестве устройства ввода выступает персональный компьютер, устройством

модуляции является программируемый блок питания Keithley 2611b, а в роли источника сигнала – светодиод.



Рис. 2. Общая модель экспериментального стенда

Приемная часть стенда состоит из фотодиода – приемника сигнала и осциллографа. Осциллограф выступает в качестве вывода визуального образа сигнала, т.е. обработка информации производится визуально.

Смена яркости светодиода с нуля на максимум интенсивности, модулируемая блоком питания, превращается в некий двоичный массив данных, или, по-другому, информация передается в качестве бинарного кода. Переход к системам счисления с другим основанием происходит за счет использования разного уровня яркости светодиода. Таким образом, при работе с разрабатываемой системой передачи данных было задано пятиричное кодирование информации (рис. 3).

В качестве текущего результата представлен лабораторный макет беспроводной опико-электронной системы передачи данных на базе светодиодов видимого излучения, а также результаты тестирования, наглядно иллюстрирующие работоспособность данной системы, и ее перспективы развития. В ближайшем будущем планируется переход от блока питания к портативным микроконтроллерам, чтобы увеличить скорость передачи данных, реализовать обработку сигнала в самом микроконтроллере, а также для того, чтобы уменьшить размеры стенда, с последующим созданием прототипа Li-Fi системы.



Рис. 3. Дешифровка полученного сигнала

Литература

1. Harald Haas: Wireless data from every light bulb [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb, своб.
2. Киричек Р.В., Нгуен Д.К., Герасимова Е.М. Сравнительный обзор технологии Li-Fi и перспектива практического использования для интернета вещей // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – № 4(12). – С. 77–86.



Гарин Иван Станиславович

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра опико-электронных приборов и систем, группа № В4107

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: dangerig@list.ru

УДК 535.317.1

АНАЛИЗ СИСТЕМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УСТАЛОСТИ ВОДИТЕЛЯ

Гарин И.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Горбачёв А.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

В работе рассмотрен анализ систем для контроля усталости водителя. Проведен сравнительный анализ способов обнаружения переутомления водителя, в ходе которого выявлены недостатки каждого из них. Предложен собственный вариант построения системы контроля усталости водителя.

Ключевые слова: контроль усталости, безопасность, автомобилестроение, мимика, обнаружение.

Развитие автотранспорта привело к тому, что некоторым водителям приходится проводить много времени за рулем по совершенно разным причинам, будь то работа, путешествие или личные дела. Согласно статистике, приблизительно каждая четвертая авария происходит из-за того, что водитель сильно устал и его реакция притупилась [1]. Исследования ученых показали, что после четырех часов непрерывной езды реакция водителя уменьшается в два раза, а через восемь часов – в шесть раз. Избежать этого поможет разработка систем, способных оценивать степень переутомления водителя и оповещать его о необходимости отдыха.

Известные в настоящее время способы контроля степени усталости водителя можно условно разделить на три группы:

1. слежение за поведением автомобиля и оценка действий водителя;
2. слежение за мимикой лица водителя;
3. дополнительные устройства, основывающиеся на косвенных показаниях.

Первый вариант основывается на сравнении действий водителя и поведения автомобиля на дороге по заранее предустановленным параметрам, которые характеризуют действия бодрого и внимательного «эталонного» водителя, но не адаптируются под манеру вождения конкретного человека, что сказывается на корректности работы данных систем [2, 3]. Метод анализа мимики лица водителя в этом плане является наиболее предпочтительным, так как оценка степени переутомления идет для конкретного человека, управляющего транспортным средством, однако из-за сложности и высокой стоимости создания таких систем их реализации очень мала [4]. Описанные выше системы работают только при достижении автомобилем определенной скорости, которая варьируется от 60 до 80 км/ч, а также устанавливаются только в премиальные автомобили в качестве базового оборудования или в качестве дополнительной опции, имеющей высокую стоимость. Однако большинство автомобилей на дорогах общего пользования находятся в ценовой категории, где данная функция невозможна.

Дополнительные устройства, которые может приобрести каждый автомобилист, работают по определенным параметрам и в определенных условиях, но не подстраиваются

под конкретного водителя, что часто приводит к ошибкам обнаружения переутомления, а иногда и вовсе не реагирует на изменение состояния водителя.

Среди имеющихся на сегодняшний день систем для контроля усталости водителя в качестве аналога выбрана система, анализирующая мимику лица водителя. Структурная схема такой системы представлена на рисунке.

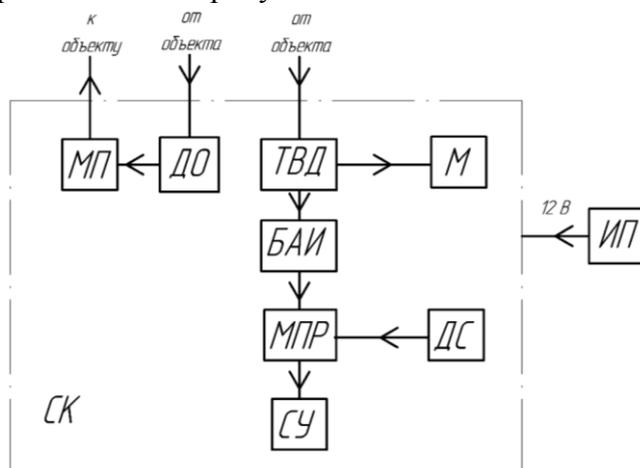


Рисунок. Структурная схема системы

Система работает следующим образом: телевизионный датчик (ТВД) формирует цифровой сигнал с изображением лица водителя. В качестве приемника оптического излучения целесообразно использовать многоэлементный КМОП-приемник матричного типа, достоинством которого является малое энергопотребление, габариты и масса [5]. С приемника оптического излучения сигнал поступает в блок анализа изображения (БАИ), который оценивает степень усталости водителя по разработанному алгоритму. Далее информация о состоянии водителя передается в модуль принятия решения (МПР). Если значения данных с БАИ превышают пороговое значение, водитель получает звуковой и световой сигнал с помощью сигнализирующего устройства (СУ). Оповещение водителя о необходимости остановки система выводит только в том случае, если автомобиль находится в движении, поэтому данные о его перемещении поступают в МПР с датчика скорости (ДС). Настроить оптимальное расположение системы для наилучшего захвата лица водителя позволяет монитор (М), подключенный к ТВД. В темное время суток по сигналу с датчика освещенности (ДО) включается модуль подсветки (МП), работающий в ближнем инфракрасном диапазоне излучения. МП позволяет обеспечить необходимый уровень сигнала на выходе ТВД для работы БАИ в темное время суток.

Отличительной чертой разрабатываемой системы является то, что она будет выполнена в качестве обособленного устройства, готового к установке на любой автомобиль без серьезного вмешательства в конструкцию и электрическую сеть автомобиля.

Итогом данной работы явился проведенный анализ и сравнение существующих систем, предложен вариант собственной системы, разработанной с учетом недостатков перечисленных выше систем.

Литература

1. Контроль усталости водителя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mitsu-motors.ru/kontrol-ustalosti-voditelya>, своб.
2. Устройство автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://znanieavto.ru/komfort/datchik-ustalosti-voditelya.html>, своб.
3. Автомобильное сообщество [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://article.autoua.net/55-kak-eto-rabotaet-sistema-kontrolya-ustalosti-vodit.html>, своб.

4. Автомобильный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avtoexperts.ru/article/sistema-raspoznaniya-ustalosti-voditelya>, своб.
5. Горбачев А.А., Коротаев В.В., Ярышев С.Н. Твердотельные матричные фотопреобразователи и камеры на их основе: учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 96 с.



Глебов Виктор Анатольевич

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4107

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: glebov_v94@mail.ru

УДК 004.932.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК НА ЛИЦЕ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВИДЕОФИКСАЦИИ МИКРОМИМИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

Глебов В.А.

Научный руководитель – тьютор Лашманов О.Ю.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

В работе рассмотрены особенности алгоритма активных моделей внешнего вида. Приведены результаты исследования зависимости погрешности определения координат ключевых точек на лице человека с помощью алгоритма активных моделей внешнего вида при видеофиксации микромимических движений от отношения сигнал/шум.

Ключевые слова: активные модели внешнего вида, ключевые точки, обработка изображений, погрешность, алгоритм.

Ключевые точки – точки объекта на изображении, положение которых не меняется относительно объекта, несмотря на смену освещения, поворот, сдвиг, изменение масштаба. Задав набор таких точек, можно распознавать образы на изображениях и определять параметры объектов и их частей, например, ориентацию в пространстве, скорость движения, размеры и т.д. Поиск ключевых точек на изображениях позволяет снижать трудовые и финансовые затраты, исключить человеческий фактор при контроле определенных объектов и может быть применен для распознавания лиц, патологий на рентгеновских снимках анализа механических узлов и во многих других областях. Алгоритм активных моделей внешнего вида является одним из основных в области распознавания ключевых точек в перечисленных выше сферах. Его преимуществами относительно других алгоритмов определения ключевых точек является более высокая стабильность вследствие того, что при его применении учитываются как форма, так и текстура контролируемого объекта. Активные модели внешнего вида – алгоритм, использующий статистические модели изображений. Модели могут деформироваться и подгоняться к объекту на новом изображении. При этом модель ограничена так, чтобы могла меняться только в пределах примеров, размеченных в обучающей выборке. Далее происходит сопоставление модели с новым изображением и обновление параметров модели путем наилучшего соответствия с новыми позициями [1].

При использовании алгоритма активных моделей внешнего вида для определения параметров различных объектов, распознавания лиц и видеофиксации микромимических движений с целью распознавания эмоций человека большую роль играет значение погрешности определения координат ключевых точек.

Существует несколько реализаций алгоритма активных моделей внешнего вида с открытым исходным кодом. Для определения зависимости погрешности определения координат ключевых точек от отношения сигнал/шум в данном исследовании использовалась программная библиотека AAMToolbox [2], а также две выборки фотографий лиц людей [2, 3]. Выборка № 1 состояла из 20 фотографий, размер выборки № 2 – 205 изображений. После обучения модели в программу можно загрузить изображения лица, после чего осуществится пригонка модели к этому изображению, и алгоритм определит координаты ключевых точек на лице. Координаты ключевых точек, полученные при деформации модели, будут отличаться от координат, указанных при обучении алгоритма на величину погрешности.

Пиковое отношение сигнал/шум полутонового K зашумленного изображения относительно незашумленного изображения I определяется как:

$$PSNR = \frac{I_{MAX}}{RMSE},$$

где I_{MAX} – максимальное значение интенсивности изображения, зависящее от разрядности; $RMSE$ – среднеквадратическое отклонение, определяемое как [4]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I(i, j) - K(i, j))^2},$$

где m, n – размеры изображений I и K .

Для определения зависимостей погрешности определения координат и среднеквадратического отклонения (СКО) погрешности от отношения сигнал/шум был сгенерирован набор изображений с шумом «соль и перец» и с шумом, распределенным по закону Гаусса. Отношение сигнал/шум данных изображений меняется в диапазоне от 5 до 100.

Алгоритм обучался на всех изображениях выборки, за исключением тестового. Тестовые изображения с различным отношением сигнал/шум загружались в программу, алгоритмом производилось вычисление координат X_N, Y_N (по горизонтали и вертикали соответственно) ключевых точек для зашумленных изображений.

Погрешность δ определения координат для каждой точки оценивалась как расстояние в декартовом пространстве между точкой, указанной при обучении и точкой, координаты которой определены с помощью программы:

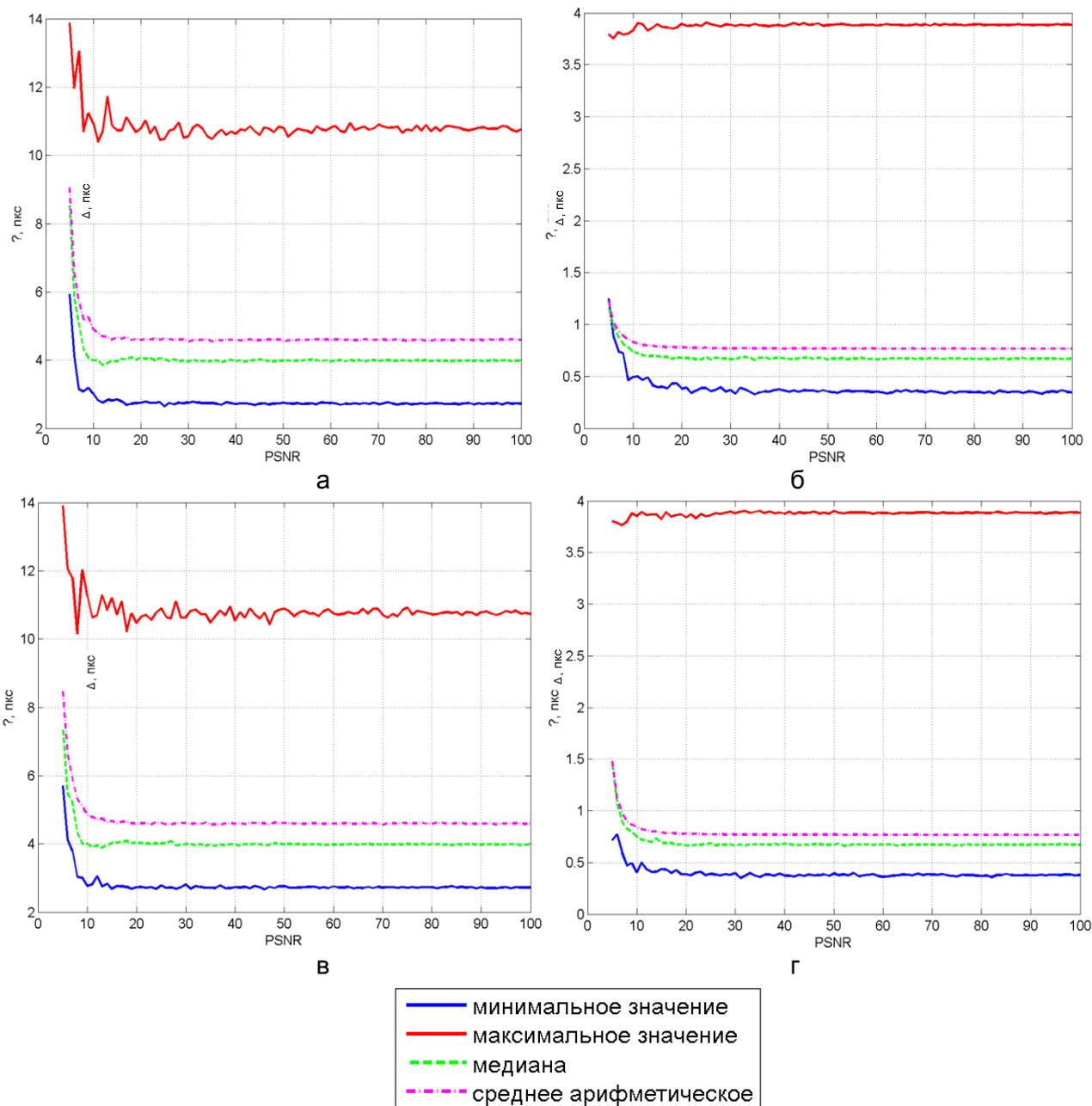
$$\delta = \sqrt{(\bar{X} - X_N)^2 + (\bar{Y} - Y_N)^2},$$

где \bar{X}, \bar{Y} – координаты ключевых точек, указанные при обучении модели.

Далее оценивалась средняя погрешность определения координат для всех ключевых точек на изображении посредством усреднения значений погрешности, полученных для каждой точки, если всего N ключевых точек на изображении:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^N \delta_i}{N}.$$

На рисунке представлены полученные зависимости погрешности определения координат ключевых точек от отношения сигнал/шум.



Д

Рисунок. Графики зависимости погрешности определения координат ключевых точек: для изображений с гауссовым шумом по выборке № 1 (а); для изображений с гауссовым шумом по выборке № 2 (б); для изображений с шумом «соль и перец» по выборке № 1 (в); для изображений с шумом «соль и перец» по выборке № 2 (г); пояснение к графикам (д)

Как видно из графиков, значение погрешности при обоих типах шумов для выборки № 1 остается примерно постоянным при увеличении значения отношения сигнал/шум, начиная от значения 30. Значение погрешности лежит в диапазоне от 2,79 до 10,83 пикселя. Значение среднего арифметического всех зависимостей при отношении сигнал/шум больше 30, равно 4,59 пикселя. Значение медианы всех зависимостей при отношении сигнал/шум больше 30, равняется 3,97 пикселя.

Для выборки № 2: диапазон значений погрешности от 0,39 до 3,88 пикселя. Среднее арифметическое значение погрешности при отношении сигнал/шум больше 30, равно 0,77 пикселя. Значение медианы всех зависимостей при отношении сигнал/шум больше 30, равняется 0,67 пикселя.

Тестовые изображения получены с помощью камеры Basler acA640-120uc. Размеры пикселя d камеры равны 5,6 мкм по вертикали и горизонтали. Применялся объектив Basler Lens C125-0618-5M F1.8. Расстояние l от камеры до лица человека составляло 2 м. На данном расстоянии линейное увеличение β объектива равняется 0,012.

Тогда значения погрешности можно пересчитать из пикселей в миллиметры по формуле:

$$\Delta_{\text{лин}} = \frac{\Delta dk}{1000\beta},$$

где $k=1,03$ – коэффициент, учитывающий масштаб изображения.

Рассчитаны значения погрешности в миллиметрах для выборки № 2. Значение погрешности лежит в диапазоне от 0,19 мм до 1,86 мм. Значение погрешности, полученное путем вычисления среднего арифметического всех зависимостей, составляет 0,37 мм. Значение погрешности, полученное путем вычисления медианы всех зависимостей, составляет 0,32 мм.

Таким образом, можно сделать вывод, что указанный алгоритм может быть применен для видеофиксации микромимических движений и распознавания эмоций человека при условии обучения статистической модели по выборке с достаточно большим количеством изображений.

Литература

1. Cootes T.F., Edwards G.J., Taylor C.J. Active Appearance Models // Proc. Fifth European Conf. Computer Vision. – 1998. – V. 2. – P. 484–498.
2. Сайт «Хабрахабр» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/155759>, своб.
3. Сайт «PRIMA» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www-prima.inrialpes.fr/FGnet/data/01-TalkingFace/talking_face.html, своб.
4. Сайт библиотеки алгоритмов OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/highgui/video-input-psnr-ssim/video-input-psnr-ssim.html>, своб.



Губайдуллин Камиль Равилевич

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4101

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: Kamilfo94@gmail.com

УДК 531.715.1

ВЫСОКОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА НА КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОМ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРЕ ЛИННИКА

Губайдуллин К.Р.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кирилловский В.К.

Работа была направлена на решение такой задачи, как модернизация микроинтерферометра Линника, что способствовало бы расширению возможностей данного прибора и упрощению обработки результатов. При этом учтен тот факт, что современные технологии способны в значительной мере улучшать методику исследований, проводимых с помощью микроинтерферометра Линника.

Ключевые слова: микроинтерферометр Линника, модернизация, компьютеризация, исследование интерферограмм, МИИ-4.

Микроинтерферометр – прибор, применяемый для измерений неровностей на наружных поверхностях с направленными следами механической обработки, а также для определения толщины пленок, величины малых перемещений и так далее. Микроинтерферометр впервые разработан В.П. Линником в 1933 г. [1]. Достоинство интерферометра в том, что можно наблюдать и измерять отклонение рабочего волнового фронта от исходной плоской формы. Недостаток состоит в том, что полученная интерференционная картина состоит из системы полос, распределение освещенности в которых является синусоидальным, таким образом глазом полосы воспринимаются как нерезкие. Согласно проведенным ранее исследованиям, результаты которых вошли в учебную литературу, порог чувствительности оптической измерительной наводки на такую полосу составляет 0,1 шага полосы в случае отсутствия в картине шумов. При наличии шумов эта точность уменьшается и может составлять 1/5 шага полосы [2, 3].

С помощью специально разработанного оптического модуля (насадки или переходника), установленного между окуляром интерферометра и приемника изображения регистрирующей камеры, изображение интерференционной картины с окулярной сетки интерферометра переносится на чувствительную площадку матричной камеры, например, на ПЗС-матрицу. Камера подключается к компьютеру, и изображение переносится в компьютер в виде цифрового массива.

Параксиальные характеристики модернизированной наблюдательной оптической системы интерферометра:

$$F=-19,5 \text{ мм}; F'=19,5 \text{ мм}; SF=-13,51 \text{ мм}; SF'=16,5 \text{ мм};$$

$$SH=5,5 \text{ мм}; SH'=-2,5; S'=16,5; \Gamma=24.$$

Оценка aberrаций и качества изображения насадки (рис. 1, 2)

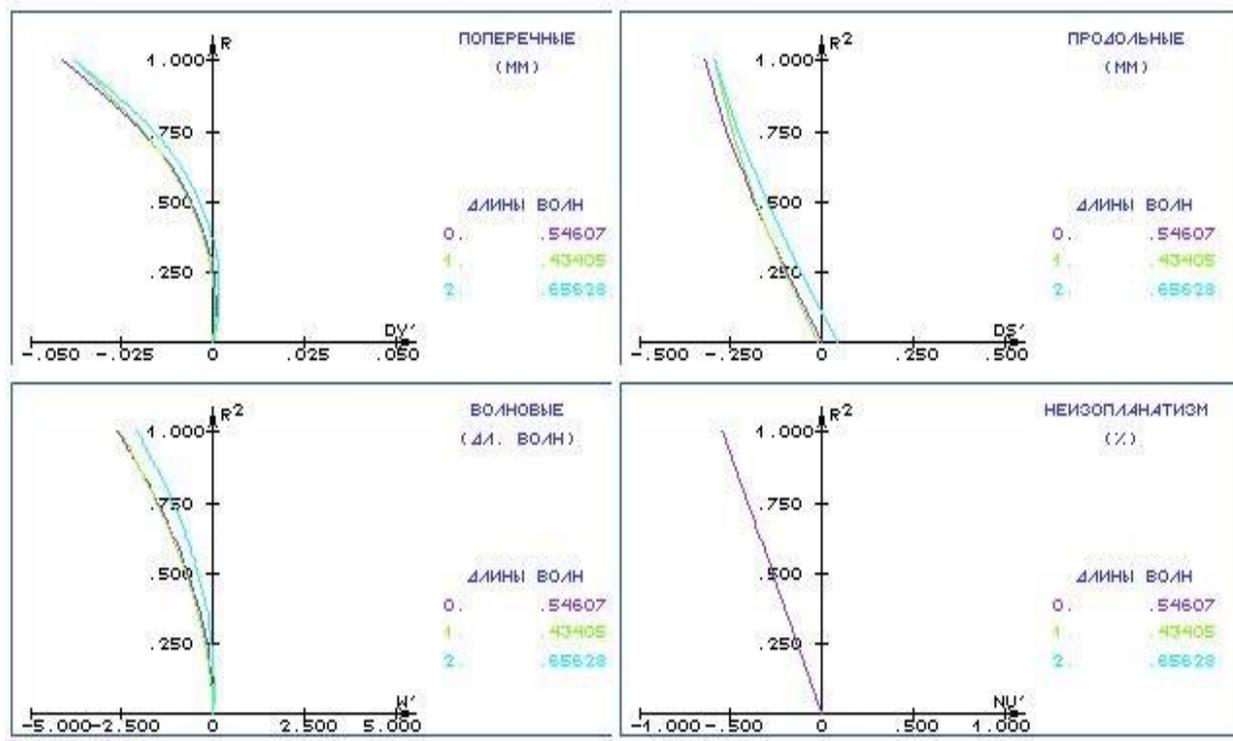


Рис. 1. Аберрации осевого пучка

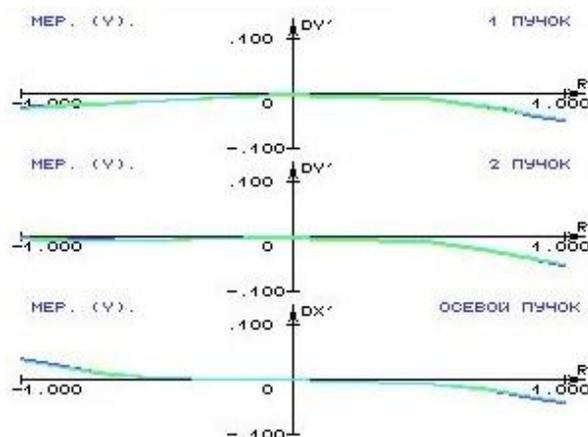


Рис. 2. Аберрации внеосевого пучка

Из графиков видно, что аберрации не превышают допустимые для данного класса оптических приборов, что удовлетворительно для данной работы.

Одна из задач данной работы – подвергнуть исходное изображение интерференционной картины компьютерной обработке, превратив систему нерезких интерференционных полос в систему соответствующих им четких контуров (рис. 3) для повышения точности измерений на величину порядка 10 раз. Эта операция получила название «оконтуривание», она выполняется в компьютерной программе.

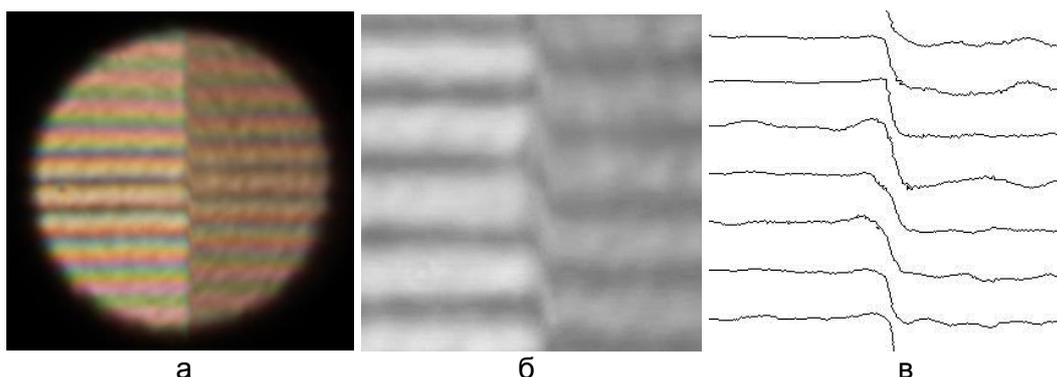


Рис. 3. Обработка изображения в Photoshop: исходное изображение (а); черно-белое изображение (б); оконтуренное изображение (в)

После выполнения компьютерной обработки исходной интерференционной картины вместо системы нечетких полос получается система четких контуров; каждый из этих контуров дает нам линию, состоящую из точек, соответствующих координатам центров полос исходной интерферограммы.

Выполнение серийных измерительных наводок (табл. 1, 2) – измерение координат полос до оконтуривания и после оконтуривания – позволяет определить значение случайной погрешности, что дает нам характеристику точности.

Таблица 1. Результаты серийных измерительных наводок на исходное изображение

m_1	0,64	0,88	0,71	0,85	0,6
-------	------	------	------	------	-----

Расчеты до оконтуривания. Серия измерительных наводок на интерференционную полосу с целью определения ее координаты (табл. 3). Определение точности измерений:

$$\bar{m}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_{1i} = 0,736 \text{ – среднее арифметическое;}$$

$$\sigma_{m_1} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_{1i} - \bar{m}_1)^2}{n-1}} = \pm 0,124 \text{ – среднее квадратическое отклонение;}$$

$$\sigma_{\bar{m}_1} = \pm \frac{\sigma_{m_1}}{\sqrt{n}} = \pm 0,0557 \text{ – характеристика точности результата измерения.}$$

Таблица 2. Результаты серийных измерительных наводок на оконтуренное изображение

m_2	0,78	0,78	0,78	0,74	0,78
-------	------	------	------	------	------

Расчеты после оконтуривания. Серия измерительных наводок на полосу в виде контура с целью определения ее координаты, а также определение точности измерений.

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_{2i} = 0,772 \text{ – среднее арифметическое;}$$

$$\sigma_{m_2} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_{2i} - \bar{m}_2)^2}{n-1}} = \pm 0,017 \text{ – среднее квадратическое отклонение;}$$

$$\sigma_{\bar{m}_2} = \pm \frac{\sigma_{m_2}}{\sqrt{n}} = \pm 0,008 \text{ – характеристика точности результата измерения.}$$

Заключение

$\mp 0,0557$ – характеристика точности результата измерения до оконтуривания;

$\mp 0,008$ – характеристика точности результата измерения после оконтуривания;

$0,0557/0,008 \approx 7$.

Погрешность результата измерения после оконтуривания по сравнению с погрешностью до оконтуривания меньше в 7 раз; таким образом точность измерения повысилась на величину порядка 7-х раз, что можно считать существенным, поскольку речь идет о производстве пленок, толщина которых составляет 0,1 долю микрометра. **Цель работы** достигнута и интерферометр Линника после нашей модернизации стал работать с существенно более высокой точностью [4, 5].

Литература

1. Егоров В.А. Оптические и щуповые приборы для измерения шероховатости поверхности. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1965. – 223 с.
2. Пуряев Д.Т., Креопалова Г.В. Исследование и контроль оптических систем. – М.: Машиностроение, 1978. – 223 с.
3. Лившиц Э.М. Оптические измерения. Учебное пособие. – Л.: ЛИТМО, 1985. – 87 с.
4. Кирилловский В.К., Точилина Т.В. Оптические измерения. Учебное пособие по лабораторному практикуму. – 2-е изд., стер. – СПб.: Университет ИТМО, 2014. – 130 с.
5. Коломийцов Ю.В. Интерферометры. – Л.: Машиностроение, 1976. – 295 с.



Губайдуллина Ксения Витальевна

Год рождения: 1992

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники и оптоинформатики, группа № V4204

Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика

e-mail: ksenya-gbd@yandex.ru

УДК 530.145.3

УСТОЙЧИВОСТЬ АЛГОРИТМА ГРОВЕРА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВОЗМУЩЕНИЙ КВАНТОВОЙ СХЕМЫ

Губайдуллина К.В.

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Чивилихин С.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615894 «Современные проблемы фотоники».

С помощью квантового алгоритма Гровера можно существенно ускорить известные классические алгоритмы, требующие решения задачи поиска в несортированном пространстве. Ввиду этого становится актуальным изучение влияния возмущений, вносимых работой квантовой схемы. В этой работе

представлены результаты моделирования квантового алгоритма Гровера, исследование его устойчивости к воздействию искажений в квантовой схеме и ее зависимость от числа используемых кубитов.

Ключевые слова: алгоритм Гровера, квантовые вычисления, квантовые алгоритмы.

Алгоритм Гровера – это квантовый алгоритм быстрого поиска в неупорядоченной базе данных. Задача поиска состоит в следующем: имеется несортированный список, состоящий из N элементов, из которых лишь один удовлетворяет данному условию – именно этот элемент нужно найти [1]. Алгоритм Гровера оперирует амплитудами всех возможных состояний, усиливая те, значения которых удовлетворяют условию, и ослабляя амплитуды остальных состояний. На выходе производится детектирование элемента, вероятность обнаружения которого максимальна (вероятность квантовой системы равна сумме квадратов амплитуд всех состояний).

Алгоритм Гровера состоит из следующих шагов [2]:

1. применение преобразования Адамара, переводящего систему в состояние суперпозиции;
2. итерации Гровера:
 - применение оператора оракула (контролируемое изменение фазы);
 - инверсия амплитуды состояний относительно среднего (диффузия);
 - измерение.

В классическом случае поиск в неупорядоченном пространстве сводится фактически к последовательному перебору всех значений и сравнению их с условием поиска. Такой поиск обнаруживает верное решение за $O(N)$ классических шагов.

В случае квантового поиска условие обнаружения нужного элемента заключается в оракуле – логическом операторе, который позволяет распознать решение задачи. Каждая новая итерация Гровера – это обращение к базе. Но в отличие от классического перебора, за одно обращение к базе обрабатывается не один элемент, а суперпозиция всех возможных значений. Эта особенность квантовых вычислений дает наибольшее ускорение работы алгоритма, особенно ярко выраженное при больших объемах обрабатываемых данных.

Кроме оракула в итерационный процесс алгоритма Гровера входит оператор инверсии относительно среднего. Этот оператор производит изменение амплитуд состояний относительно среднего значения. Вследствие его применения амплитуда отмеченного состояния усиливается при одновременном ослаблении амплитуд остальных состояний.

Измерения на выходе происходят путем детектирования состояния, вышедшего из квантовой схемы. Вероятность обнаружения маркированного значения будет максимальна. Но работа квантовых логических операторов может проходить с некоторой погрешностью в вычислениях и влиять на вероятность детектирования нужного состояния, что и было исследовано в данной работе.

Было рассмотрено воздействие искажений, вносимых работой квантового оператора Адамара для 3-кубитовой схемы алгоритма Гровера. Их можно разделить на 2 типа: сильные искажения и слабые. С подробным описанием процесса моделирования таких возмущений можно ознакомиться в работе [3], усредненные результаты приведены в таблице. Как показано, вероятность обнаружения отмеченного состояния снижается с ростом величины возмущения в схеме. Для самых высоких значений искажений, исследованных в этой работе, вероятность уменьшается на 24,7%. Более того, вероятность обнаружения остальных состояний возрастает, что приводит к увеличению частоты регистрации ошибочного результата в 8 раз для самого сильного возмущения. С другой стороны, вероятность обнаружения отмеченного состояния остается наибольшей, поэтому алгоритм Гровера обладает хорошей устойчивостью к воздействию возмущений элементов квантовой схемы.

Таблица. Вероятности детектирования состояний в зависимости от значения возмущения

Значение возмущения, %	Отмеченное состояние, %	Остальные состояния, %
0	94,5	0,78
5	94	0,92
20	91,9	1,46
35	89,9	1,99
50	86,9	2,7
65	83,1	3,6
80	78	4,8
95	69,8	6,5

Также интерес представляет моделирование алгоритма Гровера на большем числе кубитов, для исследования того, как изменится вероятность детектирования состояний и воздействие вносимых искажений. Ранее исследованная система, содержащая только 3 кубита, состоит из 8 состояний и для достижения наилучшего результата требует только 2 итераций. Однако система из 11 кубитов состоит из 2048 состояний и для достижения наилучшего результата вычислений необходимо 35 итераций, таким образом, это исследование помогает узнать, как устойчивость алгоритма Гровера зависит от числа кубитов в схеме.

Способы искажения аналогичны тем, что были упомянуты выше. График для слабых искажений (рис. 1) показывает, что вероятность обнаружения отмеченного состояния уменьшается при возрастании значения возмущения.

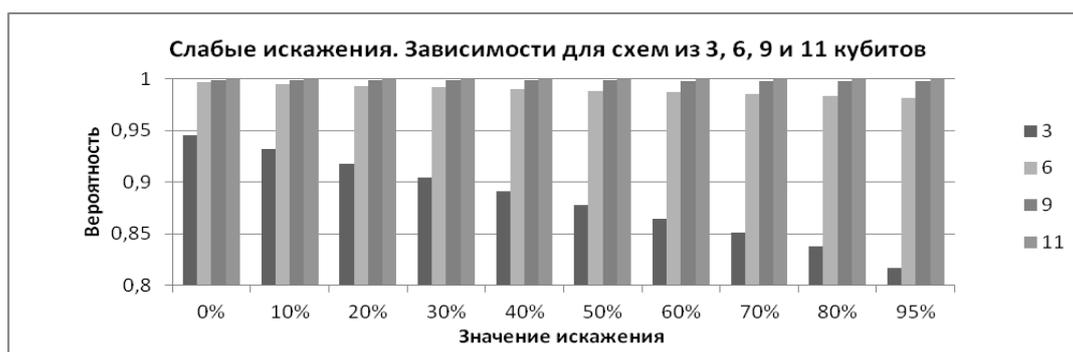


Рис. 1. Зависимость вероятности детектирования верного состояния от величины возмущений при различном числе кубитов и слабых искажениях

К тому же большее число состояний и высокая вероятность детектирования верного результата приводит к тому, что амплитуды неправильных состояний меньше в схемах с большим числом кубитов. Можно сделать вывод о том, что большее число состояний и итераций помогает противостоять возмущениям в схеме.

Результаты моделирования сильных искажений (рис. 2) аналогичны – алгоритм более устойчив на схемах с большим числом кубитов.

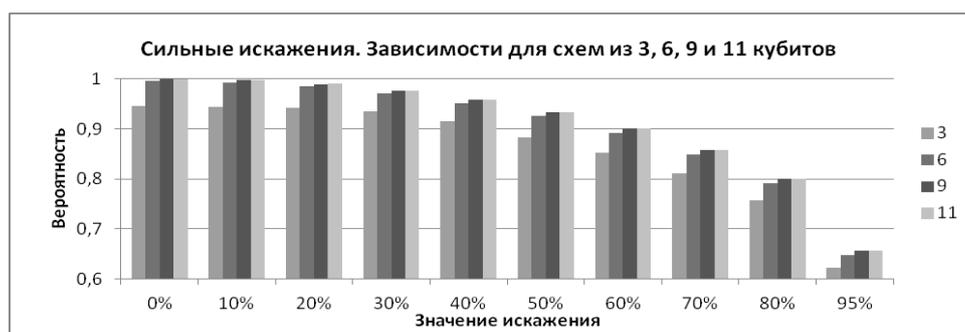


Рис. 2. Зависимость вероятности детектирования верного состояния от величины возмущений при различном числе кубитов и сильных искажениях

Моделирование сильных искажений также подтверждает, что большее число кубитов помогает алгоритму противостоять возмущениям в схеме, но одновременно с этим из представленного графика можно сделать другой полезный вывод. Значения вероятностей для схем с достаточно большим числом кубитов (от 9) почти не отличаются друг от друга, как в случае без искажений, так и при наибольшем возмущении. А значит, можно сделать предположение и о влиянии подобных искажений на схемы с большим числом кубитов, которые мы не можем смоделировать ввиду недостаточной вычислительной мощности.

В рамках проведенной работы была исследована устойчивость алгоритма Гровера к воздействию искажений квантовых элементов схемы. Как было показано на примере 3-кубитовой схемы, вероятность обнаружить маркированный элемент уменьшается с ростом искажений, а вероятности детектирования других состояний увеличиваются, что приводит к росту частоты регистрации неправильного ответа. Увеличение числа кубитов улучшает устойчивость алгоритма к искажениям и из полученных зависимостей мы получили возможность предсказать их влияние на схемы с еще большим числом кубитов.

Литература

1. Grover L.K. A fast quantum mechanical algorithm for database search // Proc. of the 28th Annual ACM Symposium on Theory of Computing (STOC). – 1996. – P. 212–221.
2. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация / Пер. с англ. – М.: Мир, 2006. – 824 с.
3. Gubaidullina K.V., Chivilikhin S.A. Theoretical research of the distortion of quantum circuit in Grover's algorithm // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – V. 735. – P. 012074-1–012074-6.



Гусаров Вадим Федорович

Год рождения: 1990

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: hoarfrost.vg@gmail.com

УДК.681.786

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ НА БАЗЕ ПОЛИХРОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ РАВНОСИГНАЛЬНОЙ ЗОНЫ ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ

Гусаров В.Ф.

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. Тимофеев А.Н.

Во многих отраслях промышленности и исследований существует тенденция повышения сложности измерений, требований к их качеству и точности. Это ведет к росту инструментальных затрат и, соответственно, стоимости проводимых работ. Особенностью также является необходимость обеспечивать высокую чувствительность к перемещениям удаленного объекта на большой измерительной дистанции. Перспективными с этой точки зрения являются оптико-электронные системы контроля пространственного положения удаленных объектов с цифровой обработкой отображений оптической равносигнальной зоны.

Ключевые слова: равносигнальная зона, цифровая обработка, позиционирование.

Оптико-электронные системы контроля пространственного положения удаленных объектов (ОЭСКП) применяются во многих отраслях:

- научные исследования;
- машиностроение (контроль деформаций);
- строительство (позиционирование строительных машин и их рабочих элементов, контроль положения элементов конструкции);
- ВПК (лазерно-лучевые системы телеориентирования ПТУР).

Обзор существующих оптико-электронных систем (ОЭС), использующих различные способы формирования и анализа информационного пространства, дает представление о многообразии вариантов подхода к решению рассматриваемой задачи контроля пространственного положения удаленных объектов. Известные системы, обеспечивающие высокую точность контроля требуют значительные инструментальные затраты, что неизбежно ведет к повышению стоимости и сложности, как самих систем, так и проводимых с их помощью измерений. Менее сложные методы и системы имеют ряд недостатков, связанных с малым диапазоном контроля, невысокой точностью слабой защищенностью от воздействия внешних факторов [1, 2]. В связи с этим **целью работы** стояла разработка ОЭСКП, реализующей метод полихроматической оптической равносигнальной зоны (ОРСЗ) (ПОРСЗ), поскольку характерными достоинствами этого класса систем являются низкое энергопотребление, широкий диапазон контроля положения по двум поперечным координатам, а также возможность компенсации атмосферного воздействия (температурный градиент).

Сущность этого метода заключается в том, что в пункте управления располагают канал формирования базового направления (КФБН), ориентированный в нужном направлении и излучающий поток оптического излучения, в котором создается ОРСЗ, образованная таким образом, что каждой координате пространства в пределах его поля соответствует определенное значение информативного параметра [3, 4]. Эта зона является базой, относительно которой определяется положение объекта контроля, совмещенного с приемным каналом (ПрК). Под информационным пространством в ОЭС удаленного контроля пространственного положения предложено понимать пространственно-временную область, в которой на основании анализа информативных параметров в любой момент времени возможно получить информацию о пространственном положении объекта.

Схема формирования ПОРСЗ четырьмя источниками излучения (ИИ), входящими в состав КФБН и модулированными током питания разной частоты f_1 – f_4 показана на рис. 1. В этом случае основным информативным параметром являются величины потоков Φ_1 – Φ_4 и регистрируемых в ПрК. На приемнике оптического излучения (ПОИ) создаются соответствующие поля облученности E_1 – E_4 .

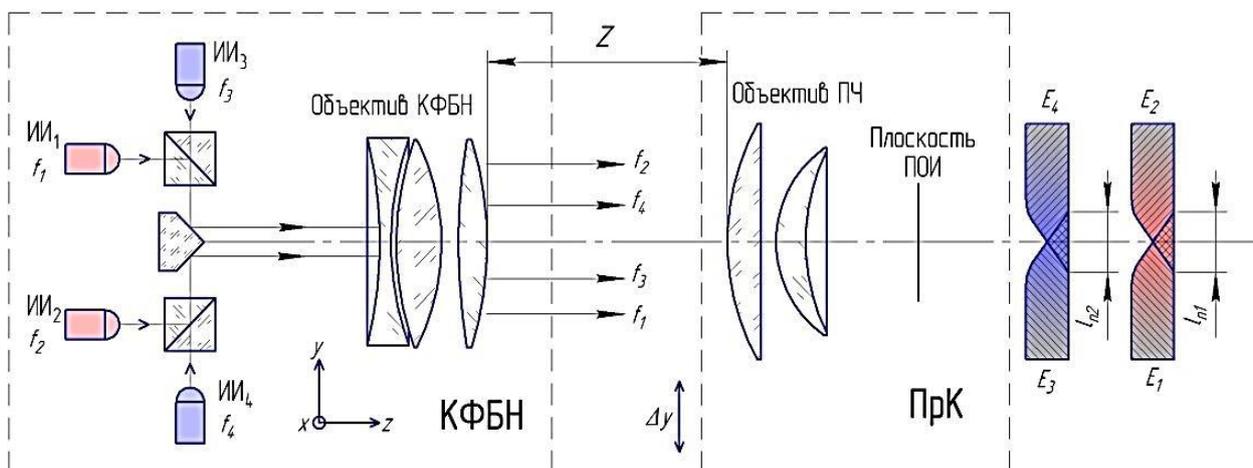


Рис. 1. Схема формирования полихроматической ОРСЗ

Одной из особенностей работы ОЭС контроля пространственного положения объектов является воздействие на их работу условий окружающей среды. Одним из наиболее сильно влияющих внешних источников погрешности для оптико-электронных приборов является воздушный тракт, а именно вертикальный градиент температуры, который приводит к искривлению траектории оптических лучей (рис. 2). Применение ПОРСЗ позволяет повысить точность контроля пространственного положения за счет компенсации этого влияния [4].

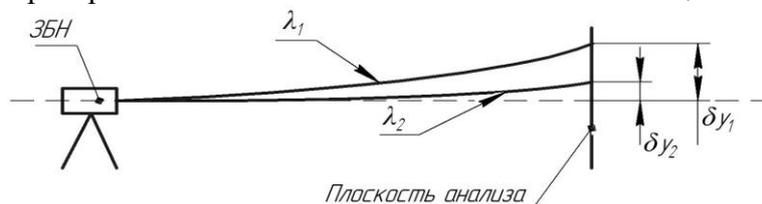


Рис. 2. Деформация ПОРСЗ под воздействием вертикального температурного градиента

Поскольку неоднородности в воздушном тракте вызывают дисперсию проходящего через нее излучения, величину отклонения, вызванного градиентом температуры, то через разность деформаций ОРСЗ можно получить значение вертикального градиента температур:

$$\text{grad}_y T = \frac{2T\delta y_{12}}{z_0^2(n_2 - n_1)},$$

где T – температура; δy_{12} – величина разности деформаций ОРСЗ с длинами волн λ_1 и λ_2 ; n_1 , n_2 – показатели преломления для длин волн λ_1 и λ_2 ; z_0 – дистанция работы.

Полученное значение можно использовать для вычисления коэффициента рефракции, внесения поправок в полученные результаты, или, при условии работы с адаптивными системами, использовать для автоматической перестройки системы в режиме реального времени.

Особенностью разрабатываемой ОЭС является реализация кадрового анализа в обработке информационного пространства. Для экспериментальной проверки теоретических основ метода применялся стенд, где для проецирования ОРСЗ в плоскость приемника применялся прожектор системы ПУЛ-Н, установленный на теодолит. В качестве приемника использовалась видеокамера, совмещенная с объективом приемной части системы ПУЛ-Н. В ходе эксперимента приемник смещался по вертикальной оси в диапазоне с шагом 1 мм, и регистрировалось изображение выходного зрачка в плоскости КМОП-матрицы при поочередном включении одного из двух диодов ЗБН [5].

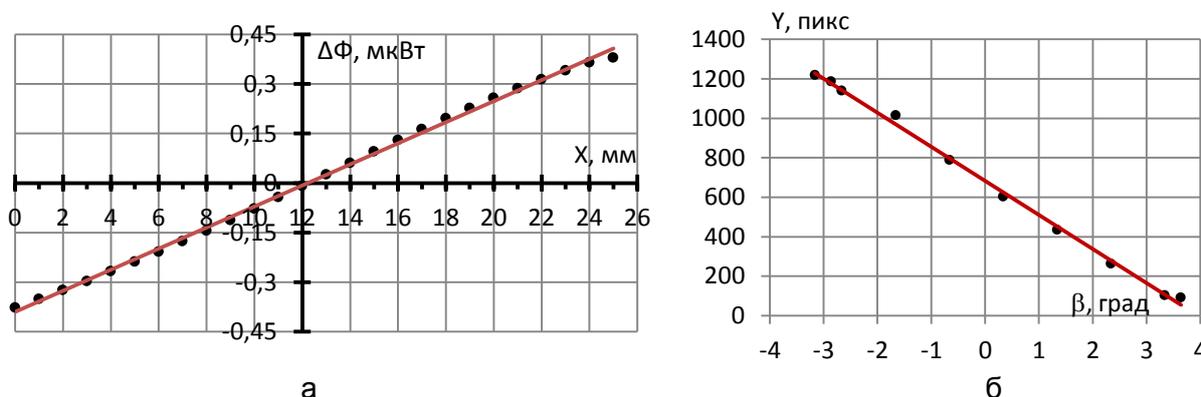


Рис. 3. Статические характеристики установки: при контроле линейных смещений (а); при контроле разворотов (б)

Нелинейность статической характеристики макета (рис. 3, а), полученной при противофазной модуляции ИИ прожектора и цифровой обработке отображения ОРСЗ с МФП, при диапазоне смещений ± 12 мм составляет величину менее 0,41 мм. При этом оценка среднеквадратичного отклонения (СКО) основной составляющей погрешности контроля

смещений для дистанции 6 м не превысила 0,017 мм. Исследование регистрации разворотов показало, что оценка СКО основной составляющей погрешности контроля углов при цифровой обработке не более 11". При этом нелинейность статической характеристики макета (рис. 3, б), при диапазоне смещений $\pm 4^\circ$ не более $0,1^\circ$.

На одном из этапов разработки была предложена методика габаритно-энергетического расчета для ОЭСКП с ПОРСЗ, по которой были получены значения выходного зрачка КФБН и входного зрачка ПрК, позволившие смоделировать конструктивное исполнение КФБН (рис. 4).

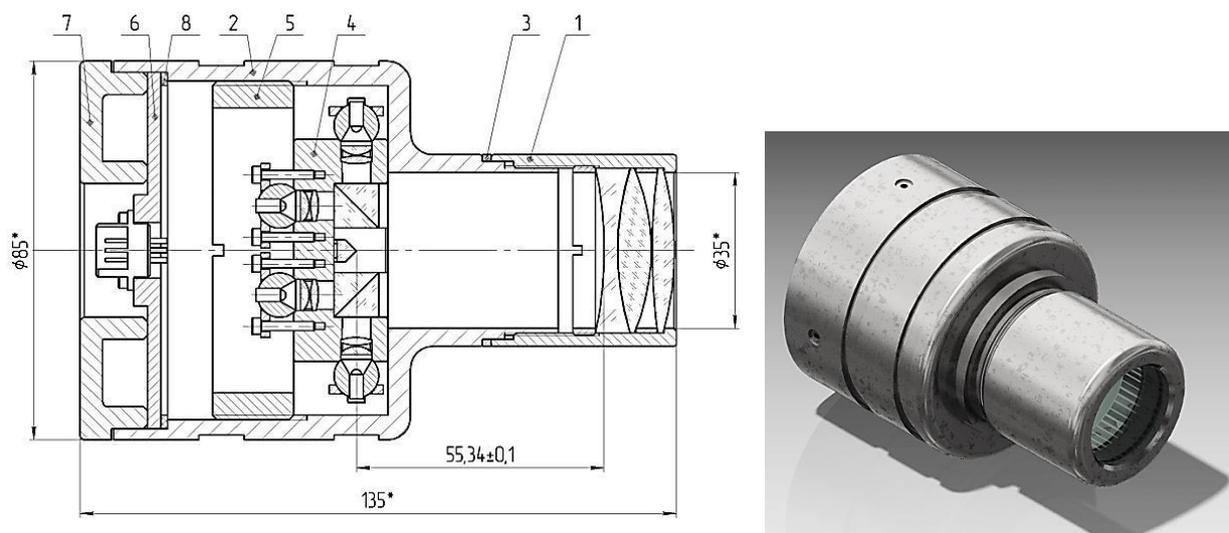


Рис. 4. Пример конструкции КФБН ОЭСКП с ПОРСЗ

Заключение и выводы. Эффективность применения ОЭСКП можно оценить по нескольким критериям, которые позволяют выделить характерные для анализируемых групп систем достоинства и недостатки:

1. диапазон контролируемых смещений. Сравнения по этому критерию различных принципов формирования и анализа оптической информации зависит от многих факторов, однако применение фотоприемного матричного поля при кадровом анализе пространственного положения в ОРСЗ представляется потенциально предпочтительным с позиций соотношения диапазона и линейности измерения;
2. погрешность измерения. При этом ОЭС с кадровым анализом лидирует по данному критерию, предоставляя максимальное количество первичной информации для обработки;
3. устойчивость к влиянию атмосферной рефракции. Пространственная организация пучка в ОРСЗ предполагает значительные его поперечные размеры, что благоприятно сказывается на устойчивости к рефракции; кроме того, анализ искажений исходной организации позволяет использовать дисперсионный метод и внести соответствующие коррекции. Этот подход наиболее полно может быть реализован при применении кадрового анализа положения приемного канала в полихроматической ОРСЗ.

Отдельно можно отметить преимущества ОЭС с ОРСЗ и компьютерной обработкой измерительной информации с матричными ПОИ в отношении удобства эксплуатации за счет того, что их легче адаптировать к условиям рабочей среды, путем перестройки алгоритмов и параметров обработки информации.

Литература

1. Гусаров В.Ф., Тимофеев А.Н. Особенности применения оптико-электронных систем позиционирования в дорожном строительстве // XI Международная конференция «Прикладная оптика-2014». – 2014. – С. 116–119.

2. Гусаров В.Ф. Возможности применения цифровой обработки отображений равносигнальной зоны при удаленном контроле позиционирования рабочих органов строительных машин // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2015. – С. 126–130.
3. Коротаев В.В., Мараев А.А., Тимофеев А.Н. Телеориентирование в луче с оптической равносигнальной зоной. Монография. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 326 с.
4. Коняхин И.А., Мараев А.А., Тимофеев А.Н., Гусаров В.Ф. Контроль смещений в оптико-электронных системах с оптической равносигнальной зоной // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58. – № 1. – С. 38–44.
5. Гусаров В.Ф. Возможности применения цифровой обработки отображений равносигнальной зоны при удаленном контроле позиционирования рабочих органов строительных машин // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2015. – С. 126–130.



Гущин Максим Георгиевич

Год рождения: 1995

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания, группа № V4136

Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика

e-mail: magusch@gmail.com



Гладких Игорь Аркадьевич

Год рождения: 1988

Центр «Информационные оптические технологии»,

к.ф.-м.н., н.с.

e-mail: 138020@mail.ru

УДК 53.097, 537.312.7

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗОЛОТЫХ ПЛЕНОК НА ПОРОГЕ ПЕРКОЛЯЦИИ

Гущин М.Г., Гладких И.А.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., гл.н.с. Вартамян Т.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 416014 «Исследование самоорганизованных плазмонных наноструктур на пороге перколяции для устройств памяти».

Экспериментально исследованы электрические свойства тонких золотых пленок на пороге перколяции. Обнаружено, что при подаче порогового напряжения около 10 В пленка переходит из высокоомного состояния ($\sim 10^{11}$ Ом) в проводящее (350 кОм). Время переключения сопротивления составило 3 мкс. Данные переключения сопротивления связываются со структурными изменениями пленки под действием напряжения.

Ключевые слова: тонкие пленки, золото, порог перколяции, переключение сопротивления, гистерезис проводимости, металлические наночастицы.

Интерес к проводимости гранулированных металлических пленок связан в основном с техническими задачами миниатюризации устройств микроэлектроники. Их

электрические свойства определяются как природой металла, так и, в еще большей степени, морфологией [1]. Сопротивление металлических пленок, состоящих из отдельных гранул, гораздо больше сопротивления объемного металла и зависит от материала подложки и, в еще большей степени, от расстояний между гранулами. При образовании непрерывного металлического пути между электродами сопротивление пленки приближается к сопротивлению объемного металла, однако, оно по-прежнему несколько больше его из-за сильного рассеяния электронов на неоднородностях пленки.

Особый интерес представляет переходное состояние пленки, когда отдельные частицы только начинают образовывать связанную систему – так называемый бесконечный кластер. Такие структуры, о которых говорят, что они находятся на пороге перколяции, исследованы недостаточно. Недавно нам удалось показать, что проводимостью таких структур можно управлять электрическим напряжением [2–4]. Помимо резкого изменения сопротивления был обнаружен также гистерезис вольт-амперных характеристик (ВАХ). Исследования в данной области интересны для будущих разработок запоминающихся устройств, основанных на управляемом изменении проводимости.

Для получения пленок на пороге перколяции использовался метод термического вакуумного напыления металлов до образования проводящей пленки с последующим отжигом. Пленки напылялись в вакуумной установке PVD 75 фирмы Kurt J. Lesker при давлении остаточных паров $\sim 10^{-7}$ торр и комнатной температуре подложки. Материал напыления – золото. В качестве диэлектрической подложки использовался сапфир, на который были нанесены электроды из серебряного клея шириной 4 мм. Расстояние между электродами было равно 2 мм. Скорость напыления и эквивалентная толщина слоя контролировались с помощью кварцевых микровесов. Скорость напыления была $0,5 \text{ \AA}/\text{с}$. Также в процессе напыления осуществлялся контроль сопротивления пленки с помощью пикоамперметра Keithley 6487. На рис. 1, а, приведена зависимость сопротивления пленки от ее толщины, полученная непосредственно в процессе напыления. При достижении сопротивления порядка 100 кОм напыление останавливалось. Эквивалентная толщина пленки составила 5,8 нм. Как было показано ранее, при таких условиях напыления образуется проводящая пленка, имеющая лабиринтную структуру [2].

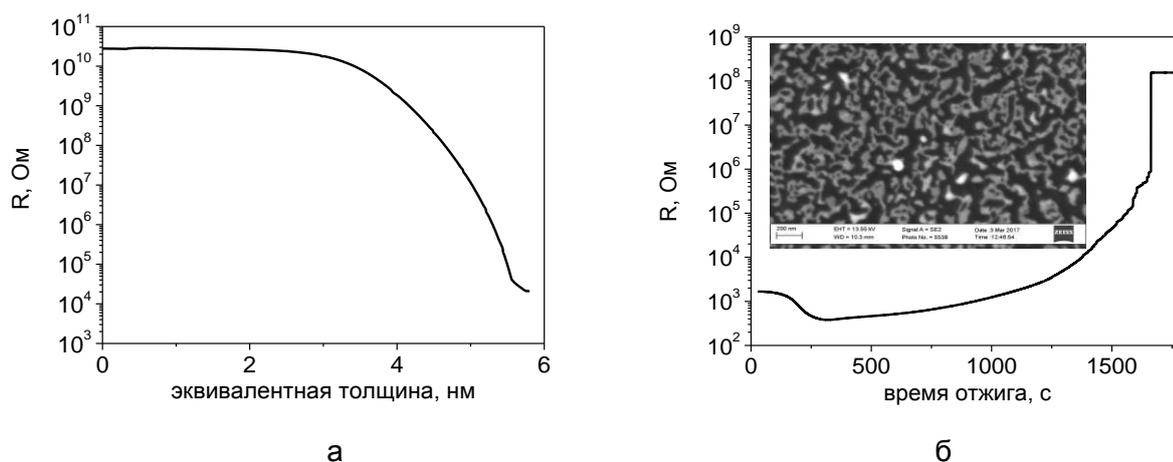


Рис. 1. Зависимость сопротивления пленки от эквивалентной толщины (а) и времени термической обработки (б). На вставке приведено изображение пленки после термической обработки, полученное в сканирующем электронном микроскопе

Далее для получения структуры на пороге перколяции проводился термический отжиг при температуре $150\text{--}200^\circ\text{C}$. Зависимость сопротивления от времени отжига представлено на рис. 1, б. Как известно, при глубоком термическом отжиге происходит

образование отдельных металлических наночастиц [5]. В нашем случае сначала наблюдается монотонный рост сопротивления, вызванный утоньшением мостиков, соединяющих наночастицы, и уменьшением их количества. После 30 мин сопротивление пленки резко возросло, что свидетельствует о разрыве путей проводимости между электродами, после чего отжиг был остановлен. При этом расстояние между образовавшимися частицами будет очень мало. На изображении, полученном на сканирующем электронном микроскопе видно, что пленка имеет лабиринтную структуру. Стоит отметить, что разрывы пленки порядка одного нанометра, отвечающие за ее проводимость, на данном изображении не разрешены.

На рис. 2, а, приведены ВАХ отожженной золотой пленки. При напряжении менее 4 В сопротивление пленки очень велико, порядка $\sim 10^{11}$ Ом. В интервале 4–10 В наблюдается сверхлинейная зависимость тока от напряжения. При достижении порогового значения напряжения около 10 В пленка скачком переходит в проводящее состояние с сопротивлением около 350 кОм, которое при увеличении напряжения до 20 В остается неизменным. При последующем уменьшении напряжения сопротивление пленки также не меняется, однако при снятии напряжения пленка переходит обратно в высокоомное состояние.

Были получены временные зависимости переключения сопротивления пленки из высокоомного в проводящее состояние при подаче ступеньки напряжения (рис. 2, б). Измерения проводились с помощью осциллографа Rigol DS4052. Сигнал одновременно снимался с последовательно включенного резистора с сопротивлением 110 кОм и с источника напряжения. Время нарастания сигнала с источника напряжения из-за присутствия паразитных емкостей было порядка 500 мкс. Так как сопротивление пленки в высокоомном состоянии много больше сопротивления резистора, то сигнал с делителя пренебрежительно мал. При достижении напряжения около 10 В, что соответствует пороговому напряжению переключения пленки из высокоомного в проводящее состояние, сопротивления пленки и резистора становятся соизмеримыми. Время перехода пленки в проводящее состояние составило порядка 3 мкс.

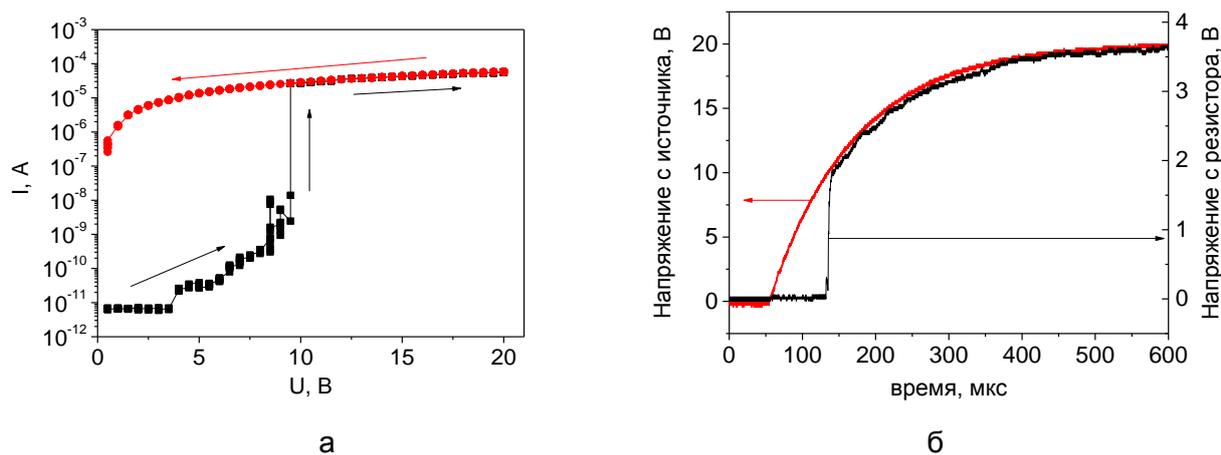


Рис. 2. ВАХ пленки золота после отжига (а) при увеличении и уменьшении напряжения; временные зависимости переключения сопротивления (б)

Также были получены частотные зависимости проводимости пленки в высокоомном и проводящем состоянии. Схема эксперимента была аналогична предыдущей, т.е. сигнал снимался с последовательно подсоединенного к пленке делителя при помощи синхронного усилителя Stanford Research Systems model SR830 DSP. Обнаружено, что в проводящем состоянии пленка ведет себя как обычный

резистор. В высокоомном состоянии пленка помимо сопротивления обладает также емкостью порядка ~ 4 пФ.

Данные гигантские изменения проводимости мы связываем с малыми структурными изменениями пленки под действием приложенного напряжения [2–4]. При термическом отжиге образуются отдельные частицы, расстояние между которыми очень мало. Исходя из этого, несмотря на то, что подаваемое напряжение было достаточно мало, электрические поля в местах разрывов пленки могут достигать 10^3 В/см. Это, в свою очередь, может приводить к небольшой деформации частиц и уменьшению расстояния между ними, что проявляется в уменьшении сопротивления (нелинейный участок на ВАХ). В конечном счете, под действием напряжения формируется бесконечный кластер с небольшим сопротивлением (резкий скачок сопротивления). Время перехода от отдельных частиц до проводящей пленки при миллиметровых расстояниях между электродами составило около 3 мкс.

Литература

1. Wei H., Eilers H. From silver nanoparticles to thin films: Evolution of microstructure and electrical conduction on glass substrates // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. – 2009. – V. 70. – P. 459–465.
2. Варганян Т.А. и др. Тонкие структуры и переключение электропроводности в лабиринтных пленках серебра на сапфире // *Физика твердого тела*. – 2014. – Т. 56. – № 4. – С. 783–789.
3. Гладских И.А. и др. Оптические свойства и переключение сопротивления гранулированных пленок серебра на сапфире // *Оптический журнал*. – 2014. – Т. 81. – № 5. – С. 68–74.
4. Гладских И.А. и др. Серебряные структуры на пороге перколяции, полученные с помощью лазерного отжига // *Физика твердого тела*. – 2017. – Т. 59. – № 3. – С. 582–587.
5. Леонов Н.Б. и др. Эволюция оптических свойств и морфологии тонких металлических пленок в процессах роста и отжига // *Оптика и спектроскопия*. – 2015. – Т. 119. – № 3. – С. 458–463.



Денисов Виктор Маевич

Год рождения: 1955

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, д.т.н., доцент

e-mail: 070255@gmail.com



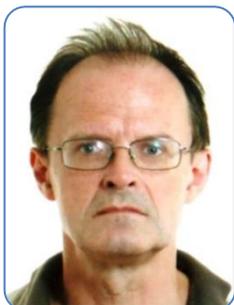
Кржижановская Ирина Сергеевна

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4107

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: irakrij@mail.ru

**Радилов Андрей Владимирович**

Год рождения: 1957

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН
e-mail: andrad@mail.ru

УДК 681.772.7, 681.78

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К МНОГОКАНАЛЬНОЙ ВИДЕОСИСТЕМЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ВИДЕОДАТЧИКА ДЛЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**Денисов В.М.** (Университет ИТМО), **Кржижановская И.С.** (Университет ИТМО),
Радилов А.В. (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН)**Научный руководитель – д.т.н., доцент Денисов В.М.** (Университет ИТМО)

В работе представлены разработанные технические требования к модулю видеосистемы многофункционального видеодатчика, предназначенного для мониторинга инженерных сооружений. Подробно рассмотрены факторы, влияющие на выбор технических требований, поставлены цели дальнейших исследований.

Ключевые слова: многоканальная видеосистема, мониторинг защитных сооружений.

Камнепады представляют собой наибольшую опасность в горах. В мае 2015 года камнепад в Дагестане заблокировал дорогу в Тляратинском районе, оставив 57 населенных пунктов в изоляции [1]. На опасных горных склонах устанавливают инженерные сооружения – защитные сети, барьеры и пр. Для более эффективного использования подобных систем необходим контроль, для чего и применяются системы мониторинга, при помощи которых можно проанализировать процессы, происходящие на опасном объекте, и предсказать следующую чрезвычайную ситуацию.

Разрабатываемый модуль видеосистемы является составной частью многофункционального видеодатчика. Многофункциональный видеодатчик (МФД) – совместный проект компании «Флагман Гео» с кафедрой оптико-электронных приборов и систем Университета ИТМО. Он представляет собой совокупность датчиков, расположенных в одном корпусе и предоставляющих данные о состоянии контролируемого объекта. Актуальность темы исследования заключалась в том, что разрабатываемый модуль видеосистемы способен дополнить численные показания с остальных датчиков МФД визуальной информацией и снизить количество ложных тревог при выходе датчиков из строя. В настоящее время не известны подобные отечественные разработки.

На начальном этапе проектирования были выбраны следующие **цели исследования:**

- разработка технических требований к видеосистеме многофункционального видеодатчика (ВС МФД);
- разработка структурной схемы ВС МФД согласно разработанным требованиям.

Для достижения целей было необходимо решить следующие задачи:

- провести аналитический обзор видеосистем мониторинга защитных сооружений;
- составить список факторов для выявления технических требований к ВС МФД.

По результатам аналитического обзора и поиска по базам патентов было обнаружено, что в России нет систем, аналогичных разрабатываемому МФД. Был найден

немецкий аналог «ImpactSentinel» фирмы INGLAS Perimeter Sensoren, который содержит несколько разнородных датчиков в одном корпусе [2]. Главным недостатком рассмотренной системы является отсутствие видеонаблюдения, что исключает возможность дистанционного визуального контроля состояния объекта мониторинга и расположенных на нем датчиков.

После выполнения обзора были определены следующие факторы, влияющие на выбор технических требований:

- обеспечение необходимой освещенности объекта мониторинга;
- обеспечение автономного режима работы системы;
- обеспечение возможности передачи данных в удаленные базы данных при условии использования каналов связи с низкой пропускной способностью;
- выбор камер.

Требования по обеспечению освещенности объекта. ВС МФД должна функционировать в дневное время суток, а также в ночное время в условиях внешнего освещения, так как чрезвычайная ситуация на объекте мониторинга может возникнуть в любое время суток. В дневное время в качестве осветителя может выступать солнечный свет, нет необходимости в использовании дополнительного источника освещения объекта мониторинга. В пасмурную погоду освещенность объекта может достигать 1000–2000 лк [3]. В ночное время суток можно использовать внешние источники для создания необходимой освещенности объекта. В качестве источников могут быть использованы прожекторы с видимым излучением или излучающие в инфракрасном диапазоне. Последнее полезно в случае мониторинга у горных трасс, чтобы яркий прожектор не слепил глаза водителям.

Требования по обеспечению автономного режима работы. ВС МФД должна функционировать как при наличии стационарных источников питания, так и в их отсутствие. Время непрерывной работы от автономного источника питания – не менее 1 часа. В случае установки системы МФД на труднодоступных объектах необходимо обеспечить возможность работы без обслуживания до нескольких месяцев. Для этого необходимо, чтобы источник питания ВС МФД был комбинированным, например, состоял бы из совместно работающих солнечной батареи, аккумуляторной батареи и пьезо-генератора.

Требования по обеспечению передачи данных. На одном объекте мониторинга может быть установлено несколько МФД, каждый из которых содержит в своем корпусе набор датчиков, а также модуль пятиканальной видеосистемы. Одновременная передача данных со всех МФД системы потребует большой пропускной способности беспроводного канала связи. Для уменьшения требуемой пропускной способности модуль ВС МФД, включаясь периодически и по запросу от основного МФД, должен снимать в течение заданного времени малокадровое видео или серию фотографий. Данные с каждого модуля должны передаваться по каналу связи после данных с датчиков сопряженного МФД. Датчики передают данные с задержкой по отношению к предыдущим.

Требования по выбору камер. Для выбора цветности камер были определены достоинства каждого типа. Черно-белые камеры обладают большей чувствительностью по сравнению с цветными, а средний размер кадра меньше по сравнению с цветной камерой, что также способствует уменьшению пропускной способности канала связи (кодирование одной составляющей вместо трех). С технической точки зрения цветные камеры являются более современными, изображение с них обладает большей информативностью.

Согласно разработанным ранее техническим требованиям была разработана структурная схема модуля (рисунок).

Световой поток, отраженный от объекта мониторинга, попадает через объектив на фотоприемный модуль. После предварительной обработки сигнал записывается в модуль памяти и передается на интерфейс передачи данных. С интерфейса передачи данных сигнал передается на сопряженный МФД, откуда путем ретрансляции с одного МФД на другой по беспроводному каналу связи передается в диспетчерскую или ситуационный центр. Данные хранятся в модуле памяти для возможности восстановления информации в случае неполадок в работе канала связи.

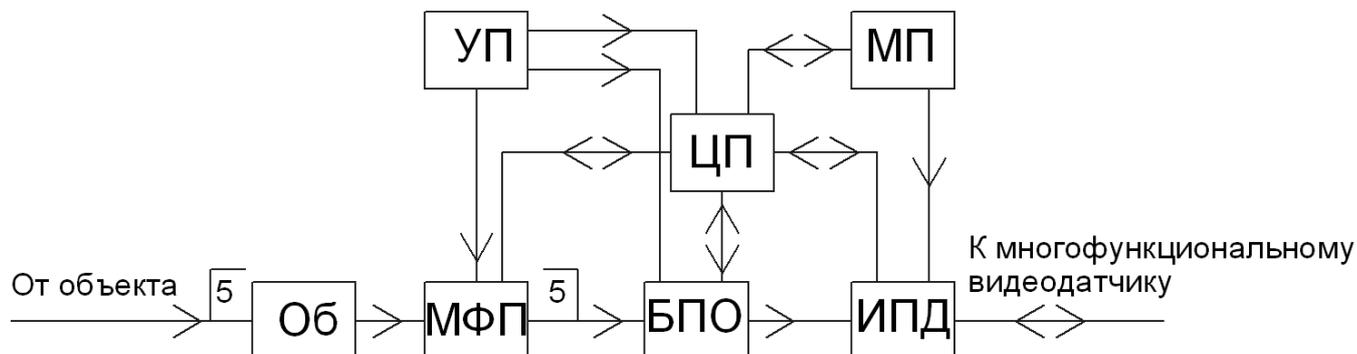


Рисунок. Структурная схема модуля ВС МФД: Об – объектив; МФП – модуль фотоприемный; ЦП – центральный процессор; МП – модуль памяти; БПО – блок предварительной обработки; ИПД – интерфейс передачи данных; УП – узел питания

Были определены направления дальнейших исследований:

- разработка технического задания на проектирование модуля ВС МФД;
- габаритно-энергетический расчет модуля ВС МФД;
- подбор элементов модуля ВС МФД;
- разработка алгоритма управления модулем ВС МФД;
- разработка и исследование макетного образца МФД.

Литература

1. Камнепад заблокировал проезд к 57 дагестанским селам – Кавказский Узел [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kavkaz-uzel.eu/articles/263002>, своб.
2. INGLAS Perimeter Sensoren [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://en.impact-sentinel.de>, своб.
3. Шаронов В.В. Наблюдение и видимость [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rufort.info/library/sharonov/sharonov.html>, своб.



Дырдина Вероника Юрьевна

Год рождения: 1994

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, группа № V4120

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника

e-mail: d.nika_9494@mail.ru



Семёнов Андрей Владимирович

Год рождения: 1994

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, группа № V4120

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника

e-mail: drunia147@yandex.ru

УДК 681.7.07

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МИКРООБЪЕКТИВА ДЛЯ ВОЗМОЖНОСТИ РАБОТЫ С РАЗНЫМИ ПОКРОВНЫМИ СТЕКЛАМИ

Дырдина В.Ю., Табачков А.Г., Семёнов А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Табачков А.Г.

При разработке новых микрообъективов весьма актуально не только улучшать их технические и оптические характеристики, но и унифицировать оптические схемы и механические конструкции. Работа в этих направлениях позволяет сделать объективы более универсальными. Рассмотрены варианты существующих модернизаций конструкций для возможной их адаптации при работе с различными покровными стеклами. Предложен принципиально новый подход в адаптации объективов, имеющих большое увеличение.

Ключевые слова: фронтальная линза, микрообъектив, унификация оптических схем, покровное стекло.

В настоящее время выпускается достаточно большое разнообразие моделей микроскопов. Они имеют различные характеристики и предназначены для проведения разнообразных микроскопических исследований. Для обеспечения работы на данных микроскопах требуется наличие широкой гаммы модельного ряда объективов с разнообразными параметрами.

Особенность современных микрообъективов состоит в том, что они стандартизованы по определенным признакам (линейное поле, парфокальная высота, увеличение и др.). Таким образом, несмотря на большое разнообразие их можно разделить на несколько групп, в зависимости от тех или иных характеристик [1].

Одним из параметров, по которому можно стандартизировать объективы – это покровное стекло, с которым они работают в составе прибора. В настоящее время разрабатываются микрообъективы, конструкции которых предназначены для работы с конкретным покровным стеклом. Одним из аспектов унификации оптической схемы и механической части конструкции объективов является разработка такой модели, которая позволяет адаптировать базовый объектив к условиям работы с различными покровными стеклами.

Некоторые производители выпускают объективы, способные производить адаптацию к различной толщине покровных стекол. Данные микрообъективы имеют VAR-коррекцию по покровному стеклу. В них конструктивно заложена возможность произвести перенастройку оптической системы на различную толщину покровного стекла. Такая перенастройка осуществляется за счет перемещения определенных узлов или группы оптических компонентов. Поэтому данные модели объективов имеют довольно сложную механическую конструкцию. Они наиболее трудоемкие в изготовлении и имеют высокую себестоимость, так как коррекционная подвижка значительно усложняет конструкцию механических узлов. В связи с этим приведенный подход не рекомендуется использовать в конструкции микрообъективов простого и среднего класса [2].

При рассмотрении объективов среднего класса (имеющих увеличение в интервале 20–50[×]) были выявлены иные конструкции, которые позволяют адаптировать микрообъектив для

работы с различными покровными стеклами. Некоторые производители выпускают конструкции со «сменными покровными стеклами». Суть данного варианта основана на перераспределении толщины между покровным стеклом и фронтальной линзой. В конструкцию объектива заложена возможность установки дополнительных сменных оправ с различными корректорами (имитаторами) покровного стекла. Данные оправы выполнены в виде наружного колпачка, который устанавливается на корпусе объектива. В результате перед фронтальной линзой размещается имитатор покровного стекла. Данных колпачков с имитаторами изготавливают несколько штук. Каждый из них имеет различную толщину имитатора. Толщина самого толстого имитатора выбирается равной самому толстому покровному стеклу, с которым работает микрообъектив. Таким образом, при отсутствии имитатора микрообъектив предполагается использовать при работе с самым толстым покровным стеклом. При установке самого толстого имитатора объектив предназначен для работы без покровного стекла. Толщина промежуточных имитаторов выбирается из следующих соображений $t_{и} + t_{пс} = t_{и(max)} = \text{const}$; где $t_{и}$ – толщина стекла в имитаторе; $t_{пс}$ – толщина покровного стекла [3].

При рассмотрении конструкций можно отметить, что фронтальный узел микрообъектива содержит фронтальную линзу, которая имеет две различные конфигурации: плоско-выпуклой и вогнуто-выпуклой линзы. При проведении анализа существующих конструкций объективов, которые предназначены для работы с разной толщиной покровного стекла, были отмечены некоторые характерные особенности:

- если фронтальная линза имеет плоско-выпуклую форму, то разница между моделями микрообъективов заключается в различии толщины фронтальной линзы (рис. 1). Также было отмечено, что при изменении толщины линзы, расстояние D в различных модификациях объективов остается постоянным.

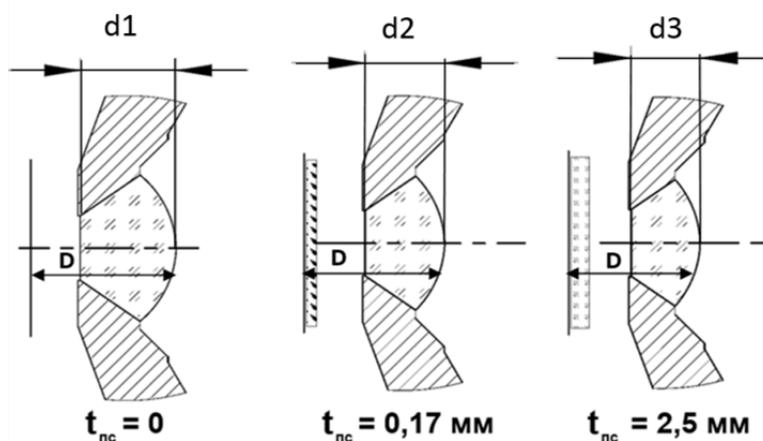


Рис. 1. Различия фронтального узла при плоско-выпуклой фронтальной линзе

- если линза имеет две сферические поверхности, то разные модификации микрообъективов существенно отличаются именно этим мениском. В процессе перерасчета схемы микрообъектива для возможной работы с другой толщиной покровного стекла приходится изменять оба радиуса кривизны и толщину линзы [4].

Таким образом, осуществить адаптацию конструкции микрообъектива к работе с покровными стеклами разной толщины можно следующими способами:

1. изготавливать микрообъектив, имеющий коррекционную подвижку;
2. устанавливать на микрообъектив имитатор покровного стекла в отдельной оправе;
3. изготавливать разные фронтальные узлы, изменяя толщину фронтальной линзы;
4. изготавливать фронтальные узлы, изменяя конструктивные параметры фронтальной линзы (другая толщина и радиусы).

Микрообъективы с большим увеличением и числовой апертурой имеют фронтальную линзу в форме мениска, а также маленький передний рабочий отрезок. В виду этого процесс

адаптации микрообъективов данного класса возможен только при помощи 1 и 4 способов (оговоренных выше). Эти способы являются самыми трудоемкими из перечисленных. Исходя из этого, работа в данном направлении представляется наиболее актуальной.

В качестве исследуемого образца был выбран планапохроматический объектив с увеличением $100\times$ и апертурой 0,93. Фронтальная линза этого объектива имеет форму двух сферических поверхностей. В настоящее время выпускается две модификации данного микрообъектива. Один микрообъектив работает с покровным стеклом 0,17 мм, а вторая модель рассчитана на работу без покровного стекла. Разница между данными моделями заключается в различных фронтальных линзах (узлах). Довольно часто в аналогичных конструкциях микрообъективов изменениям конструктивных параметров подвергаются также и линзы второго узла. В связи с этим при производстве этих микрообъективов необходимо изготавливать две разные фронтальные линзы, оправы и два разных узла. В противном случае количество возрастает до четырех линз, оправ и узлов.

За базовую модель был выбрана модификация объектива с покровным стеклом, которую необходимо адаптировать для работы без покровного стекла. В качестве решения предлагается при изготовлении второго варианта объектива приклеивать покровное стекло к фронтальной оправе, при этом параметры фронтальной линзы и второго мениска оставить без изменений. Таким образом, при наличии одних и тех же деталей можно изготавливать два варианта фронтального узла. При последующей сборке объективов достаточно укомплектовать их соответствующим вариантом фронтального узла.

Для проверки предложенного решения были проведены оптические расчеты предложенного и исходных вариантов. В качестве программного обеспечения были использованы прикладные программы OPAL и ZEMAX. Выполненные расчеты подтвердили, что предложенные конструктивные изменения не приводят к ухудшению абберационных характеристик, и технических параметров микрообъектива.

Для апробации теоретических выводов и расчетов были разработаны новые оптические и механические детали. В процессе работы была спроектирована новая оправа, которая позволяет на этапе изготовления фронтального узла устанавливать и закреплять одиночную линзу, а также при необходимости клеить покровное стекло (рис. 2).

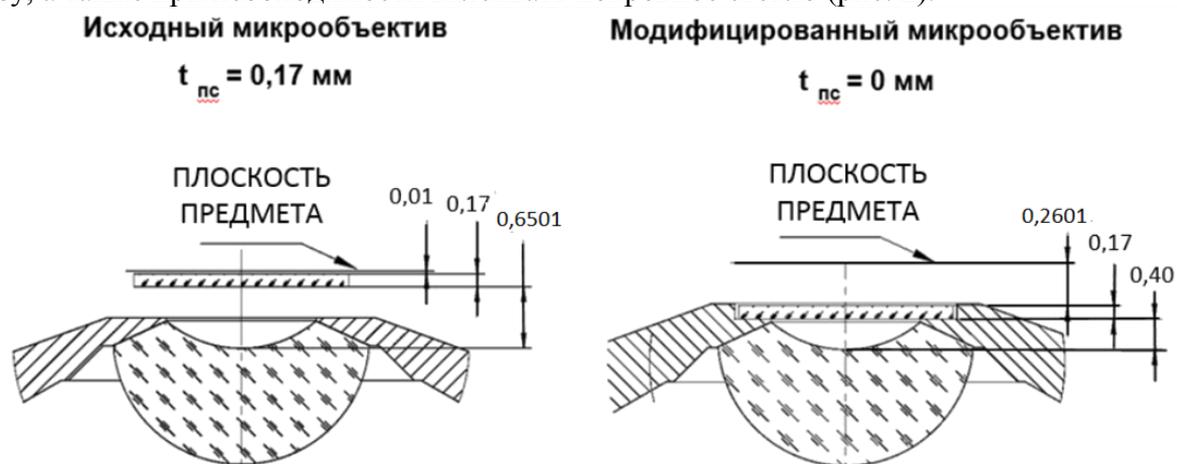


Рис. 2. Разновидности изготовления нового фронтального узла

Выводы

1. В результате работы предложено новое конструктивное решение для адаптации микрообъектива, имеющего высокое увеличение.
2. Была модифицирована конструкция микрообъектива «Планапохромат $100\times 0,93$ ». Результатом модификации является уменьшение номенклатуры деталей, упрощение технологического процесса и снижение себестоимости изделия.
3. Теоретическим и практическим путем доказана возможность данной модернизации конструкции и технологического процесса сборки.

Литература

1. Скворцов Г.Е., Панов В.А., Поляков Н.И., Федин Л.А. Микроскопы. – Л.: Машиностроение, 1969. – 508 с.
2. Иванова Т.А., Кирилловский В.К. Проектирование и контроль оптики микроскопов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 231 с.
3. Табачков А.Г. Конструкторско-технологическая унификация микрообъективов с учетом автоматизации их сборки: дис. канд. техн. наук. – СПб., 2011. – 142 с.
4. Фролов Д.Н. Синтез оптических систем линзовых микрообъективов // Оптический журнал. – 2002. – Т. 69. – № 9. – С. 16–20.

**Ежова Василиса Викторовна**

Год рождения: 1988

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., тьютор

e-mail: evv_foist@mail.ru

УДК 535.317

МОДУЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВЫХ ОБЪЕКТИВОВ

Ежова В.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Андреев Л.Н.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 610749 «Проектирование и экономическое обоснование оптических систем для фундаментальных и прикладных исследований».

В работе рассмотрен модульный принцип проектировании зеркально-линзового объектива с афокальными симметричными трехлинзовыми компенсаторами и с апланатическим ахроматическим компенсатором. Для иллюстрации приведены оптические схемы и суммы Зейделя рассмотренных систем.

Ключевые слова: зеркально-линзовый объектив, компенсатор, aberrации.

Рассмотрим двухзеркальный концентрический объектив (рис. 1).

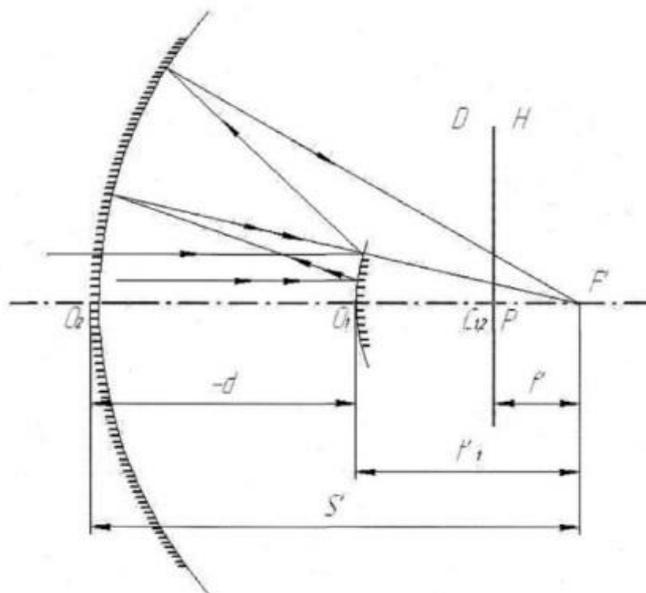


Рис. 1. Двухзеркальный концентрический объектив

Для объектива имеем [1]:

$$f' = \frac{r_2 k}{2(1-k)}, \quad r_1 = f' 2(1-k); \quad r_2 = f' \frac{2(1-k)}{k}, \quad k = \frac{r_1}{r_2}, \quad d = r_1 - r_2;$$

где f' – фокусное расстояние объектива; r_1 и r_2 – радиусы первого и второго зеркал соответственно; d – воздушное расстояние между зеркалами.

Особенностью концентрических систем является то, что в области Зейделя, в случае расположения входного зрачка в центре кривизны поверхностей зеркал, коэффициенты aberrаций 3-го порядка $S_{II} = S_{III} = S_V = 0$ [1].

Для коррекции сферической aberrации в зеркально-линзовых объективах применяются афокальные трехлинзовые симметричные несклеенными и склеенными компенсаторы, располагаемые перед объективами в параллельных пучках лучей, так чтобы центр компенсатора совпадал с входным зрачком объектива. Преимуществом таких компенсаторов является то, что при исправлении сферической aberrации они не вносят других aberrаций; также они не влияют на оптическую силу объектива и не сокращают его задний фокальный отрезок [2–4].

Афокальный трехлинзовый симметричный несклеенный компенсатор представляет собой трехлинзовый несклеенный компонент, включающий две одинаковые линзы, симметрично расположенные относительно симметричной линзы противоположной оптической силы (рис. 2, а, б). Все линзы компенсатора выполнены из одного материала ($n_2 = n_4 = n_6, v_2 = v_4 = v_6$) за счет чего можно исправлены хроматические aberrации [3, 4].

Афокальный трехлинзовый симметричный склеенный компенсатор представляет собой трехскленный компонент, включающий две одинаковые линзы, симметрично расположенные относительно симметричной линзы противоположной оптической силы (рис. 2, в, г). Для того чтобы такой компенсатор не вносил хроматических aberrаций – стекла компенсатора выбирают так, чтобы показатели преломления линз противоположной силы были различны, а коэффициенты средней дисперсии примерно одинаковы ($n_2 = n_4 \neq n_3, v_2 = v_4 = v_3$) [3, 4].

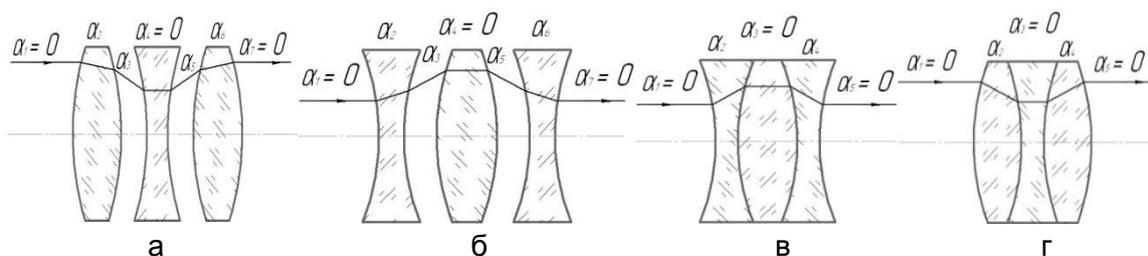


Рис. 2. Афокальные симметричные несклеенные компенсаторы ($\alpha_1 = \alpha_4 = \alpha_7 = 0, \alpha_2 = -\alpha_6, \alpha_3 = -\alpha_5$) (а и б) и склеенные компенсаторы ($\alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_5 = 0, \alpha_2 = -\alpha_4$) (в и г)

Для исправления кривизны поверхности в зеркально-линзовых объективах применяют апланатический ахроматический компенсатор кривизны поверхности и хроматизма (рис. 3). Компенсатор в виде «толстого» мениска с увеличением $\beta = 1^\times$, образован апланатическими поверхностями третьего рода и хроматической поверхностью. Обе его поверхности апланатические третьего рода (за счет чего нет сферической aberrации, комы и астигматизма третьего порядка). Коэффициент, определяющий кривизну поверхности, зависит только от толщины компенсатора, а хроматизм положения можно исправить радиусом хроматической поверхности [3, 4].

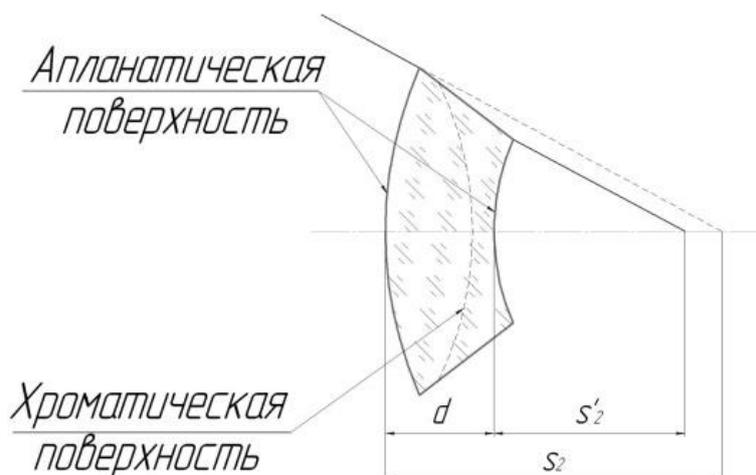


Рис. 3. Апланатический компенсатор кривизны поверхности изображения и хроматизма

Для примера приводятся результаты расчета зеркально-линзового объектива с афокальными симметричными трехлинзовыми компенсаторами и с апланатическим ахроматическим компенсатором. Для облегчения вычислений были заданы следующие начальные параметры: фокусное расстояние $f' = 100$ мм, относительное отверстие 1:2,5, угловое поле $2\omega = 20^\circ$, $k = 1,5$, спектральная область $F'-e-C'$.

На рис. 4 приведена оптическая схема зеркально-линзового объектива с афокальным симметричным несклеенным трехлинзовым компенсатором, а в табл. 1 приведены суммы Зейделя системы. В качестве материала стекол компенсатора было выбрано стекло СТК9 ($n_e = 1,747646$, $\nu_e = 50,20$).



Рис. 4. Оптическая схема зеркально-линзового объектива с афокальным симметричным несклеенным трехлинзовым компенсатором

Таблица 1. Суммы Зейделя зеркально-линзового объектива с афокальным симметричным несклеенным трехлинзовым компенсатором

N	S1	S2	S3		S4	S5	S1xp	S2xp
sum	0,19	0,03	-0,37		0,93	0,02	0	0
сфер. аб.		неизопл.	ХТ	XS	дистор.	хром. пол.		хром. увел.
	-0,4	0,05	0,07	-0,22	0,01	-0,17		0

На рис. 5 приведена оптическая схема зеркально-линзового объектива с афокальным симметричным склеенным трехлинзовым компенсатором для ИК-области спектра, а в табл. 2 приведены суммы Зейделя системы. В качестве материала стекол компенсатора были выбраны для положительных линз – стекло БФ18 ($n_e = 1,560498$, $\nu_e = 50,90$), для отрицательной линзы – стекло СТК9 ($n_e = 1,747646$, $\nu_e = 50,20$).



Рис. 5. Оптическая схема зеркально-линзового объектива с афокальным симметричным склеенным трехлинзовым компенсатором

Таблица 2. Суммы Зейделя зеркально-линзового объектива с афокальным симметричным несклеенным трехлинзовым компенсатором

N	S1	S2	S3		S4	S5	S1xp	S2xp
sum	0,05	0,04	-0,02		1,14	0,03	0	0
сфер. аб.	неизопл.	XT	XS	дистор.	хром. пол.		хром. увел.	
-0,1	0,08	-0,41	-0,42	0,01	0		0	

На рис. 6 приведена оптическая схема зеркально-линзового объектива с апланатическим ахроматическим компенсатором, а в табл. 3 приведены суммы Зейделя системы. В качестве материала стекол компенсатора были выбраны для положительной линзы – стекло СТК9 ($n_e = 1,747646$, $v_e = 50,20$), для отрицательной линзы – стекло ТФ4 ($n_e = 1,563114$, $v_e = 50,66$).

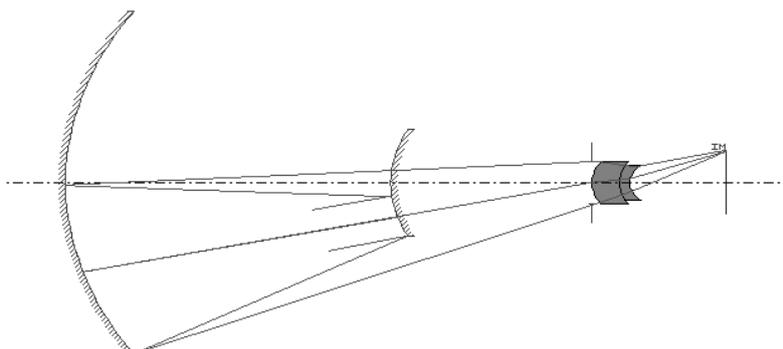


Рис. 6. Оптическая схема зеркально-линзового объектива с апланатическим ахроматическим компенсатором

Таблица 3. Суммы Зейделя зеркально-линзового объектива с апланатическим ахроматическим компенсатором

N	S1	S2	S3		S4	S5	S1xp	S2xp
sum	0	0	0		0,2	1,67	0	0
сфер. аб.	неизопл.	XT	XS	дистор.	хром. пол.		хром. увел.	
0,002	0,003	-0,69	-0,71	5,98	0,09		0,36	

Литература

1. Андреев Л.Н. Прикладная теория aberrаций. Учебное пособие. – СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2002. – 98 с.
2. Андреев Л.Н., Ежова В.В. Прикладная теория aberrаций. Часть вторая. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2011. – 52 с.
3. Андреев Л.Н., Ежова В.В., Дегтярева Г.С. Прикладная теория aberrаций. Часть третья. – Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 46 с.
4. Андреев Л.Н., Дегтярева Г.С., Ежова В.В. Симметричные компенсаторы сферической aberrации // Оптический журнал. – 2015. – № 1. – Т. 82. – С. 28–31.

**Зайцев Всеволод Александрович**

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В4252

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: sevaa1994@yandex.ru

**Кожин Леонид Сергеевич**

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В4252

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: kozhin1993@mail.ru

УДК 681.2.083

**МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕРМОРЕЗИСТИВНЫХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**
Зайцев В.А. (Университет ИТМО), Кожин Л.С. (Университет ИТМО)
Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. Гончар И.И. (ОАО «Авангард»)

В работе представлен метод определения показателя тепловой инерции терморезистивных чувствительных элементов, разработанных по микроэлектронной технологии, для оценки возможности их применения в составе датчиков температуры для гидрофизических измерений.

Ключевые слова: показатель тепловой инерции, термосопротивление, датчик температуры, гидрофизические измерения.

Температура морской воды является одним из основных факторов, влияющих на скорость распространения звука в воде. Таким образом, знание распределения в зависимости от глубины слоев морской воды с одинаковой температурой позволит улучшить навигацию и связь подводных плавательных средств. Малая толщина прослойки между двумя слоями воды с разными температурами требует использования в гидрофизических зондах малоинерционных датчиков температуры. При этом показатель тепловой инерции [1], относящийся к динамическим характеристикам преобразователей температуры, не должен превышать 10 мс, ввиду чего предполагается использовать датчики температуры с чувствительными элементами на основе металлических терморезисторов.



Рис. 1. Внешний вид ТЧЭ

Данные терморезистивные чувствительные элементы (ТЧЭ) (рис. 1) представляют собой титановый меандр толщиной, напыленный на теплоизолирующую подложку из полиимида и

подведенными медными выводами. Подложка находится над отверстием печатной платы из текстолита. Их сопротивления лежат в диапазоне от 100 до 200 Ом [2].

За счет своих габаритных размеров и теплоемкости ТЧЭ обладают хорошей чувствительностью к изменениям температуры среды, а их расчетный показатель тепловой инерции лежит в диапазоне от 1 до 5 мс.

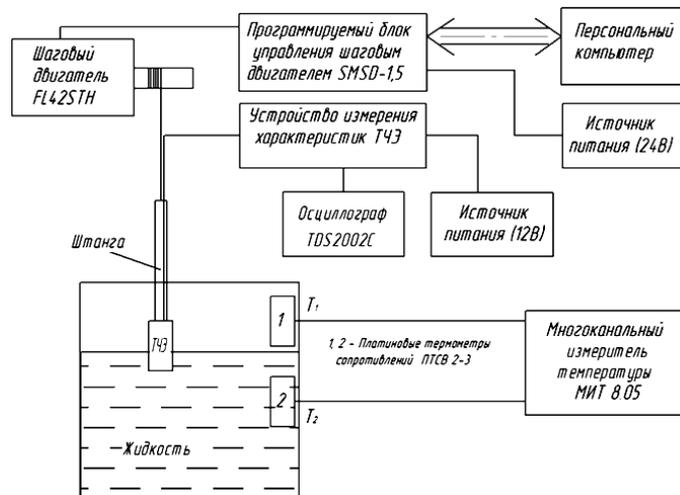


Рис. 2. Установка для определения показателя тепловой инерции

С учетом возможной сферы применения, а также ГОСТ 6651-2009 [3] для экспериментального определения показателя тепловой инерции, применяется измерительная установка (рис. 2). Она состоит из емкости с дистиллированной водой, платиновых термометров сопротивлений ПТСВ 2–3, многоканального измерителя температуры МИТ 8.05, штанги для закрепления ТЧЭ, шагового двигателя FL42STH, программируемого блока управления шаговым двигателем SMSD-1,5, устройства измерения характеристик ТЧЭ, осциллографа TDS2002C, источника питания на 12 В, источника питания на 24 В и персонального компьютера.

Метод измерения показателя тепловой инерции с использованием данной установки заключается в следующем: дистиллированная вода нагревается до некоторой температуры T_2 относительно окружающей среды T_1 , которая определяется с помощью платиновых термосопротивлений ПТСВ 2–3 и многоканального измерителя температуры МИТ 8.05. Терморезистивный чувствительный элемент подключается к устройству для измерения характеристик, после чего включаются источники питания. При этом ТЧЭ находится в рабочем состоянии с током питания 1 мА. Далее терморезистор, закрепленный на штанге, опускается в воду при помощи шагового двигателя FL42STH с постоянной скоростью, задаваемой на персональном компьютере в программе управления шаговым двигателем SMSD-1,5. В момент опускания в нагретую жидкость сопротивление ТЧЭ увеличивается, что приводит к ступенчатому увеличению напряжения на нем, которое усиливается в устройстве измерения характеристик ТЧЭ. Полученный сигнал представляет собой восходящий фронт импульса, фиксируемый осциллографом TDS2002C в режиме захвата по восходящему фронту при заданном уровне (рис. 3).

По данным осциллограммы показатель тепловой инерции t терморезистивного чувствительного элемента определяется следующим образом. На полученной осциллограмме выбирается линейно изменяющаяся часть фронта. Значение напряжения в нижней его точке принимается за начальное U_0 , а в верхней – за конечное U_m . На фронте находится значение напряжения, соответствующее 63% от разности значений U_m и U_0 . Разница между временем, соответствующему данному значению напряжения, и временем, соответствующему значению напряжения U_0 , и будет искомым показателем тепловой инерции t .

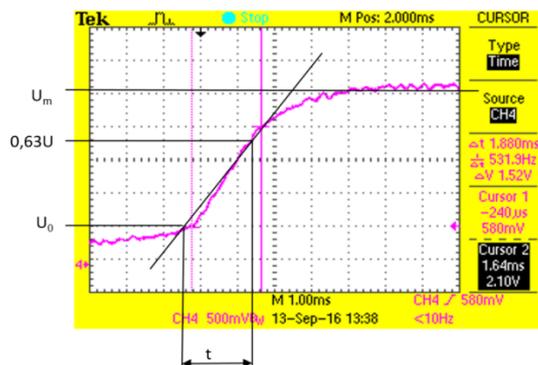


Рис. 3. Изменение напряжения при погружении ТЧЭ из воздуха в жидкость

По результатам 15 измерений было получено следующее значение показателя тепловой инерции: $1,9 \pm 0,4$ мс. Данное значение подтверждает результаты расчетов и позволяет использовать ТЧЭ в гидрофизических зондах. На основе технических решений, использованных в методе, предполагается возможным разработать методику аттестации терморезистивных чувствительных элементов, вводя в их технические характеристики показатель тепловой инерции.

Литература

1. Дульнев Г.Н., Теория тепло- и массообмена. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – С. 149–151.
2. Гончар И.И., Киселев Л.Н., Певгов В.Г., Семенов А.В., Шубарев В.А. Датчик контроля уровня жидкости. – RU2295115, приоритет 02.0.7.2004.
3. ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний. – Введен 01.01.2011. – М.: Стандартинформ, 2011. – 26 с.



Заричняк Юрий Петрович

Год рождения: 1937

Физико-технический факультет, кафедра физики,
д.ф.-м.н., профессор

e-mail: zarich4@gmail.com



Марова Александра Андреевна

Год рождения: 1992

Физико-технический факультет, кафедра физики, аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: marova_a@mail.ru

УДК 536.21

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ВЫСШИХ ФУЛЛЕРЕНОВ

Заричняк Ю.П., Марова А.А.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Заричняк Ю.П.

В ходе данного исследования была разработана модель структуры фуллеренов. С помощью методов теории обобщенной проводимости проведена приближенная оценка теплопроводности для высших фуллеренов C_{60} , C_{80} , C_{140} , C_{180} , C_{240} , C_{260} , C_{320} , C_{380} , C_{420} , C_{500} , C_{540} , C_{560} , C_{620} , C_{720} , C_{740} , C_{780} , C_{860} , C_{960} , C_{980} .

Ключевые слова: теплопроводность фуллеренов, высшие фуллерены.

Фуллереном называют аллотропную форму углерода, где атомы в молекулах расположены в вершинах правильных пятичленных и шестичленных циклов (или гексагонах и пентагонах, согласно принятой номенклатуре), образующих замкнутые выпуклые полые сферические оболочки с графеноподобной стенкой толщиной в один атом углерода.

Наиболее устойчивыми или стабильными фуллеренами являются бакминстерфуллерен («buckyball») C_{60} и фуллерен C_{70} («rugby ball»), которые по этой причине являются самыми распространенными и изученными. Высшими фуллеренами считаются фуллерены с числом атомов углерода от $N=70$. Их свойства изучены значительно меньше.

Все большее практическое применение находят новые полимерные композиционные материалы (ПКМ), обладающие улучшенными свойствами. Для модификации ПКМ и улучшения свойств применяются разнообразные добавки. Активно разрабатываются и исследуются композиционные материалы (КМ) на основе полимерных матриц с компонентами, обладающими высокой теплопроводностью (порошки меди, нитридов и углеродные добавки), изучаются их прочностные и теплофизические свойства. После открытия углеродных наноразмерных компонентов (фуллерены, нанотрубки) возник интерес к изучению ПКМ с этими высокотеплопроводными углеродными компонентами. Например, в [1] предлагается применять фуллерены C_{60} , C_{70} или их смесь как наполнитель для материала конструкционного и антифрикционного назначения – капролона (полиамида 6-блочного). Добавление фуллереновых молекул в матрицу полиамида 6 приводит к значительному улучшению его физических свойств: повышению твердости, прочности при сжатии и при изгибе, увеличению его электрической прочности [1]. Благодаря добавлению в полиамид 6 фуллеренового наполнителя, изменяется также и его эффективная теплопроводность [2, 3].

Теплопроводность является одним из важнейших параметров для сертификации и использования материалов электрического, антифрикционного, радиотехнического (поглотителя СВЧ-излучения) назначения. По этой причине теплофизические свойства высших фуллеренов представляют особый интерес для исследования.

Для того чтобы осуществлять прогнозирование коэффициента теплопроводности полимерного композиционного материала, необходимо знать значения теплопроводности компонентов: полимерной матрицы и наноразмерного наполнителя – фуллеренов с предположительно более высокой теплопроводностью. Теплофизические свойства полимеров хорошо известны и представлены в справочной литературе. А значения теплопроводности фуллерена C_{60} , которые удалось найти в немногочисленных источниках, имеют теоретический, оценочный характер и отличаются друг от друга на несколько порядков: от 0,4 [4] до 120 Вт/(м·К) [5]. Известные нам оценки теплопроводности фуллеренов указывают на то, что их теплопроводность выше теплопроводности полимерной матрицы. Из этого следует, что включение фуллереновых добавок в матрицу должно приводить к увеличению теплопроводности полимерного композиционного материала.

Целью работы стала разработка модели и приближенная оценка теплопроводности ряда высших фуллеренов C_{60} , C_{80} , C_{140} , C_{180} , C_{240} , C_{260} , C_{320} , C_{380} , C_{420} , C_{500} , C_{540} , C_{560} , C_{620} , C_{720} , C_{740} , C_{780} , C_{860} , C_{960} , C_{980} .

С помощью методов теории обобщенной проводимости [4] была проведена оценка теплопроводности ряда высших фуллеренов. Результаты расчетов представлены на рисунке в виде графика зависимости эффективной теплопроводности фуллеренов от числа атомов углерода, которые в них содержатся [6, 7].

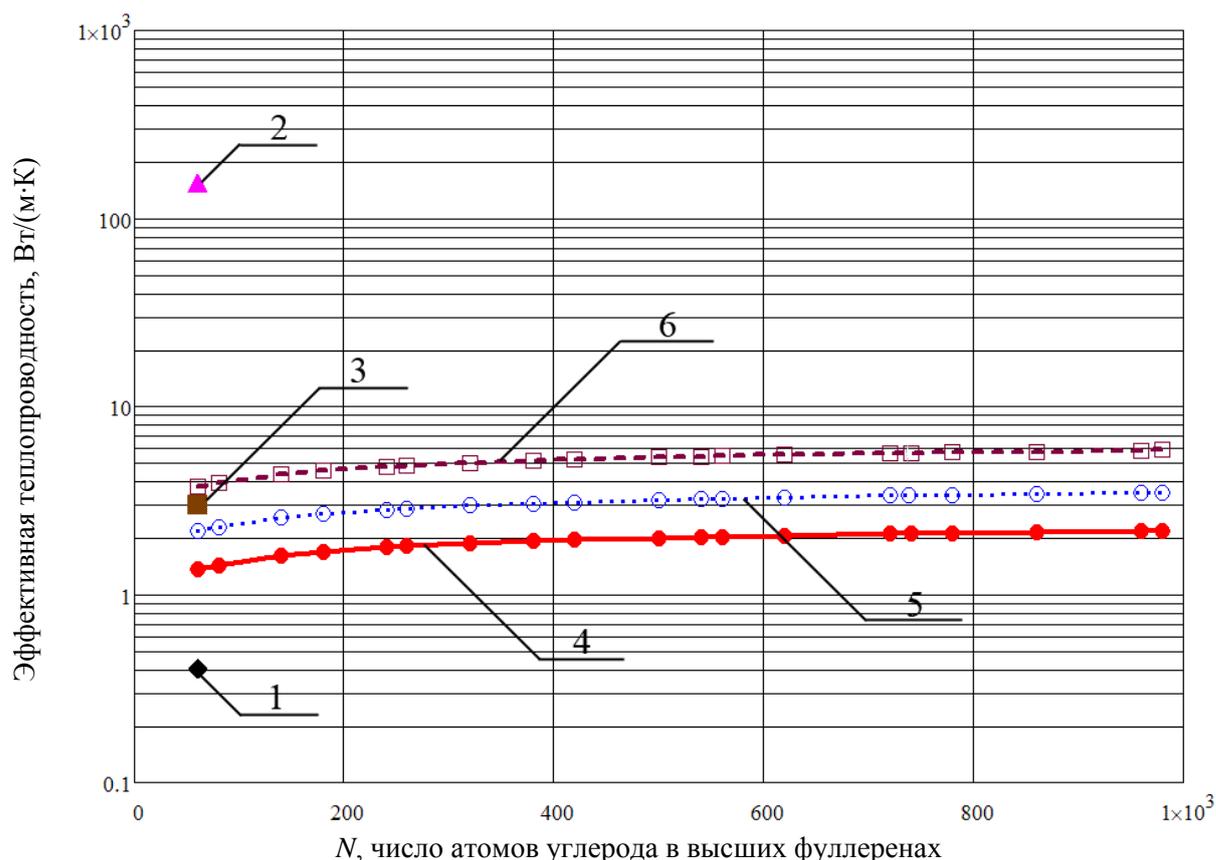


Рисунок. График зависимости теплопроводности фуллеренов от числа атомов углерода, в них содержащихся: 1 – данные Э.Г. Ракова [5]; 2 – данные В.С. Зарубина [3]; 3 – данные ФГБНУ «ТИСНУМ»; 4 – $\lambda_{\text{экв.}}$ при значении $\lambda_{\text{граф.}}=2000$ Вт/(м·К); 5 – $\lambda_{\text{экв.}}$ при значении $\lambda_{\text{граф.}}=3500$ Вт/(м·К); 6 – $\lambda_{\text{экв.}}$ при значении $\lambda_{\text{граф.}}=6500$ Вт/(м·К)

Литература

1. Пат. 2316571 Российская Федерация, МПК7 C08J 5/16, МПК7 C08L 77/02. Полиамидный композиционный материал (варианты) / Некрасов К.В., Герасимов В.И., Туляков О.С., Иванов В.В. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Судопластсервис» (RU), ООО «УНТ-ПЛАСТ» (RU). – № 2006110509/04; заявл. 28.03.2006; опубл. 10.02.2008.
2. Заричняк Ю.П., Марова А.А. Теплопроводность полимерных композиционных материалов, наполненных фуллеренами C_{60} // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2016. – Т. 3. – С. 211–213.
3. Заричняк Ю.П., Марова А.А. Оценка коэффициента теплопроводности полимерных композиционных материалов, наполненных фуллеренами C_{60} // Сб. трудов V Всероссийского конгресса молодых ученых. – 2016. – Т. 2. – С. 22–26.
4. Tea N.H., Yu R.C., Salamon M.B., Lorents D.C., Malhotra R., Ruaff R.S. Thermal Conductivity of C_{60} and C_{70} Crystals // Appl. Phys. A. Solids and Surfaces. – 1993. – V. 56. – P. 219–225.
5. Головин Н.Н., Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. Оценки эффективного коэффициента теплопроводности композита, модифицированного фуллеренами // Композиты и наноструктуры. – 2012. – № 4. – С. 15–22.
6. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов: Справочная книга. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
7. Раков Э.Г. Нанотрубки и фуллерены. – М.: Логос, 2006. – 376 с.



Иванов Александр Николаевич

Год рождения: 1980

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, к.т.н., доцент

e-mail: i_off@mail.ru



Лепя Виктория Сергеевна

Год рождения: 1993

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, группа № V4220

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: kiss_me_live@mail.ru



Закиров Анвар Камирович

Год рождения: 1995

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, группа № V4120

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: dnc_lr@mail.ru

УДК 681.786

ДИФРАКЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МАЛЫХ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СО СКАНИРУЮЩЕЙ ЩЕЛЕВОЙ АПЕРТУРОЙ

Иванов А.Н., Лепя В.С., Закиров А.К.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Иванов А.Н.

В работе показана возможность создания измерителей линейных и угловых перемещений, основанных на использовании эталонного волнового фронта с известным амплитудно-фазовым распределением.

Ключевые слова: дифракционный измеритель, датчик Гартмана, малые угловые перемещения, сканирующая щелевая апертура.

Задачей исследования являлось создание дифракционных измерителей, использующих освещение световой волной с заданным амплитудно-фазовым распределением. В рамках исследования принципов работы измерителей перемещения была предложена идея использовать для решения этой задачи конструкцию сканирующего датчика Гартмана [1]. Такой датчик представляет собой диафрагму, которая может выполнять сканирование падающего волнового фронта по двум координатам. За диафрагмой стоят объектив и ПЗС-приемник, который несколько смещен от фокальной плоскости объектива. Это обусловлено тем, что световое пятно, занимающее несколько десятков пикселей, проще обрабатывать, чем пятно размером в 2–3 пикселя. В случае если волновой фронт не плоский, то световое пятно смещается от начального положения, и величина его перемещения позволяет оценить деформацию волнового фронта. Такой датчик отличается крайне высокой чувствительностью и позволяет регистрировать отклонения формы волнового фронта до $1/1000 \lambda$.

Была выдвинута идея – решить обратную задачу, зная форму эталонного волнового фронта, попытаться точно измерить перемещение диафрагмы. Исходная схема при этом была несколько изменена (рис. 1). Было решено убрать объектив между диафрагмой и приемником, а саму диафрагму значительно уменьшить в размерах, что стало возможно благодаря применению мощного лазерного источника. Это позволило добиться следующих преимуществ:

- упростить схему, отказавшись от длиннофокусного объектива с дифракционным качеством изображения;
- устранить спеклы, вызванные дифракцией лазерного излучения на микродефектах оптики;
- увеличить передаточный коэффициент перемещения за счет перехода от преобразования Фурье к преобразованию Френеля;
- упростить обработку изображения, так как априори известен закон распределения освещенности в изображении, что позволяет уменьшить погрешность дискретизации до 1/50 размера пиксела.

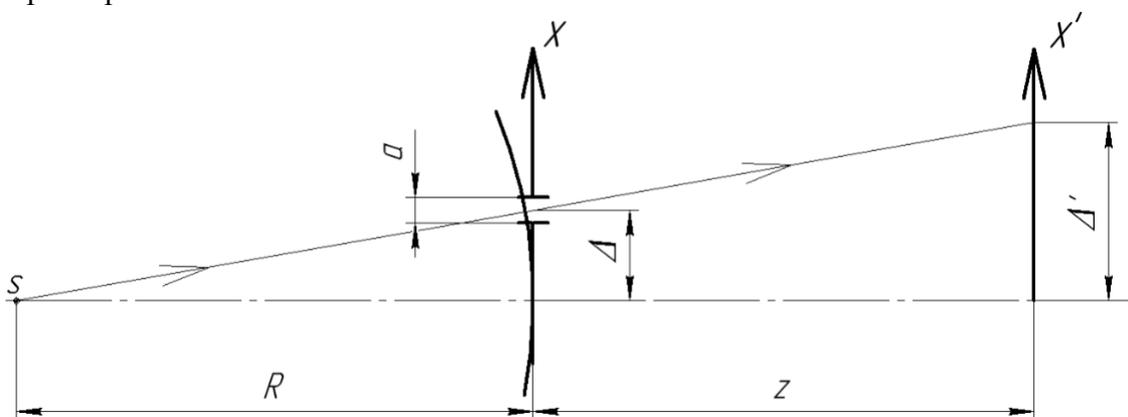


Рис. 1. Смещение дифракционной картины при смещении щелевой апертуры относительно волнового фронта

При этом смещение дифракционной картины рассчитывается как:

$$\Delta' = \Delta(1+z/R), \quad (1)$$

где Δ' – смещение дифракционной картины; Δ – смещение щелевой апертуры; z – расстояние от щелевой апертуры до плоскости изображения; R – расстояние от источника излучения до щелевой апертуры.

Для формирования эталонного волнового фронта была использована методика, предложенная в работе [2]. Если сфокусировать излучение объективом на точечную диафрагму, размер которой сопоставим с кружком Эйри фокусирующего объектива, то в пределах угла дифракции, соответствующего главному максимуму, можно получить практически идеальный сферический волновой фронт при относительно небольших (20%) потерях энергии. Так при диаметре отверстия 5 мкм предельное отклонение формы волнового фронта будет меньше $\lambda/400$. Отклонение формы волнового фронта может быть рассчитано из выражения:

$$\Delta W = d^2/\lambda R,$$

где ΔW – предельное отклонение формы волнового фронта; d – диаметр точечной диафрагмы; λ – длина волны; R – расстояние от точечной диафрагмы до щелевой апертуры.

Был сделан макет измерителя, который представлял собой столик от инструментального микроскопа со щелевой диафрагмой, который перемещался относительно падающей сферической волны с помощью концевых мер (рис. 2). Результаты эксперимента дали хорошее совпадение с результатами расчетов [3]. Экспериментальная погрешность составила порядка 2 мкм на 1 мм перемещения столика.

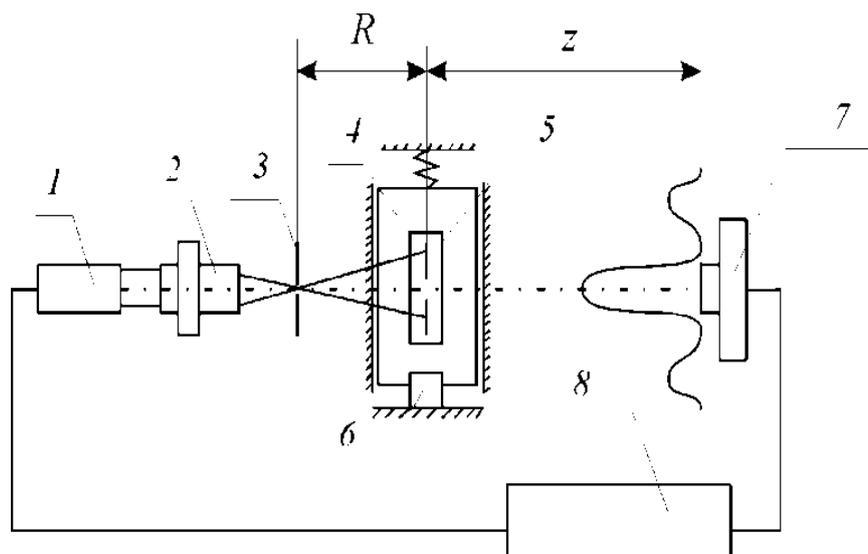


Рис. 2. Функциональная схема макета установки для измерения линейных перемещений дифракционным методом: 1 – полупроводниковый лазер КЛМ-532; 2 – микрообъектив ОМ-3; 3 – точечная диафрагма; 4 – подвижный столик; 5 – спектральная щель ГОИ; 6 – концевая мера; 7 – матричный приемник; 8 – блок регистрации

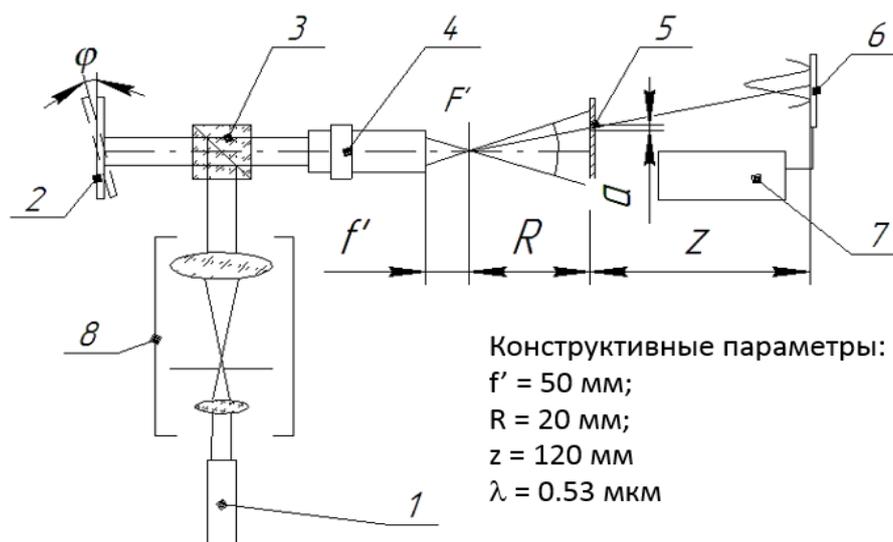


Рис. 3. Измеритель угловых перемещений со сканирующей щелевой апертурой: 1 – источник излучения; 2 – отражатель; 3 – светоделитель; 4 – объектив; 5 – сканирующая щель; 6 – приемник; 7 – блок регистрации; 8 – телескопическая система с точечной диафрагмой

Анализ источников погрешностей показал, что основными погрешностями являются погрешности установки щели относительно точечного отверстия и приемника, а также погрешность измерения сдвига дифракционной картины. Влияние ряда погрешностей может быть скомпенсировано с помощью алгоритмической коррекции и на этапе калибровки устройства. В результате возможно измерение перемещения порядка 10 мм с погрешностью 3–4 мкм.

После успешной апробации макета измерителя линейных перемещений был выдвинут вопрос о возможности применения данного метода для измерения угловых перемещений. Была предложена функциональная схема измерителя угловых перемещений, приведенная на рис. 3.

Измеритель является комбинацией классического автоколлимационного измерителя и дифракционного измерителя, описанного ранее.

При повороте отражателя точка фокуса смещается в вертикальной плоскости, в результате происходит смещение центра волнового фронта относительно центра щели. Угол падения волны на щель меняется, что ведет к смещению дифракционной картины. В отличие от предыдущей схемы здесь смещается не щель относительно волнового фронта, а волновой фронт относительно щели.

Достоинством такой схемы является высокая чувствительность и небольшие габариты, но как показали расчеты, серьезным недостатком является высокое требование к форме волнового фронта за объективом – чтобы получить погрешность в 2" на 1°, необходимо обеспечить отклонение волнового фронта $\lambda/15$.

Был собран макет согласно приведенной функциональной схеме. В качестве осветителя был использован лазерный модуль KLM-532. Результаты измерения угла поворота столика, откалиброванного с помощью автоколлиматора АК-0.5 приведены в таблице.

Таблица. Результаты измерения угла

Задаваемый угол поворота от отражателя	Измеренный угол поворота отражателя	Относительная погрешность, %
4'	3'52"	3,3
8'	7'40"	4,1
12'	11'23"	5,1
16'	15'09"	5,3
20'	18'49"	5,9

Значительная погрешность измерения (3–5%) обусловлена высокими расходимостью излучения и отклонением волнового фронта от плоского на выходе из лазерного модуля.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показывают возможность создания точных дифракционных измерителей угловых перемещений, имеющих малые габариты при условии минимизации аберраций оптической системы, формирующей сферический волновой фронт.

Литература

1. Laude V., Olivier S., Dirson C., Huignard J.-P. Hartmann wave-front scanner // Optics Letters. – 1999. – V. 24. – № 24. – P. 1796–1798.
2. Вознесенский Н.Б., Гаврилов Е.В. и др. Интерференционный контроль асферических компонентов объектива для нанолитографии // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77. – № 2. – С. 126–130.
3. Иванов А.Н., Киреев В.Е., Нижегородова К.В. Дифракционный метод измерения пространственного положения объекта, использующий освещение сферической волной // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 1. – С. 21–24.



Ильин Андрей Константинович

Год рождения: 1991

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В4257

Направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение

e-mail: ilyin-andrey@rambler.ru



Сизиков Валерий Сергеевич

Факультет программной инженерии и компьютерной техники,
кафедра графических технологий, д.т.н., профессор
e-mail: sizikov2000@mail.ru

УДК 621.397.3, 519.642.3

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СМАЗАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Ильин А.К., Сизиков В.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Сизиков В.С.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 33481 «Устойчивые технологии восстановления спектров в технических системах спектроскопии».

В работе представлены три быстрых алгоритма восстановления смазанного изображения на основе решения интегрального уравнения Фредгольма I рода методом регуляризации Тихонова с использованием заранее рассчитанной («заготовленной») матрицы. Алгоритмы сводятся к умножению этой матрицы на каждую вектор-строку смазанного изображения.

Ключевые слова: смазанное изображение, интегральное уравнение, быстрые алгоритмы, «заготовленная» матрица, MatLab.

Введение. Задача восстановления смазанных изображений является актуальной [1]. Часто требуется восстановить изображение объекта быстро, в реальном времени (в пределах 0,1–1 с). Например, нужно восстановить изображение быстро летящей воздушной цели (самолета и т.д.) или быстро движущегося наземного объекта (автомобиля) путем математико-компьютерной обработки смазанного (и зашумленного) изображения. Смазывание изображения объекта может произойти из-за сдвига камеры или перемещения самого объекта. Восстановление смазанного изображения сводится к решению интегральных уравнений (ИУ) Фредгольма I рода. Эта задача некорректная (неустойчивая), поэтому используется метод регуляризации Тихонова и другие методы.

Математическая формулировка задачи. В работе [2] рассмотрен ряд быстрых устойчивых алгоритмов устранения смаза изображения. В данной работе эта методика развивается для цветных изображений.

Первый (известный) алгоритм связан с решением ИУ Фредгольма I рода типа свертки (в каждой у-строке изображения) [1, 2]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(x-\xi) w_y(\xi) d\xi = g_y(x) + \delta g, \quad -\infty < x < \infty, \quad (1)$$

причем ось x направлена вдоль смаза, а y – перпендикулярно смазу, при этом

$$h(x) = \begin{cases} 1/\Delta, & -\Delta \leq x \leq 0, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (2)$$

– функция рассеяния точки (ФРТ), обычно пространственно-инвариантная (разностная), w и g – распределение интенсивности по неискаженному (искомому) и искаженному (измеренному) изображению соответственно, Δ – величина смаза, δg – помеха. В (1) y играет

роль параметра. Решение ИУ (1) методом преобразования Фурье (ПФ) с регуляризацией Тихонова (ПФРТ) имеет вид:

$$w_{\alpha y}(\xi) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{H^*(\omega) G_y(\omega)}{|H(\omega)|^2 + \alpha \omega^{2p}} e^{-i\omega \xi} d\omega, \quad (3)$$

где

$$G_y(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g_y(x) e^{i\omega x} dx, \quad H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x) e^{i\omega x} dx, \quad (4)$$

причем $\alpha > 0$ – параметр регуляризации, $p \geq 0$ – порядок регуляризации (обычно равный 1 или 2), а $G_y(\omega)$ и $H(\omega)$ – преобразования Фурье.

При компьютерной реализации формул (1)–(4) непрерывное ПФ обычно реализуется в виде быстрого ПФ (БПФ). Пусть m и n – число строк и столбцов в изображении соответственно. В [2] оценено, что при одинаковом числе дискретных отсчетов $m = n$ по x и ω алгоритм (3)–(4) при использовании БПФ потребует примерно $2n^2 \log_2 n$ операций умножения/деления и $3n^2$ ячеек памяти.

Второй алгоритм основан также на использовании метода ПФРТ. Однако изменив порядок интегрирования, решение (3) можно представить в виде [2]:

$$w_{\alpha y}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{\alpha}(\xi - x) g_y(x) dx, \quad (5)$$

где

$$R_{\alpha}(\xi) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{H^*(\omega)}{|H(\omega)|^2 + \alpha \omega^{2p}} e^{-i\omega \xi} d\omega. \quad (6)$$

Суть алгоритма состоит в том, что интегралы в (5) и (6) заменяются на конечные суммы, и вдоль каждой y -строки вводятся целочисленные отсчеты по пикселям: $\xi_i = x_i = 1, 2, \dots, n$. Заранее вычисляется «заготовленный» вектор R_{α} (так как он не зависит от g_y) и восстановление изображения сведется к вычислению $w_{\alpha y}(\xi)$ для каждой y -строки путем умножения R_{α} на g_y :

$$w_{\alpha y}(\xi_i) = \sum_{k=1}^n R_{\alpha}(\xi_i - x_k) g_y(x_k), \quad \xi_i = x_i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Вычисление согласно (7) потребует примерно n^3 умножений и $2n^2$ ячеек памяти, т.е. по скорости данный алгоритм уступает первому алгоритму, но немного выигрывает по памяти.

Третий алгоритм основан на решении ИУ общего типа, когда значение Δ , вообще говоря, зависит от x (пример: на снимке – легкоатлеты, бегущие с разными скоростями, поэтому у них разные смазы) [2]:

$$Aw_y \equiv \int_a^b h(x, \xi) w_y(\xi) d\xi = g_y(x) + \delta g, \quad c \leq x \leq d, \quad (8)$$

где неразностная ФРТ равна

$$h(x, \xi) = \begin{cases} 1/\Delta_x, & x \leq \xi \leq x + \Delta_x, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (9)$$

Для решения ИУ (8) применим метод квадратур с регуляризацией Тихонова, согласно которому интеграл при каждом x заменяется конечной суммой с целым шагом дискретизации (в пикселах) и получается система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) при некотором фиксированном y :

$$Aw_y = g_y, \quad (10)$$

где A – $(n \times n)$ -матрица, связанная с ФРТ (9): $A_{ik} = h(x_i, \xi_k)$, $x_i = \xi_i = 1, 2, \dots, n$.

Согласно методу регуляризации Тихонова, вместо неустойчивой СЛАУ (10) решается устойчивая (регуляризованная) СЛАУ:

$$(\alpha E + A^T A) w_{\alpha y} = A^T g_y, \quad (11)$$

где E – единичная $(n \times n)$ -матрица. Решение СЛАУ (11) запишем в виде:

$$w_{\alpha y} = B_\alpha g_y, \quad (12)$$

где

$$B_\alpha = (\alpha E + A^T A)^{-1} A^T \quad (13)$$

– матрица, не зависящая от y , которая может быть предварительно вычислена, и восстановление изображения w сведется к умножению B_α на каждую y -строку изображения g . Этот алгоритм требует n^3 операций и $3n^2$ ячеек памяти.

Видим, что первый алгоритм, основанный на использовании БПФ, является самым быстрым, но второй и третий алгоритмы являются также достаточно быстрыми. Покажем это на следующем примере.

Если, например, $m = n = 400$, то алгоритм (12)–(13) потребует $n^3 \approx 64$ млн операций умножения. Если скорость компьютера ~ 1 млрд оп/с, то восстановление изображения займет $\sim 0,1$ с.

Матрицу B_α нужно рассчитать заранее (до появления быстрого объекта). Однако она зависит от величины смаза Δ и параметра регуляризации α , а эти величины заранее неизвестны или известны приближенно.

Предлагается следующий быстрый способ оценки Δ и α . Нужно заранее заготовить несколько матриц B_α для ряда типичных значений Δ и α . Если речь идет, например, о самолете-нарушителе границы, то служба первичного обнаружения цели должна оценить скорость, направление движения и высоту полета самолета, и по этим данным служба обработки изображения сможет оценить Δ и выбрать из памяти несколько матриц B_α с типичными значениями Δ и α .

Для реализации третьего алгоритма разработана программа FastRest.m.



Рис. 1. Цветное смазанное изображение автомобиля

Изображение на рис. 1 обработано с помощью программы FastRest.m для ряда значений Δ и α . На несколько экранов (рис. 2) может быть выдан ряд восстановленных изображений w_α и опытные диспетчеры выберут значения Δ и α .

Рис. 2 показывает, что при $\Delta = 20$, $\alpha = 10^{-3}$ получается наиболее успешное восстановление изображения: из-за смаза не были видны лицо пассажира, антенна, колеса, дверные щели и т.д., а после восстановления они стали видны.

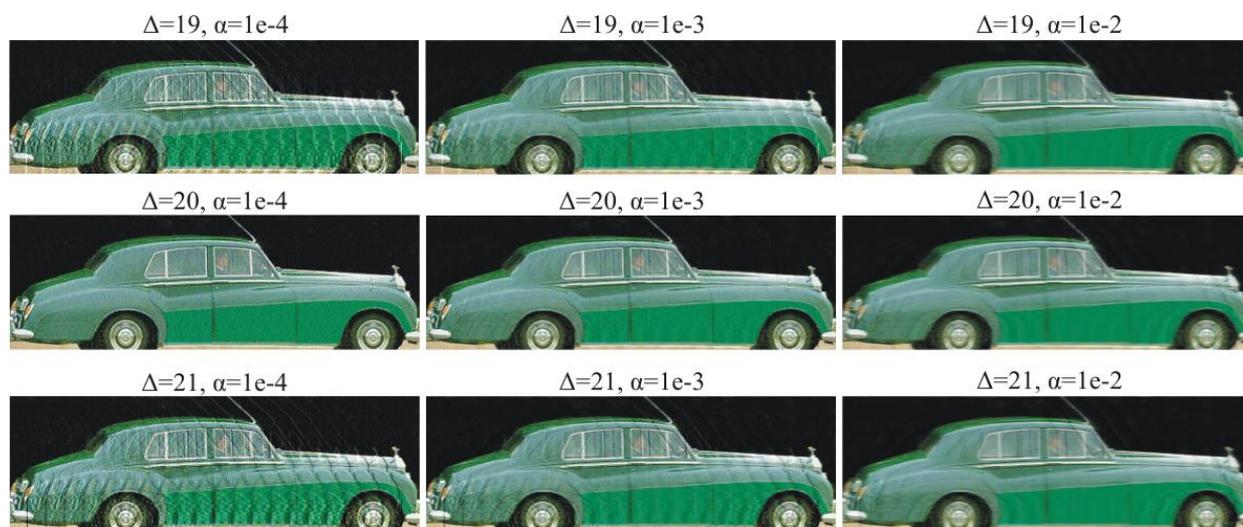


Рис. 2. Вывод на несколько экранов восстановленных изображений

Заключение. Предложенные быстрые алгоритмы могут быть использованы для восстановления смазанных цветных изображений быстро движущихся целей, для коррекции быстро протекающих процессов (смазанный кровоток в сосудах в томографии), для повышения качества теле- или кинокадров и т.д.

Литература

1. Сизиков В.С. Обратные прикладные задачи и MatLab. – СПб.: Лань, 2011. – 256 с.
2. Сизиков В.С., Кирьянов К.А., Экземпляров Р.А. Два быстрых алгоритма восстановления смазанных изображений // Изв. вузов. Приборостроение. – 2013. – Т. 56. – № 10. – С. 24–30.



Квицинский Анатолий Геннадьевич

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4236

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: anatolykvitsinskiy@outlook.com

УДК [654.9:007.51]:727.57

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ УЧЕБНОГО КОРПУСА УНИВЕРСИТЕТА

Квицинский А.Г., Алексеев С.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Алексеев С.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615862 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия излучения с новыми функциональными, конструкционными и биологическими материалами».

В работе выполнено проектирование комплексной интегрированной системы безопасности учебного корпуса университета. Объектом обеспечения безопасности являлся корпус Университета ИТМО,

расположенный по адресу: Российская Федерация, 190000, город Санкт-Петербург, переулок Гривцова, дом 14–16, литера А, Б, Г. Выполнен анализ предметной области. Описана нормативно-техническая документация. Описаны комплексные интегрированные системы безопасности. Описаны принципы проектирования систем безопасности. Выполнено проектирование системы безопасности объекта. Выполнен анализ объекта обеспечения безопасности. Выполнен анализ угроз объекту обеспечения безопасности. Выполнен анализ методов, средств и ресурсов обеспечения безопасности объекта. Показана схема электрическая структурная упрощенная системы безопасности.

Ключевые слова: комплексная интегрированная система безопасности, проектирование системы безопасности, подсистема пожарной сигнализации и автоматики, подсистема охранной сигнализации, подсистема контроля и управления доступом, подсистема телевизионного наблюдения, учебный корпус университета.

Введение. Обеспечение безопасности различных объектов является очень актуальным. В особенности это относится к образовательным учреждениям. При проектировании систем безопасности таких важных объектов требуется применять комплексной подход [1, 2].

Целью работы являлось проектирование комплексной интегрированной системы безопасности (КИСБ) учебного корпуса университета для модернизации существующей системы безопасности. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: выполнить анализ предметной области, объекта обеспечения безопасности, угроз объекту обеспечения безопасности, методов, средств и ресурсов обеспечения безопасности объекта.

Анализ предметной области. Требования к системам безопасности и их компонентам регламентированы Федеральными законами РФ № 390-ФЗ от 28.12.2010, № 69-ФЗ от 21.12.1994, Национальными стандартами РФ ГОСТ Р 52551-2006, ГОСТ Р 53704-2009, ГОСТ Р 56875-2016, ГОСТ Р 52860-2007, ГОСТ Р 52435-2015, ГОСТ Р 51241-2008, ГОСТ Р 51558-2014, сводами правил МЧС России, Рекомендациями ФКУ «НИЦ «Охрана» Росгвардии и др.

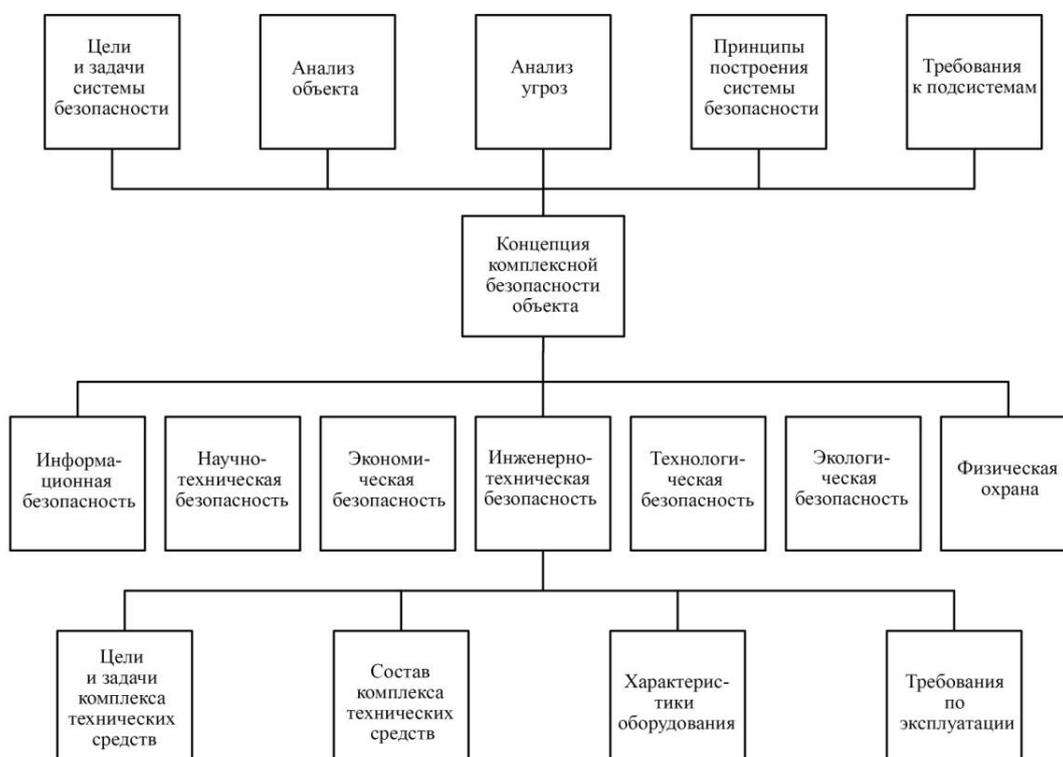


Рис. 1. Схема деления структурная концепции комплексной безопасности объекта

Концепция комплексной безопасности объекта предусматривает следующие направления: инженерно-техническая безопасность, информационная безопасность, научно-

техническая безопасность, экономическая безопасность, технологическая безопасность, экологическая безопасность, физическая охрана и др. [3].

Схема деления структурная концепции комплексной безопасности объекта [3] представлена на рис. 1.

К области инженерно-технической безопасности объекта относятся, в том числе системы пожарной сигнализации и автоматики (ПСА), охранной сигнализации (ОС), контроля и управления доступом (КУД), телевизионного наблюдения (ТВН). В соответствии с ГОСТ Р 53704-2009, данные системы являются основными компонентами комплексных и интегрированных систем безопасности.

Комплексное обеспечение безопасности объекта основывается на многоэтапном построении системы безопасности, которое включает анализ объекта с указанием защищаемых жизненных приоритетов, анализ угроз объекту с указанием существенных и реальных угроз объекту, анализ методов, средств и ресурсов обеспечения безопасности объекта [4].

Проектирование системы безопасности объекта

1. Анализ объекта обеспечения безопасности. Исходными данными при проектировании системы безопасности являлись комплекты рабочих чертежей планировочной организации земельного участка и архитектурных решений.

Объектом обеспечения безопасности являлся учебный корпус Университета ИТМО, расположенный по адресу: Российская Федерация, 190000, город Санкт-Петербург, переулок Гривцова, дом 14–16, литера А, Б, Г. Объект построен в 1790–1793 гг., перестроен в 1839–1840 гг., перестроен в 1864–1875 гг. Объект входит в «Список вновь выявленных объектов, представляющих историческую, научную, художественную или иную культурную ценность». Объект включал пять этажей и подвальные помещения. Охране подлежали помещения, расположенные на четвертом этаже объекта.

В соответствии с «Отчетом о самообследовании Университета ИТМО по состоянию на 1 апреля 2016 года», численность обучающихся составляла 14693 человека, численность профессорско-преподавательского состава составляла 1101 человек. Суммарная стоимость материальных и нематериальных активов, которые находились на балансе Университета ИТМО, составляла 5,049 млрд рублей.

2. Анализ угроз объекту обеспечения безопасности. При анализе угроз объекту обеспечения безопасности должны учитываться вероятность реализации угроз и возможный ущерб от их реализации. При этом должны приниматься во внимание различные ограничения, такие, как экономические, юридические, организационные, технические и др.

Основными угрозами объекту являлись: террористические угрозы, криминальные угрозы, техногенные угрозы, экономические угрозы, информационные угрозы [2, 4].

Перечень основных угроз объекту представлен в таблице.

Таблица. Перечень основных угроз объекту

№	Наименование	Способ реализации
1	террористические угрозы	террористические акты; похищение людей; захват заложников; вывод из строя силовых линий электроснабжения, средств связи и др.
2	криминальные угрозы	хищение; корыстные преступления против собственности; некорыстное уничтожение или повреждение имущества и др.
3	техногенные угрозы	пожары; обрушения сооружений; затопления; нарушение систем жизнеобеспечения; выбросы опасных веществ и др.
4	информационные угрозы	кибернетические атаки на компьютерные сети; проникновение в информационные сети; хищение интеллектуальной собственности и др.
5	экономические угрозы	промышленный шпионаж; финансовое мошенничество; фальсификация финансовых документов; хищение денежных средств и др.

3. Методы, средства и ресурсы обеспечения безопасности объекта. В результате анализа объекта обеспечения безопасности и угроз объекту был выбран состав КИСБ, включающий подсистемы ПСА, ОС, КУД, ТВН. При проектировании КИСБ для интеграции подсистем применялось программное обеспечение (ПО) «Интегрированная система охраны «Орион» («ИСО «Орион») (ЗАО НВП «Болид», Россия). При проектировании подсистемы ПСА применялось оборудование ЗАО НВП «Болид» (Россия). При проектировании подсистемы ОС применялось оборудование ЗАО НВП «Болид», ЗАО «РИЭЛТА» (Россия) При проектировании подсистемы КУД применялось оборудование ЗАО НВП «Болид» (Россия). При проектировании подсистемы ТВН применялось оборудование и ПО Axis Communications AB (Швеция), ООО «Ай Ти Ви групп» (Россия).

Схема электрическая структурная упрощенная системы безопасности представлена на рис. 2.

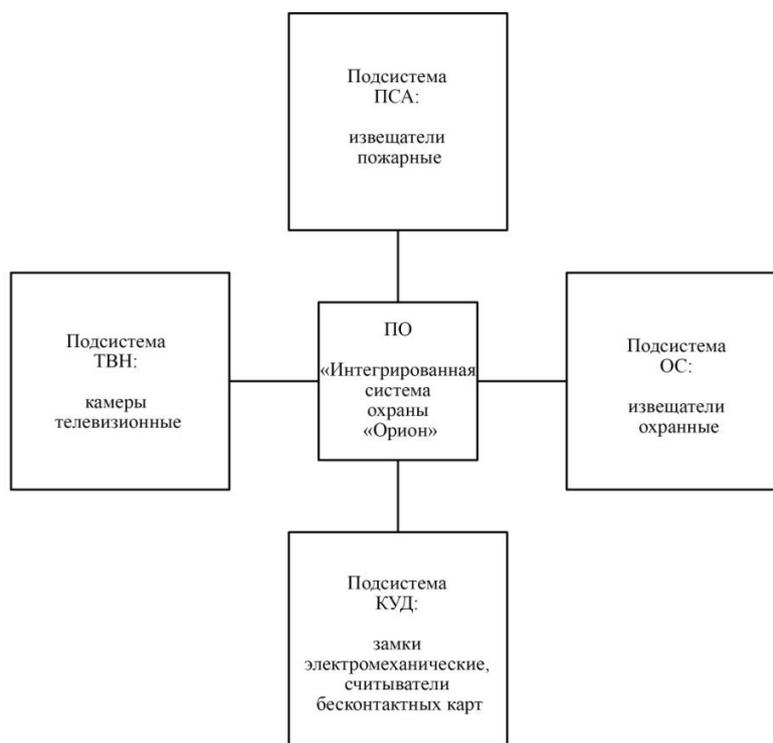


Рис. 2. Схема электрическая структурная упрощенная системы безопасности

Заключение. В результате выполнения данной работы было выполнено проектирование КИСБ учебного корпуса университета. Выполнен анализ предметной области. Выполнен анализ объекта обеспечения безопасности. Выполнен анализ угроз объекту. Выполнен анализ методов, средств и ресурсов обеспечения безопасности объекта.

В настоящее время ведется разработка проектной документации комплексной интегрированной системы безопасности объекта, выполняется оценка эффективности системы безопасности объекта. Также ведется разработка рекомендаций по проектированию систем безопасности учебных корпусов, и исследуются результаты, описанные в [5], для применения в подсистеме охранной сигнализации объекта.

Литература

1. Волхонский В.В., Малышкин С.Л. Методика анализа эффективности обнаружения нарушителя средствами систем физической защиты // Информ.-упр. системы. – 2015. – № 3. – С. 70–76.

2. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Добровольский В.С., Овечкин А.Н. Моделирование систем комплексной безопасности высших учебных заведений. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 130 с.
3. Рыжова В.А. Проектирование и исследование комплексных систем безопасности: учеб. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 157 с.
4. Волхонский В.В. Основные положения концепции обеспечения безопасности объектов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – № 3. – С. 116–121.
5. Квицинский А.Г., Галкин И.Д., Алексеев С.А. Исследование эффекта фотоупругости с помощью визуализационной поляриметрии // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: сб. науч. тр. – 2016. – Т. 1. – С. 273–276.

**Квицинский Анатолий Геннадьевич**

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4236

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: anatolykvitsinskiy@outlook.com

**Галкин Иван Дмитриевич**

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4236

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: ivangalkin94@yandex.ru

**Раскина Александра Олеговна**

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4236

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: sasha.raskina@mail.ru

УДК [654.924.37:535.551]:608.4

**ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ИЗВЕЩАТЕЛЬ С МОДУЛЬНОЙ
КОНСТРУКЦИЕЙ****Квицинский А.Г., Галкин И.Д., Раскина А.О., Алексеев С.А.****Научный руководитель – к.т.н., доцент Алексеев С.А.**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615862 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия излучения с новыми функциональными, конструкционными и биологическими материалами».

В работе предложена полезная модель извещателя охранного поверхностного поляризационно-оптического с модульной конструкцией. Принцип обнаружения был основан на пьезооптическом

эффекте. Извещатель совмещал в себе функции пьезоэлектрического охранного извещателя и пьезоэлектрического датчика давления.

Ключевые слова: извещатель охранный поверхностный, фотоупругость, пьезооптический эффект, параметры Стокса, поляризационно-оптический метод исследования, полезная модель.

Введение. Эффективное обеспечение безопасности является особенно актуальным в современных условиях. **Целью работы** являлась разработка модели охранного извещателя на основе полученных ранее результатов. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: выполнить анализ предметной области, выполнить разработку модели извещателя.

Анализ предметной области. Важнейшим компонентом большинства систем безопасности является система физической защиты, включающая систему охранной сигнализации [1]. Эффективным методом обнаружения несанкционированного проникновения нарушителя на объект является применение охранных извещателей с различными принципами обнаружения проникновения.

Если прозрачное твердое тело подвергается действию внешней механической нагрузки, то оно становится анизотропным. Данное явление называется фотоупругостью, или пьезооптическим эффектом. Для описания состояния поляризации применяется система параметров Стокса. В случае если интенсивность излучения I измеряется при поворотах анализатора на углы 0° и 90° , параметры Стокса S_0 и S_1 можно рассчитать, как [2, 3]:

$$\{S_0, S_1\} = \{I_{0^\circ} + I_{90^\circ}, I_{0^\circ} - I_{90^\circ}\}. \quad (1)$$

Требования к системам охранной сигнализации и их компонентам регламентированы Федеральным законом РФ № 390-ФЗ от 28.12.2010, Национальными стандартами РФ ГОСТ Р 52551-2006, ГОСТ Р 53704-2009, ГОСТ Р 56875-2016, ГОСТ Р 52435-2015 и др.

Разработка модели извещателя

1. Результаты предыдущих исследований. В предыдущей работе [3] с помощью метода визуализационной поляриметрии был исследован эффект фотоупругости в твердых телах при воздействии нагрузок, которые приводили к деформациям сжатия и изгиба. Экспериментальные данные были обработаны с помощью программного обеспечения (ПО) PIRPhM viewer [4]. На основе данных результатов была предложена полезная модель извещателя охранного поверхностного поляризационно-оптического с модульной конструкцией (далее – извещатель).
2. Описание модели извещателя. Извещатель совмещал в себе функции пьезоэлектрического охранного извещателя и пьезоэлектрического датчика давления. Электронная твердотельная геометрическая модель извещателя была построена с помощью ПО Autodesk® Inventor® Professional 2016.

Основные компоненты извещателя:

1. блоки источников излучения (БИИ1, БИИ2), они состояли из панелей инфракрасных (ИК) светодиодов, которые излучали в ближнем ИК диапазоне, панелей поляризационных фильтров;
2. блоки приемников излучения (БПИ1, БПИ2), они состояли из панелей КМОП-матриц, панелей поляризационных фильтров, панелей жидкокристаллических, которые изменяли углы поворота поляризации либо на 0° , либо на 90° ;
3. чувствительным элементом (ЧЭ) являлась панель из материала ПММА-пластик;
4. теплоотводящим элементом (ТЭ) являлся радиатор;
5. корпусом извещателя (КИ) являлся каркас из материала АБС-пластик;
6. блок обработки данных (БОД), состоял из одноплатного компьютера Raspberry Pi 3 Model B с установленным ПО PIRPhM viewer.

Принцип обнаружения извещателя был основан на пьезооптическом эффекте, вследствие которого каждый установленный на ЧЭ объект обеспечения безопасности создавал уникальный рисунок поляризации, связанный с распределением массы объекта. Вследствие конструктивных особенностей было возможно изменять размеры компонентов извещателя в зависимости от объекта обеспечения безопасности, а также соединять несколько извещателей в единую систему.

Чертеж общего вида извещателя представлен на рис. 1.

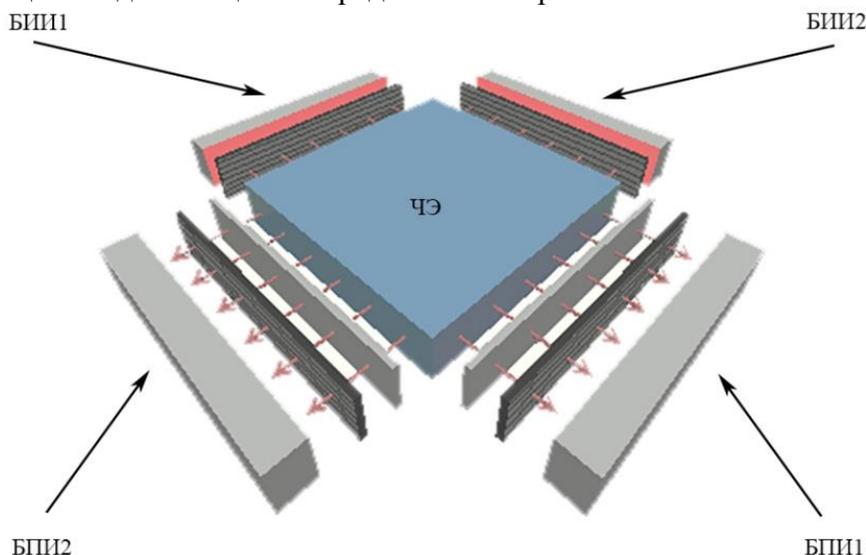


Рис. 1. Чертеж общего вида извещателя

3. Описание алгоритма работы извещателя. Перед началом работы извещателя на ЧЭ устанавливался объект обеспечения безопасности. Основными режимами работы извещателя являлись режим конфигурации и режим рабочий.

В режиме конфигурации, в соответствии с формулой (1), определялись матрицы значений параметров Стокса \mathbf{S}_0^0 и \mathbf{S}_1^0 , задавалось значение чувствительности работы извещателя ΔS :

$$\mathbf{S}_0^0 = \{\overline{S}_0^0 - \Delta S, \overline{S}_0^0 + \Delta S\}, \mathbf{S}_1^0 = \{\overline{S}_1^0 - \Delta S, \overline{S}_1^0 + \Delta S\}, \quad (2)$$

где \overline{S}_0^0 и \overline{S}_1^0 – усредненные значения параметров Стокса, полученные в режиме конфигурации.

В режиме рабочем на первом этапе в соответствии с формулой (1) и учетом заданного значения чувствительности ΔS , определились матрицы значений параметров Стокса \mathbf{S}_0^1 и \mathbf{S}_1^1 :

$$\mathbf{S}_0^1 = \{\overline{S}_0^1 - \Delta S, \overline{S}_0^1 + \Delta S\}, \mathbf{S}_1^1 = \{\overline{S}_1^1 - \Delta S, \overline{S}_1^1 + \Delta S\}, \quad (3)$$

где \overline{S}_0^1 и \overline{S}_1^1 – усредненные значения параметров Стокса, полученные в режиме рабочем.

На втором этапе матрицы \mathbf{S}_0^1 и \mathbf{S}_1^1 сравнивались с матрицами \mathbf{S}_0^0 и \mathbf{S}_1^0 .

В случае если полученные матрицы \mathbf{S}_0^1 и \mathbf{S}_1^1 были меньше установленных пороговых значений \mathbf{S}_0^0 и \mathbf{S}_1^0 :

$$\mathbf{S}_0^1 < \mathbf{S}_0^0 \wedge \mathbf{S}_1^1 < \mathbf{S}_1^0, \quad (4)$$

поступало извещение о нормальной работе.

В противоположном случае:

$$\mathbf{S}_0^1 \geq \mathbf{S}_0^0 \wedge \mathbf{S}_1^1 \geq \mathbf{S}_1^0, \quad (5)$$

поступало извещение о тревоге.

Схема алгоритма работы извещателя представлена на рис. 2.

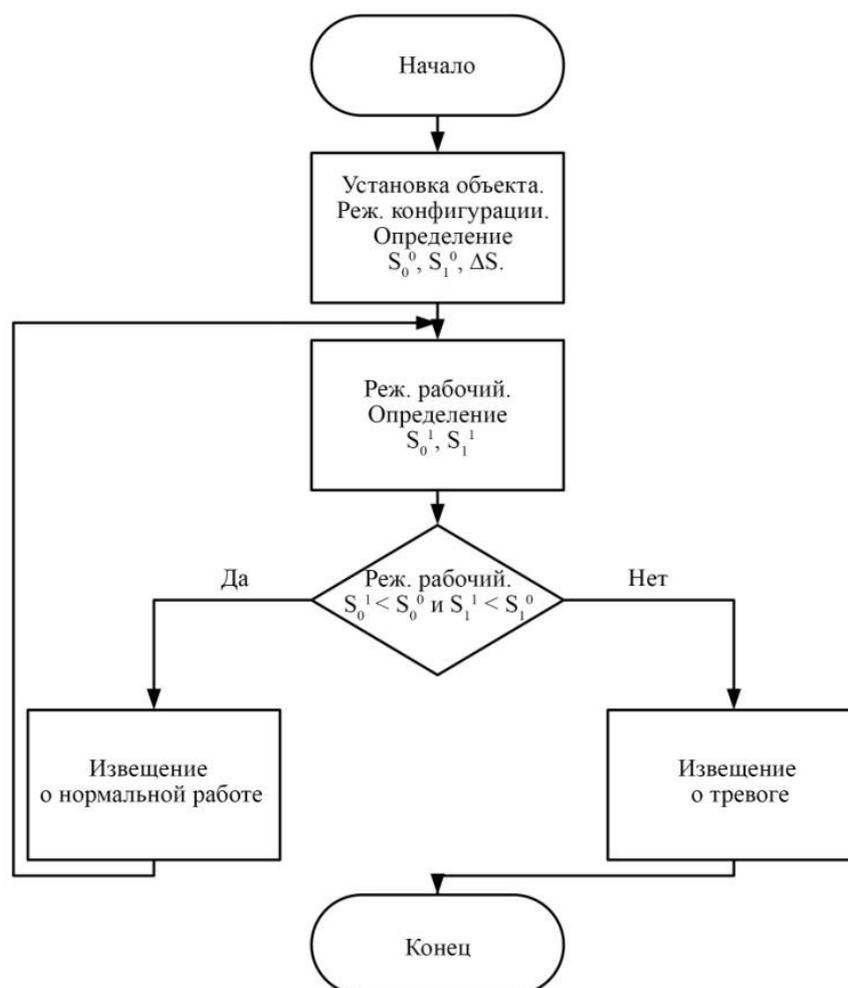


Рис. 2. Схема алгоритма работы извещателя

Заключение. В результате выполнения данной работы была разработана полезная модель извещателя охранного поверхностного поляризационно-оптического. Вследствие пьезооптического эффекта каждый устанавливаемый на чувствительный элемент объект создавал уникальный рисунок поляризации. Вследствие конструктивных особенностей было возможно изменять размеры компонентов извещателя в зависимости от объекта обеспечения безопасности.

В настоящее время ведется разработка улучшенной версии ПО. Также ведется разработка улучшенной модели извещателя.

Коллектив авторов выражает огромную благодарность А.В. Пасяде за большой вклад в проведении данной работы.

Литература

- 1 Волхонский В.В., Малышкин С.Л. Методика анализа эффективности обнаружения нарушителя средствами систем физической защиты // Информ.-упр. системы. – 2015. – № 3. – С. 70–76.
- 2 Зверев В.А., Точилина Т.В. Основы оплотехники: учеб. пособие. – 2-е изд., стер. – СПб.: Университет ИТМО, 2014. – С. 38.
- 3 Квицинский А.Г., Галкин И.Д., Алексеев С.А. Исследование эффекта фотоупругости с помощью визуализационной поляриметрии // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: сб. науч. тр. – 2016. – Т. 1. – С. 273–276.
- 4 Пасяда А.В. Программное обеспечение по техническому зрению и распознаванию образов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teh-zren.ru/programmy.htm>, своб.

**Киевский Павел Валерьевич**

Год рождения: 1990

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В4252

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: giffinandr90@mail.ru

**Фадеев Дмитрий Евгеньевич**

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В4252

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: fadeev_dm@mail.ru

УДК 681.518.3

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ДЛЯ УЧЕТА
ЭНЕРГОРЕСУРСОВ: ХОЛОДНАЯ И ГОРЯЧАЯ ВОДА, ГАЗ, ТЕПЛО
(ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ), ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ****Киевский П.В., Фадеев Д.Е.****Научный руководитель – к.т.н. Сергушев А.Г.**

В работе представлен подход к разработке гетерогенной систем связи на основе технологий Radio Frequency (RF) и Power Line Communication (PLC) для построения автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ). Выбран алгоритм формирования и анализа кадров на физическом уровне технологии PLC, и в среде MathLab реализована модель многолучевого канала PLC с ослаблением и переотражением. Проведены расчеты RF-канала связи гетерогенной системы связи для АСКУЭ. На основе проведенных исследований предположена реализация технических средств связи гетерогенной системы связи для АСКУЭ.

Ключевые слова: автоматизированная система контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ), гетерогенная система связи, PLC/RF-модем.

В соответствии с Федеральным законом «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» ФЗ № 261 от 23.11.2009 подлежат учету следующие потребляемые энергоресурсы: холодная и горячая вода, тепло, электроэнергия, газ. Решение задачи учета потребляемых энергоресурсов подразумевает проводить посредством автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ) [1].

АСКУЭ предполагает установку в промышленных и жилых зданиях общедомовых и индивидуальных приборов учета энергоресурсов с последующим автоматизированным дистанционным съемом с них данных.

На рис. 1 представлена обобщенная типовая структура АСКУЭ промышленных и жилых зданий. В состав АСКУЭ входят: приборы учета энергоресурсов (холодная и горячая вода, тепло (теплоноситель), электроэнергия, газ), устройства сбора и передачи данных с приборов учета энергоресурсов, центра обработки данных, автоматизированных рабочих мест операторов системы (потребителей энергоресурсов).

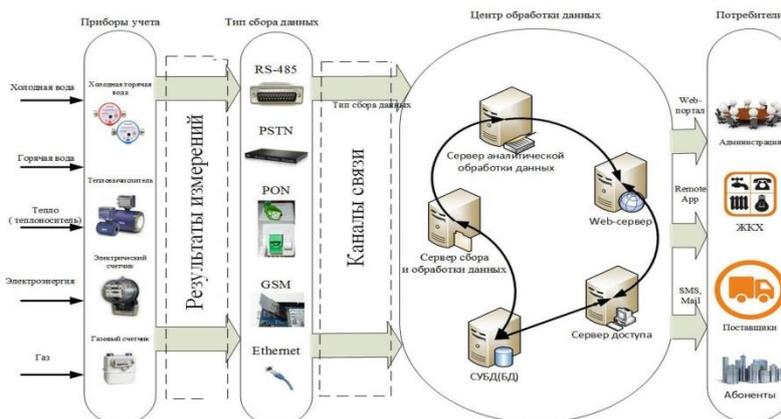


Рис. 1. Обобщенная структура АСКУЭ промышленных и жилых зданий

По сложившейся на сегодняшний день практике АСКУЭ представляет собой специализированный аппаратно-программный комплекс (АПК) и состоит из трех иерархических уровней (рис. 2), между которыми осуществляется взаимодействие с использованием среды передачи данных [2]. АПК АСКУЭ строится при этом на основе устройств сбора и передачи данных (УСПД), осуществляющих сбор данных с приборов учета энергоресурсов промышленных и жилых зданий и передачу данных на верхний уровень иерархии системы.

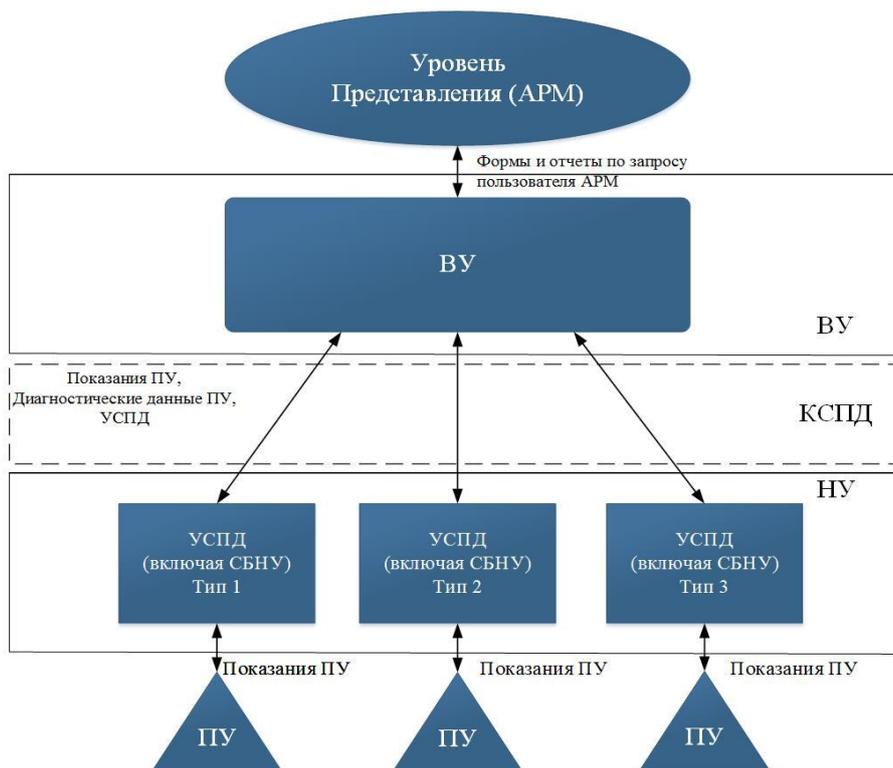


Рис. 2. Архитектура АСКУЭ на основе УСПД: ПУ – прибор учета; ВУ – верхний уровень иерархии; НУ – нижний уровень иерархии; УСПД – устройство сбора и передачи данных; АРМ – автоматизированное рабочее место; СБНУ – сбор данных нижнего уровня; КСПД – комплексная среда передачи данных

Сложившийся подход к построению архитектуры АСКУЭ на основе УСПД (рис. 2) не позволяет строить распределенные системы сбора данных с приборов учета и соответственно не подходит для решения задачи сбора данных с индивидуальных приборов учета энергоресурсов. Авторы предлагают строить АСКУЭ на основе гетерогенной системы связи промышленного или жилого здания (рис. 3).

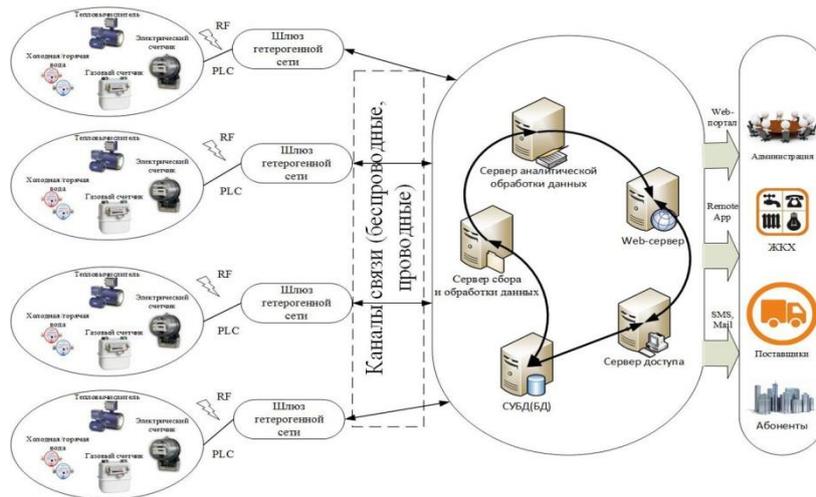


Рис. 3. Архитектура АСКУЭ на основе гетерогенной системы связи

Гетерогенная система связи для АСКУЭ была реализована на основе технологий передачи данных Radio Frequency (RF) и Power Line Communication (PLC).

На рис. 4 представлен алгоритм формирования и анализа кадров на физическом уровне канала PLC.

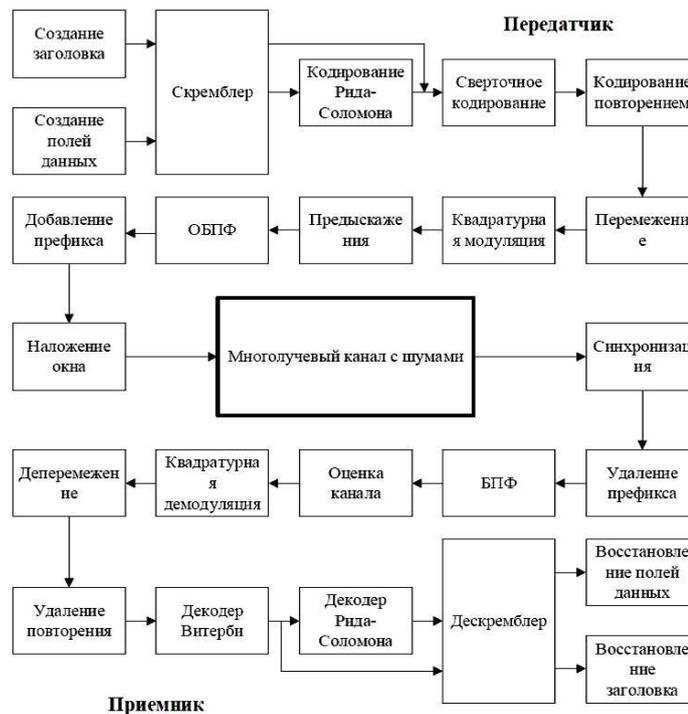


Рис. 4. Схема алгоритма формирования и анализа кадров на физическом уровне

Исходя из выбранного алгоритма формирования и анализа кадров на физическом уровне технологии PLC, в среде MathLab была реализована модель многолучевого канала PLC с учетом ослаблений и переотражений. Были рассчитаны характеристики типов каналов, отличающихся количеством лучей, их длиной и ослаблением.

На рис. 5, а, представлены результаты расчета RF-канала гетерогенной системы связи для АСКУЭ.

По результатам расчета видно, что ослабление радиосигнала в свободном пространстве на расстоянии 10 м составляет 20 дБ, а на расстоянии 40 м – 33 дБ.

На рис. 5, б, представлены оценочные результаты расчета ослабления мощности радиосигнала в помещении для случая, когда расстояние между смежными стенами толщиной 0,5 м составляет 5 м.

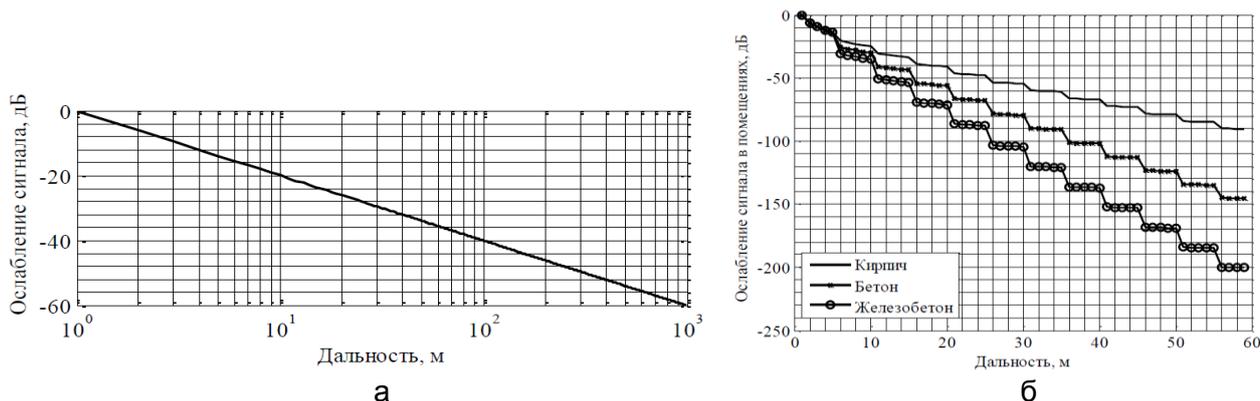


Рис. 5. Результаты расчета RF-канала гетерогенной системы связи для АСКУЭ (а); оценочные результаты расчета ослабления мощности радиосигнала в помещении (б)

В результате выполнения работы были разработаны технические предположения, архитектура и макеты технических средств гетерогенной системы связи для АСКУЭ.

Анализ предложенных технических решений средств гетерогенной системы связи для АСКУЭ, результаты моделирования и расчеты энергетических характеристик канала радиосвязи позволяют сделать вывод о перспективности данного подхода к построению системы связи для АСКУЭ АСКУЭ.

Литература

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями).
2. Еремина М.А. Развитие автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ) // Молодой ученый. – 2015. – № 3. – С. 135–138.



Кириенко Виталий Владимирович

Год рождения: 1992

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4205

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: Erozial2010@yandex.ru

УДК 62

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ОСТАВЛЕННЫХ ПРЕДМЕТОВ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ

Кириенко В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ярышев С.Н.

В работе рассмотрены методы цифровой обработки видеоинформации, позволяющие организовать обнаружение инородных объектов в поле зрения видеокamеры с целью снижения вероятности совершения террористических актов, посредством оставления наполненных взрывчаткой сумок и коробок в местах массового скопления людей. Выбранные методы цифровой обработки видеоинформации частично реализованы в программе MATLAB, с помощью библиотеки Image Processing Toolbox.

Ключевые слова: видеоаналитика, цифровая обработка изображений, цифровая обработка видеоинформации, межкадровая разность, морфологические операции.

Введение. Часто из сводок новостей можно услышать о совершаемых по всему миру террористических актах, при этом это не обязательно вооруженное нападение или захват заложников – достаточно просто оставить сумку, наполненную взрывчаткой в месте массового скопления людей. В соответствии с требованиями к антитеррористической защищенности объектов, во многих местах массового скопления людей установлены системы телевизионного наблюдения, благодаря которым можно заранее обнаружить оставленный предмет. Но стоит учитывать размеры объекта, непосредственно влияющие на количество видеокамер, и что вся поступающая информация обрабатывается оператором. Человеческий фактор (отсутствие мотивации, усталость, монотонность работы и т.п.) значительно снижают эффективность обнаружения оставленных предметов. Цифровая обработка информации увеличивает вероятность обнаружения оставленного предмета оператором, тем самым снижая возможность совершения террористического акта.

Получаемый от видеокамеры сигнал содержит огромное количество информации, которую с помощью цифровой обработки можно извлечь. Раздел цифровой обработки видеoinформации, который позволяет извлечь из видеопотока информацию, относящуюся к изображению в целом или к отдельным его элементам, а также улучшать визуальное восприятие видеопотока, называется видеоаналитикой [1].

Видеоаналитика. В общем случае, видеоаналитику разделяют на четыре этапа [2]:

1. выделение переднего плана объекта;
2. выделение и классификация движущихся объектов;
3. отслеживание траектории движения найденных объектов (трекинг);
4. распознавание и описание действий объектов, представляющих интерес.

Процесс выделения переднего плана заключается в определении границ движущихся и неподвижных объектов. Для решения данной задачи в большинстве случаев применяется метод определения межкадровой разности, который заключается в вычитании из переднего плана заднего, где задний план – это кадр видеопоследовательности, на котором отсутствуют динамические объекты, а передний план – кадр с динамическими объектами [2].

На втором этапе проводится сегментация движущихся объектов посредством описания вокруг них бляба, например, в виде прямоугольника. По размерам прямоугольника определяется, к какому классу относится обнаруженный объект (например, автомобиль, человек или животное).

После обнаружения объекта изучается его направление движения (ведется трекинг объекта). В результате данной операции можно определить скорость и траекторию движения объекта.

Последний этап заключается в распознавании и описании действий объекта. В соответствии с поставленной задачей, результатом данной операции будет выдача оператору сообщения: «Оставлен предмет».

Результаты. В рамках работы, с помощью встроенной в программу MATLAB библиотеки Image Processing Toolbox, был реализован первый этап видеоаналитики – выделение переднего плана (рис. 1 и 2).

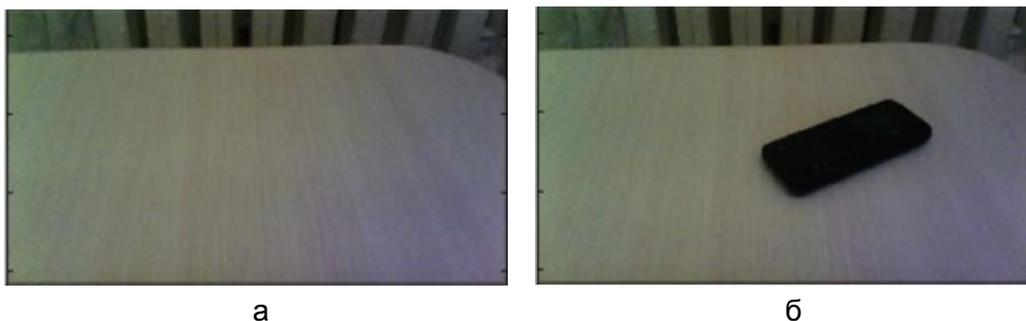


Рис. 1. Результаты операции выделения переднего плана: задний план (а); передний план (б)

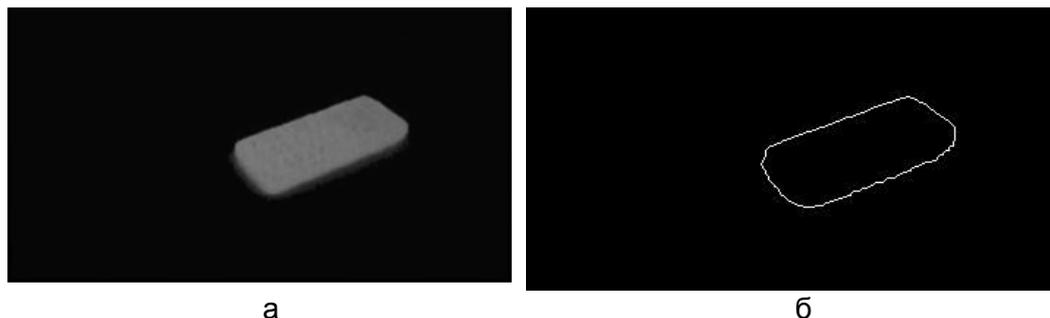


Рис. 2. Результаты операции выделения переднего плана: межкадровая разность (а); контур объекта, полученный в результате морфологических операций (б)

Из видеосигнала получены два кадра – изображения заднего и переднего плана. Посредством межкадровой разницы получено изображение с динамическим объектом, которое в дальнейшем было преобразовано в изображение битового типа и подвергнуто двум морфологическим операциям: эрозии (для избавления от импульсных шумов) и удалению внутренних пикселей объектов [3] (с целью выделения границ объекта).

В дальнейшем планируется организовать процедуру оконтуривания объектов, с целью их классифицирования и осуществления контроля за их перемещениями.

Литература

1. Ярышев С.Н. Цифровые методы обработки видеoinформации и видеоаналитика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://oeps.ifmo.ru/uchebn/UP_Va.pdf, своб.
2. Лукьяница А.А., Шишкин А.Г. Цифровая обработка видеоизображений. – М.: «Ай-Эс-Эс Пресс», 2009. – 518 с.
3. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D и 3D-изображений: учеб. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 608 с.



Климов Александр Александрович

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В3405

Направление подготовки: 12.03.02 – Опотехника

e-mail: klim2495@mail.ru

УДК 531.743

РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ПРОТЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Климов А.А

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. Тимофеев А.Н.

Рассмотрены этапы и особенности разработки системы одновременного контроля угловых и линейных перемещений удаленных объектов на основе оптико-электронной системы ПУЛ-Н с оптической равносигнальной зоной.

Ключевые слова: контроль смещения, зона оптическая равносигнальная, перемещения линейные и угловые, фотоприемник матричный.

В рамках аналитического обзора оптико-электронных систем контроля формы поверхности протяженных конструкций, определено, что в настоящий момент в классе приборов и систем контроля формы поверхности не представлены образцы, способные к

одновременному отслеживанию линейного и углового смещения объекта. Из чего сделан вывод об актуальности разработки системы контроля формы поверхности с использованием оптической равносигнальной зоны [1] и матричного фотоприемника [2], обладающей выше представленным преимуществом.

Важным для дальнейшего синтеза системы и составления конструкторской документации является разработка полной структурной схемы прибора. Для рассматриваемой системы основной особенностью является дополнительный оптический канал синхронизации, позволяющий перейти на беспроводное управление, а также использование матричного фотоприемника (входящего в состав видеокамеры) вместо фотодиодов, что в сумме позволяет управлять системой через компьютер. Все эти особенности отражены на структурной схеме (рис. 1).

Предлагаемая структурная схема состоит из канала формирователя базового направления (КФБН), приемника (ПрК), блока управления (БУ) и двух блоков питания (БП) и (БП1).

КФБН содержит два полупроводниковых излучающих диода (ПИД1 и ПИД2), разделительную призму (РП), объектив КФБН (ОБ1), объектив дополнительного оптического канала синхронизации (ДОКС) (ОБ4) и формирователь модулированного импульса.

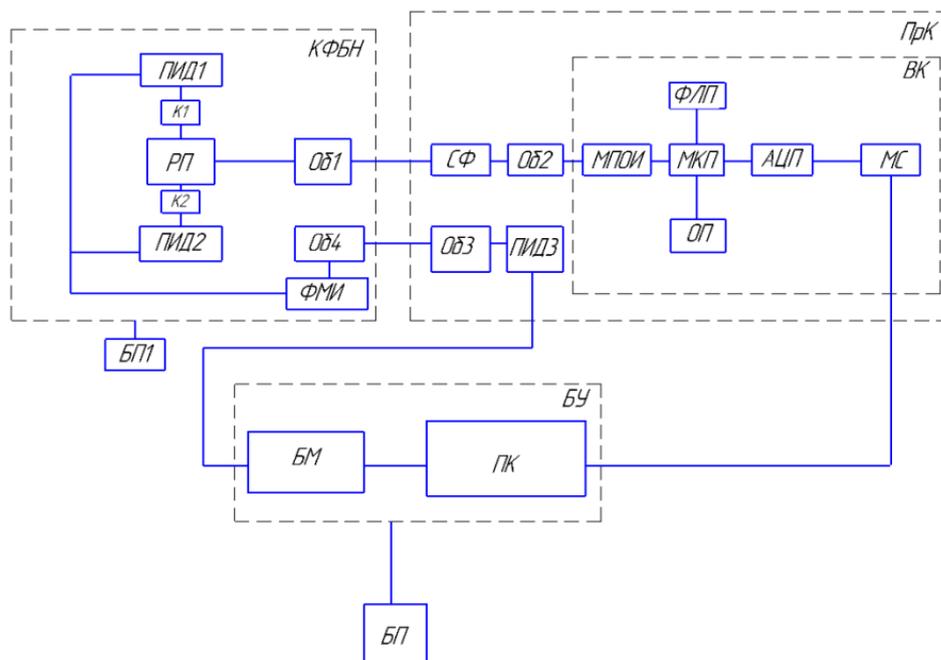


Рис. 1. Структурная схема системы контроля формы поверхности протяженных конструкций

Приемник (ПрК) содержит светофильтр (СФ), объектив приемника (ПрК), объектив передающей части ДОКС (ОБ3), источник излучения для ДОКС (ПИД3) и видеокамеру (ВК), которая содержит: матричный приемник оптического излучения (МПОИ), микропроцессор (МКП), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), оперативную память процессора (ОП), модуль сопряжения (МС) и формирователь линейных преобразований (ФЛП).

Блока управления (БУ) содержит блок модуляции (БМ) и промышленный компьютер (ПК).

После выбора источников излучения и МПОИ, был проведен габаритно-энергетический расчет системы, где были использованы известные законы и правила геометрической оптики [3] и расчета энергетических величин системы [4].

В результате расчета были получены: диаметры зрачков, фокусные расстояния объективов приемника и канала формирования базового направления: $D_{\text{ПрК}} = 3 \text{ мм}$,

$f_{\text{ПрК}} = 11 \text{ мм}$, $D_{\text{КФБН}} = 49 \text{ мм}$, $f_{\text{КФБН}} = 69 \text{ мм}$, и диаметры зрачков и фокусных расстояний объективов ДОКС: $D_{\text{ПДК}} = 11 \text{ мм}$, $D_{\text{ПЕР}} = 5,68 \text{ мм} \approx 6 \text{ мм}$, $f_{\text{ПДК}} = 38 \text{ мм}$, $f_{\text{ПЕР}} = 11 \text{ мм}$.

С учетом результатов габаритно-энергетического расчета была выполнена разработка оптической схемы системы с ДОКС (рис. 2). На схеме представлены оптические элементы канала формирования базового направления (элементы 1–4), объективы основного и дополнительного каналов (элементы 5–7 и 13–14) и объективы приемников оптического излучения для основного и дополнительного каналов (элементы 8, 9 и 10–12), а также плоскости установки приемников отеческого излучения, и источников излучения системы.

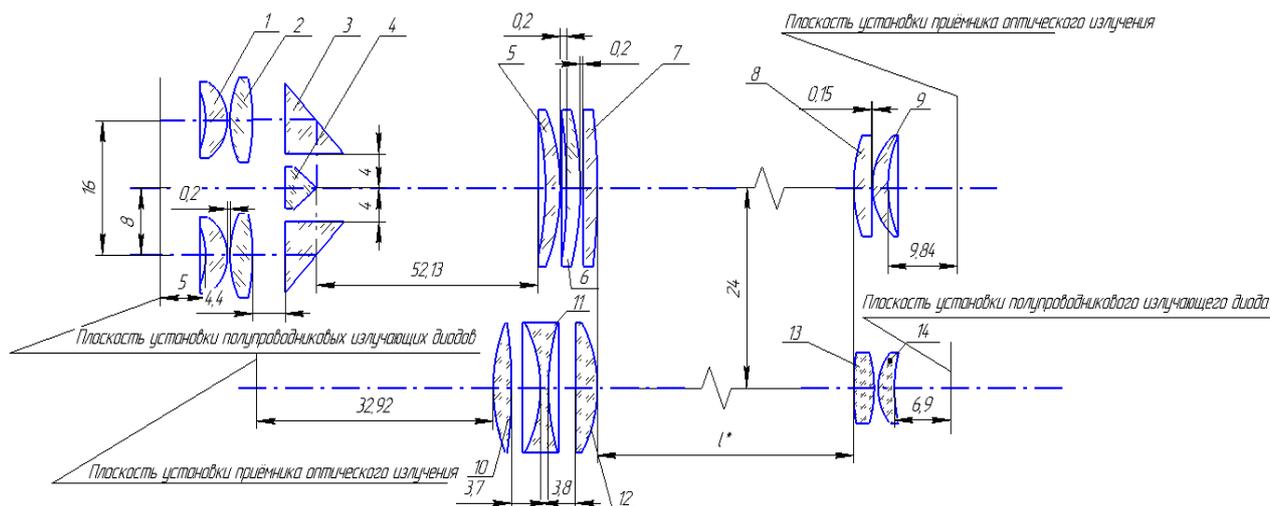


Рис. 2. Оптическая схема системы контроля формы поверхности протяженных конструкций

Разработанная электрическая схема для управления и модуляции излучения диода ДОКС включает в себя микроконтроллер, схему питания, интерфейс для соединения микроконтроллера с внешним питанием и схемой программирования, а также внутренним усилителем, для подачи питания на диод (рис. 3).

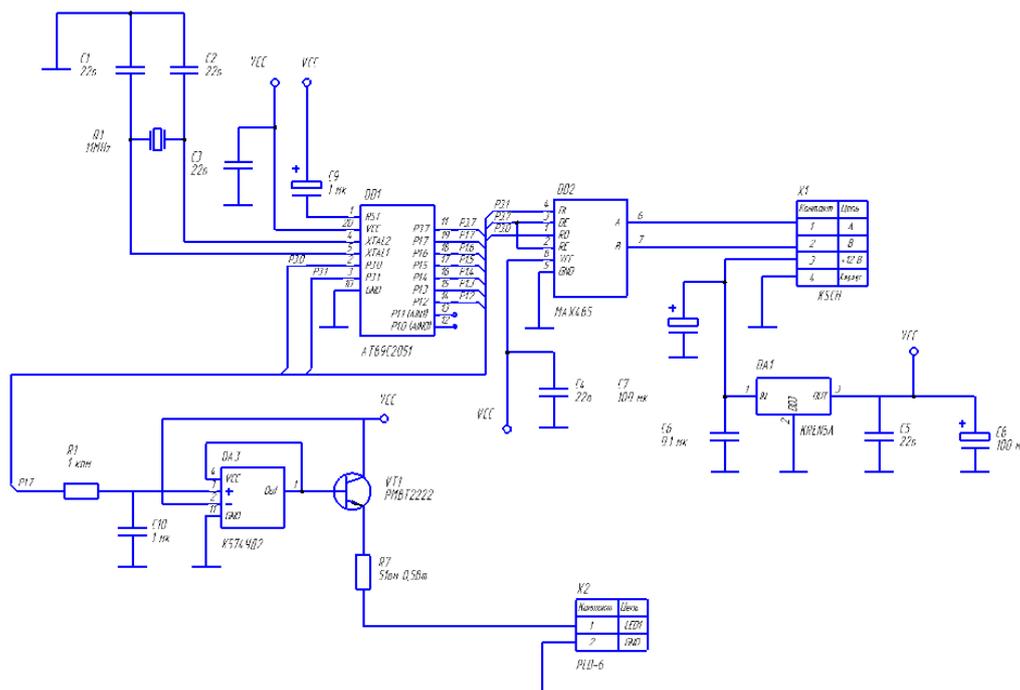


Рис. 3. Электрическая схема платы управления излучением диода дополнительного оптического канала синхронизации

После завершения этапа проектировки электрической схемы были собраны все необходимые данные для разработки сборочного чертежа приемного блока опико-электронной системы контроля формы поверхности протяженных конструкций, где были совмещены приемник основного канала (элементы 3–10) и источник излучения ДОКС (элементы 12–28), а также внесена плата управления излучающим диодом ДОКС (1) (рис. 4).

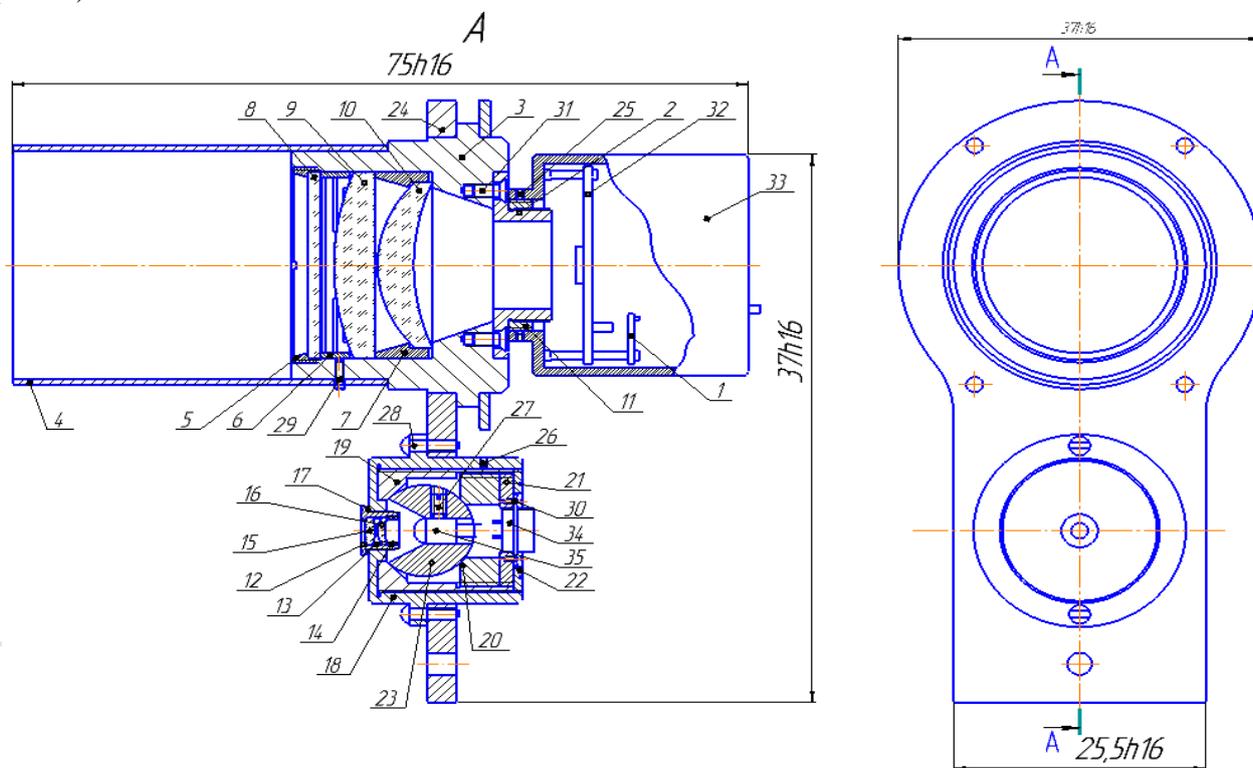


Рис. 4. Приемник оптического излучения разрабатываемой системы

Особенностью конструкции источника излучения канала ДОКС является использование для крепления излучающего диода сферы, такое крепление максимально облегчает юстировку источника по направлению, что позволяет уменьшить погрешность от неравномерности излучения диода. Второй особенностью конструкции приемного блока является закрепление платы управления диода ДОКС в корпусе видеокамеры, что позволяет увеличить компактность блока.

В дальнейшем планируется проводить исследования погрешностей системы, учитывать влияние не исключенных систематических погрешностей, компенсировать влияние внешних факторов, а также совершенствовать конструкцию и программные алгоритмы управления источниками и приемниками системы.

Литература

1. Кортаев В.В., Мараев А.А., Тимофеев А.Н. Телеориентирование в луче с оптической равносигнальной зоной. Монография. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 326 с.
2. Gusarov V.F., Maraev A.A., Timofeev A.N., Klimov A.A. Influence of array photo-detectors characteristics on the accuracy of the optical-electronic system with optical equisignal zone // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 9896. – P. 989615-1–989615-11.
3. Родионов С.А. Основы оптики. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2000. – 167 с.
4. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет опико-электронных приборов. – М.: Логос, 2011. – 568 с.



Коваль Владислав Вячеславович

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В4116

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: kovalvlad@yandex.ru



Заколдаев Роман Алексеевич

Год рождения: 1992

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, аспирант

Направление подготовки: 11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи

e-mail: zakoldaev@gmail.com



Сергеев Максим Михайлович

Год рождения: 1989

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, к.т.н., ассистент

e-mail: siriusmaks@gmail.com

УДК 544.537:535.417:53.06

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ СХЕМЫ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СУБМИКРОННЫХ СТРУКТУР**

Коваль В.В., Заколдаев Р.А., Сергеев М.М.

Научный руководитель – к.т.н., ассистент Сергеев М.М.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, соглашение № 14.587.21.0037.

В работе представлена обработка тонких металлических пленок в схеме многолучевой интерференции лазерных пучков с использованием дифракционных оптических элементов, изготовленных методом лазерно-индуцированной микроплазмы. В результате были сформированы одномерные структуры с периодом ~ 470 нм на поверхности тонкой ($h \sim 100$ нм) металлической пленки.

Ключевые слова: интерференция, микрообработка, дифракционные оптические элементы, металлические пленки, субмикронные структуры.

В лазерной микрообработке материалов активно используются методы, основанные на регистрации интерференционной картины нескольких пучков в плоскости обработки. Микрообработка, основанная на интерференции нескольких лазерных пучков, позволяет формировать как одномерные, так двух- и трехмерные структуры субмикронного размера [1].

Дифракционные оптические элементы (ДОЭ) способны осуществлять расщепление исходного светового пучка на несколько, а интенсивность каждого из которых может быть заранее рассчитана. В частности, для фазовых ДОЭ свойственны высокая дифракционная эффективность и низкие оптические потери, что делает их крайне перспективными в

подобных схемах. Частным случаем ДОО является фазовая решетка (ФР), представляющая собой одномерный периодический микрорельеф поверхности материала прозрачного для падающего излучения.

Целью работы являлось формирование субмикронных структур на поверхности металлических пленок с использованием ФР, изготовленной методом обработки стекла лазерно-индуцированной микроплазмой (ЛИМП), в многолучевой интерференционной схеме. Подробнее технология изготовления и характеристика используемых ФР рассмотрена в работах [2, 3].

Методом ЛИМП была изготовлена ФР с синусоидальным профилем (рисунок, а) на плавленом кварце со следующими характеристиками: период $p=100$ мкм, дифракционная эффективность ± 1 порядка 58% для длины волны 355 нм. Формирование интерференционной картины осуществлялось в конфокальной схеме (рисунок, б). Лазерный пучок 1 диаметром 1 мм ($\lambda=355$ нм, $\tau=25$ пс), проходя через ФР 2 и линзу 3, расщеплялся на несколько порядков равной интенсивности. Пространственный фильтр 4 отсекал нулевой и высшие порядки меньшей интенсивности. Далее прошедшие пучки сводились в фокальной плоскости микрообъектива 5, где формировалось поле интерференционной картины, и находилась структурируемая тонкая пленка меди 6.

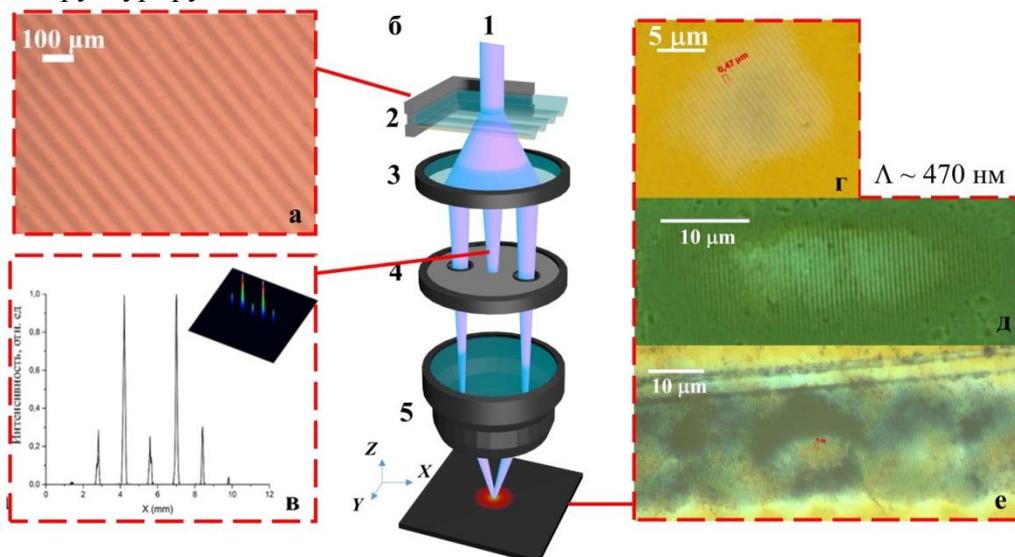


Рисунок. Фотография используемой решетки (а); интерференционная схема микрообработки (б); формируемое распределение интенсивности (в); результат обработки тонкой пленки одиночным импульсом (г) и с использованием координатного стола (д, е)

Период и шаблон формируемых структур определяется конфигурацией интерференционного поля и зависит от количества интерферирующих пучков, их пространственного расположения, фазы, длины волны излучения λ и угла θ между падающими пучками и оптической осью схемы. При двухлучевой интерференции в плоскости обработки формируется система полос, период которой определяется следующим выражением [4]:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}.$$

Период формируемых структур в рассматриваемой схеме ограничен числовой апертурой фокусирующего микрообъектива 5. С ее увеличением уменьшается период формируемых структур за счет увеличения угла между пучками, но в то же время уменьшается общее поле обработки. С учетом указанной конфигурации используемой схемы возможно формировать структуры с периодом ~ 470 нм с полем обработки размером ~ 15 мкм (рисунок, г).

Одним из способов увеличения поля обработки является использование мультиплексирования пятен обработки при перемещении образца относительно лазерного

пучка. В настоящей работе был использован координатный стол. Формирование большого поля осуществлялось дискретным перемещением координатного стола после формирования интерференционной картины от одного лазерного импульса. На рисунке, д, е, показан результат микрообработки со сканированием в режиме модификации ($E \sim 10$ мкДж) и абляции ($E \sim 30$ мкДж) соответственно. Следует отметить, что качество и равномерность заполнения поля зависит от исходного лазерного пучка и стабильности лазера.

Таким образом, в работе представлен один из вариантов применения ДОО, изготовленных методом ЛИМП и используемых в качестве расщепителя пучка в схемах лазерной микрообработки. В результате обработки тонких металлических пленок в интерференционной схеме получены одномерные периодические структуры с периодом ~ 470 нм. Для увеличения поля обработки опробовано применение координатного стола.

Литература

1. Kondo T., Matsuo S., Juodkazis S., Mizeikis V., Misawa H. Multiphoton fabrication of periodic structures by multibeam interference of femtosecond pulses // Applied Physics Letters. – 2003. – V. 82. – № 17. – P. 2758–2760.
2. Kostyuk G.K., Zakoldaev R.A., Koval V.V., Sergeev M.M., Rymkevich V.S. Laser microplasma as a tool to fabricate phase grating applied for laser beam splitting // Optics and Lasers in Engineering. – 2017. – V. 92. – P. 63–69.
3. Kostyuk G., Sergeev M., Zakoldaev R., Yakovlev E. Fast microstructuring of silica glasses surface by NIR laser radiation // Optics and Lasers in Engineering. – 2015. – V. 68. – P. 16–24.
4. Srikanth G. Measurement of period of interference patterns with sub-micron period // Optics & Laser Technology. – 2007. – V. 39. – № 5. – P. 918–921.



Кожина Анастасия Дмитриевна

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В3400

Направление подготовки: 12.03.02 – Оптехника

e-mail: crensta@mail.ru



Толстоба Надежда Дмитриевна

Год рождения: 1975

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., доцент

e-mail: nadinet@mail.ru

УДК 535.313, 681.7

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА АСФЕРИЧЕСКИЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Кожина А.Д., Толстоба Н.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Толстоба Н.Д.

В работе выполнено исследование необходимых характеристик для создания чертежей на асферическую оптику. Разработан алгоритм работы пользователя с пакетом программ, который будет

выпускать конструкторскую документацию в соответствии с выбранным пользователем стандартом. Определены предстоящие задачи.

Ключевые слова: автоматизация, асферические поверхности, конструкторская документация, асферичность, эксцентриситет, САЕ-системы, системы автоматизированного проектирования, ОПАЛ, САРО, ZEMAX.

Асферические поверхности широко применяются в различных оптических системах, прежде всего, из-за больших возможностей аберрационной коррекции, которые они предоставляют. Инженеры, занимающиеся проектированием асферической оптики, так или иначе, сталкивались с проблемой разрозненности в данных, взятых из разных программ расчета оптики (САЕ-систем). Обработка данных затрудняется, приводит к увеличению затрат времени и трудностям при создании конструкторской документации (КД) на асферическую оптику.

Цель работы заключалась в разработке пакета программ для построения чертежей оптических элементов с асферическими поверхностями в среде САПР. Кроме того, предстояло выполнить две методические задачи:

- описание методики работы с асферическими поверхностями в разных средах САЕ;
- описание нормативных требований для оформления КД в случаях работы с поверхностями высшего порядка.

Проанализировано представление асферических поверхностей в различных САЕ-системах.

В таких программах как САРО и ОПАЛ одним из способов задания асферических поверхностей являются коэффициенты уравнения в системе координат, связанной с вершиной поверхности [1]:

$$u = c_1 z - c_2 z^2 + c_3 z^3 + \dots, \quad (1)$$

где $u = x^2 + y^2$, коэффициент c_1 в данном уравнении связан с радиусом кривизны r_0 при вершине поверхности: $c_1 = 2r_0$, коэффициент c_2 – с эксцентриситетом e образующей кривой порядка: $c_2 = (1 - e^2)$.

В программе ZEMAX используются уравнения данного вида [1]:

$$z = \frac{u \cdot p_0}{1 + \sqrt{1 - u \cdot p_0^2 \cdot (1 - e^2)}} + b_1 u^2 + b_2 u^4 + \dots, \quad (2)$$

здесь $p_0 = 1/r_0$ – кривизна поверхности при вершине.

Проанализировав параметры асферических поверхностей, были выделены несколько из них, наиболее важные для выполнения КД на асферическую оптику.

Асферические поверхности образованы вращением плоской кривой относительно оси OZ (рис. 1). В зависимости от вида этой кривой образуется сфера, осесимметричные эллипсоид, сплюснутый сфероид (при вращении эллипса вокруг малой оси), параболоид или гиперболоид (при вращении одной ветви гиперболы вокруг ее оси симметрии) [2].

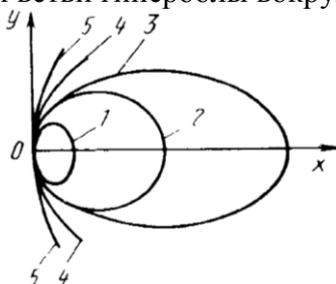


Рис. 1. Меридиональные кривые асферических поверхностей 2-го порядка: 1 – сплюснутый эллипс; 2 – окружность; 3 – эллипс; 4 – парабола; 5 – гипербола

«Вершинная» (A_1 в мм) асферичность – наибольшее отступление данной асферической поверхности от соприкасающейся с ней в ее вершине сферы, радиус которой равен радиусу кривизны асферической поверхности в ее вершине (рис. 2). «Вершинная» и другие

асферичности измеряются по радиальному направлению «вершинной» или другой сферы в зоне светового диаметра детали [3].

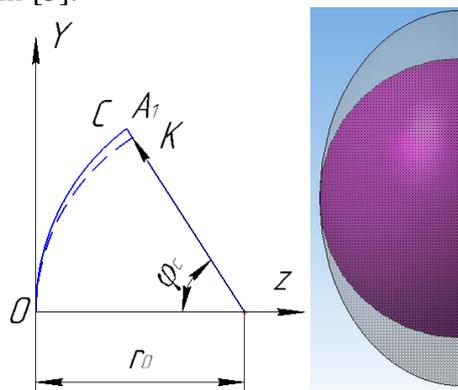


Рис. 2. Технологические показатели сплошной асферической поверхности:
 A_1 – «вершинная» асферичность; φ_c – крутизна; r_0 – радиус кривизны в вершине поверхности; OC – образующая асферической поверхности;
 OK – образующая сферической поверхности

Для кольцевых и внеосевых деталей вместо «вершинной» асферичности вычисляется «сагиттальная» асферичность (A_2 в мм) – это наибольшее отступление данной асферической поверхности от соприкасающейся с ней в зоне меньшего светового диаметра сферы (рис. 3), радиус которой равен сагиттальному радиусу кривизны асферической поверхности в указанной зоне [3].

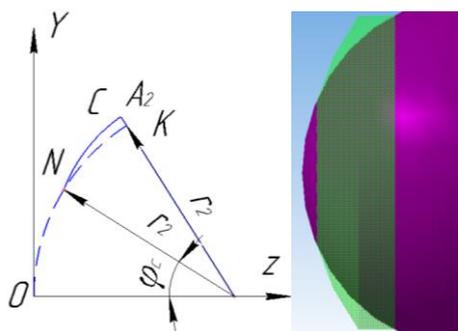


Рис. 3. Технологические показатели асферической поверхности с отверстием:
 A_2 – «сагиттальная» асферичность; r_2 – сагиттальный радиус кривизны для края отверстия;
 φ_e – крутизна в зоне N ; ONC – образующая асферической поверхности; NK – образующая «сагиттальной» сферы

Асферичность относительно ближайшей сферы для сплошных поверхностей – «трехточечная» асферичность (в мм) – это отступление асферической поверхности от сферы, проходящей через ее вершину и зону светового диаметра [3].

Асферичность относительно ближайшей сферы для кольцевых и внеосевых деталей – «четырёхточечная» асферичность (в мм) – это отступление от сферы, проходящей через зоны внутреннего и внешнего световых диаметров [3] (рис. 4).

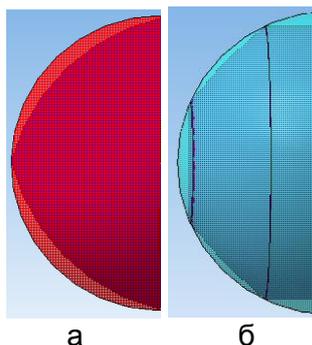


Рис. 4. «Трехточечная» (а) и «четырёхточечная» (б) асферичность

Эти и другие параметры необходимо учитывать при построении КД и верным образом работать со средой САЕ для получения всех необходимых данных.

Разработан следующий алгоритм работы пакета программ.

- Выбирается САЕ-среда, в которой задана оптическая система с использованием асферических поверхностей.
- Предлагается информация для поиска необходимых на чертеже параметров асферической поверхности.
- Вводятся параметры в диалоговое окно пакета программ.
- Выбирается стандарт представления чертежа (ГОСТ/ISO).
- Выводится КД по заданным параметрам в соответствии с нормативными документами и требованиями.

На данном этапе работы были исследованы особенности представления асферических поверхностей в различных САЕ-системах, рассмотрены характеристики асферических поверхностей и разработан алгоритм работы с пакетом программы.

По данной работе планируется изучение представления информации об асферических поверхностях в различных средах расчета оптики, разработка прототипов чертежей в соответствии с нормативами, и реализация программы в среде САПР.

Литература

1. Иванова Т.В., Романова Г.Э., Жукова Т.И. и др. Аппроксимация несферических поверхностей при автоматизированном проектировании оптических систем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/312985018_approximacia_nesfericeskih_poverhnost_ej_pri_avtomatizirovannom_proektirovanii_opticeskih_sistem, своб.
2. Пуряев Д.Т. Методы контроля оптических асферических поверхностей. – М.: Машиностроение, 1976. – 262 с.
3. Романова Г.Э., Бахолдин А.В., Цуканова Г.И. Электронный практикум №2. Расчет технологических показателей асферического зеркала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://open.ifmo.ru/images/7/79/87731_el_pr_2.pdf, своб.



Колотинюк Евгения Евгеньевна

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4206

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: julea_kolotiniuk@mail.ru

УДК 533.317.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАЩИТНЫХ СТЕКОЛ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ЛЕЙКОСАПФИРА

Колотинюк Е.Е. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.т.н., профессор Коротаев В.В. (Университет ИТМО)

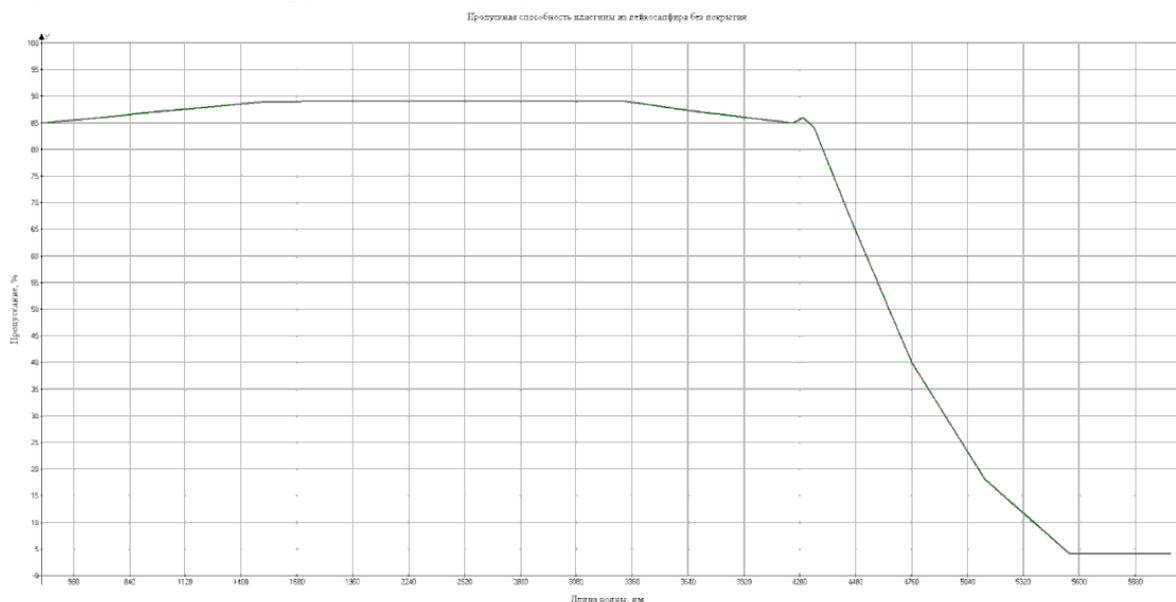
Научный консультант – гл. оптик Сеник Б.Н.
(ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»)

Монокристаллический сапфир (оптический лейкосапфир) обладает уникальной комбинацией превосходных оптических, физических и химических свойств. Лейкосапфир благодаря своим физико-

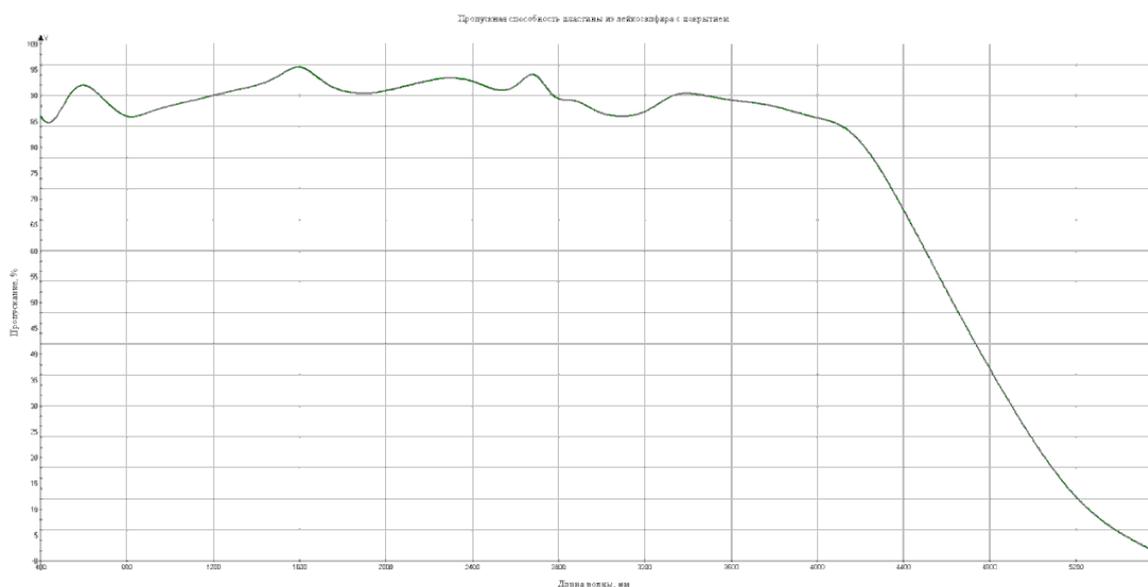
механическим и химическим свойствам находит широкое применение в разных сферах. В работе проведен обзор основных этапов обработки лейкосапфира. Исследовано влияния обработки поверхности лейкосапфира и качества нанесения просветляющего покрытия на коэффициент пропускания.

Ключевые слова: лейкосапфир, монокристалл корунда, покрытие, коэффициент пропускания.

Лейкосапфир – бесцветный синтетический монокристалл корунда, содержащий 0,0001% примесей. Самый твердый из оксидов, он обладает превосходной комбинацией оптических, физических и химических свойств [1]. Лейкосапфир отличается уникальным сочетанием широкого диапазона пропускания – от ультрафиолетовой области до инфракрасной части спектра – и высоким коэффициентом пропускания [2].



а



б

Рисунок. Спектр пропускания образца с покрытием (а) и без покрытия (б)

Просветление поверхностей элементов оптических систем используется по двум причинам. Во-первых, для уменьшения потерь интенсивности падающего излучения на отражение, т.е. увеличения пропускной способности оптического элемента. Это особенно актуально сейчас при разработке различных фотоприемных устройств, в частности, солнечных элементов [3]. Во-вторых, если на плоскость изображения попадает свет,

претерпевший многократные отражения от поверхностей элементов (так называемые «блики»), то это приводит к уменьшению контраста и четкости изображения [4].

Измерения коэффициента пропускания были выполнены с помощью прибора спектрофотометра двулучевого инфракрасного ИКС-29 [5].

Спектр пропускания образца с покрытием и без покрытия в диапазоне 0,4–5,5 мкм представлены на рисунке.

Рассмотрены основные этапы обработки лейкосапфира: резка, шлифовка, полировка.

По результатам измерения получены следующие значения: коэффициент пропускания пластины из лейкосапфира без покрытия равен 76%, коэффициент пропускания пластины из лейкосапфира с просветляющим покрытием фтористого магния – 83%.

Для обеспечения предельных светотехнических параметров образцов необходимо усовершенствовать методы обработки поверхности лейкосапфира и повысить качество нанесения просветляющего покрытия.

Литература

1. Воронкова Е.М., Гречушников Б.Н., Дистлер Г.И., Петров И.П. Оптические материалы для инфракрасной техники. – М.: Наука, 1965. – 236 с.
2. Путилин Ю.М., Беляков Ю.А., Голенко В и др. Синтез материалов в 2-х томах. Т. 2. – М.: Недра, 1987. – 256 с.
3. Электростекло [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elektrosteklo.ru/>, своб.
4. Альтшуллер В., Герасимов С., Грималюк М. Алмазный инструмент для шлифования оптических деталей из лейкосапфира // Научно-технический и гуманитарный сборник МАК (РОМАК). – 2009. – С. 40–42.
5. Соловьев В.В. Повышение эффективности прецизионной обработки заготовок из лейкосапфира: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07. – Брянск, 2012. – 168 с.



Конева Татьяна Александровна

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4102

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: takoneva@bk.ru



Романова Галина Эдуардовна

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., доцент

e-mail: romanova_g_e@mail.ru

УДК 535.317

АНАЛИЗ СХЕМ И ОСОБЕННОСТЕЙ ОЧКОВ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Конева Т.А., Романова Г.Э.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Романова Г.Э.

В работе рассмотрены и проанализированы возможные варианты оптических систем очков виртуальной реальности, работающих со смартфоном. Выполнен габаритный расчет системы и выбрана принципиальная схема.

Ключевые слова: виртуальная реальность, очки виртуальной реальности, габаритный расчет.

Системы виртуальной реальности находят широкое применение в различных областях, таких как медицина и образование, военные тренировки, видеоигры и развлечения [1]. Существующие аналоги не всегда имеют оптимальные габаритные и экономические характеристики, а также высокое качество изображения. В этой связи представляет интерес задача разработки и анализа возможностей оптических систем для очков виртуальной реальности, работающих со смартфоном.

В качестве примера, для которого выполнялся расчет и поиск оптимальной оптической системы, был выбран смартфон Doogee с размерами экрана 62×110 мм, разрешением экрана 720×1280 pix. Диагональ экрана (половина размера изображения) $2y' = 126,27$ мм. Размер одного элемента (пикселя) экрана $\text{pix} = 0,086 \times 0,086$ мм. Расчет системы выполнялся для диаметра зрачка $D = 6$ мм.

Фокусное расстояние оптической системы связано с угловым полем оптической системы и размером экрана смартфона, для которого она предназначена:

$$f' = \frac{y'}{\text{tg}w}.$$

С другой стороны, при данном размере зрачка величина фокусного расстояния определяет диафрагменное число системы, которое в дальнейшем определит сложность оптической схемы:

$$k = \frac{f'}{D}.$$

Кроме того, фокусное расстояние системы определяет, будет ли пользователь системы различать пиксельную структуру изображения. Этот факт проверяется с помощью расчета углового размера пикселя для наблюдателя в пространстве глаза:

$$\psi = \frac{\text{pix}}{f'}.$$

Результаты габаритного расчета по приведенным формулам для различных значений углового поля приведены в таблице. Для смартфонов Samsung, iPhone со схожими характеристиками экрана результаты будут близкими к приведенным в таблице.

Таблица. Результаты габаритного расчета

w , град	f' , мм	k	ψ , мин
10	235,02	39,17	1,22
20	113,85	18,98	2,512
30	71,78	11,96	3,99
40	49,39	8,23	5,80
50	34,77	5,8	8,24
60	23,93	3,99	11,98
70	15,08	2,51	19,01
80	7,31	1,22	39,23

В результате габаритного расчета с учетом характеристик экранов смартфонов и габаритных ограничений для дальнейшего синтеза выбраны характеристики: фокусное расстояние $f' = 70$ мм, угловое поле в пространстве предметов $w = 30^\circ$.

Самой простой из возможных схем является одиночная линза с одной асферической поверхностью, приведенная на рис. 1, а в обратном ходе лучей. Для оценки качества изображения использовался коэффициент передачи контраста на частоте Найквиста, соответствующей характеристикам экрана смартфона (5,8 лин/мм).

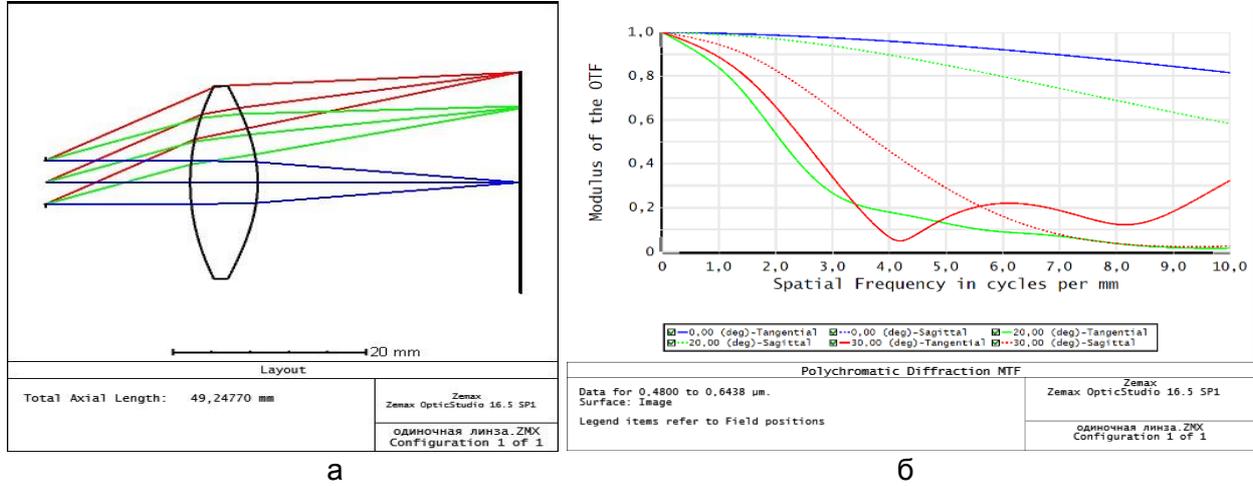


Рис. 1. Одиночная линза с асферической поверхностью (а); частотно-контрастная характеристика (ЧКХ) одиночной линзы (б)

Даже при использовании асферической поверхности качество изображения такой системы на краю поля является невысоким (рис. 1, б), поэтому были рассмотрены более сложные конструкции.

Так как рассматриваемая система по своему типу представляет собой окуляр, были рассмотрены некоторые известные конструкции окуляров [2, 3]. Прямой пересчет на необходимые характеристики не позволяет получить необходимое качество изображения, кроме того, вес и габариты систем получаются недопустимо большими. По этой причине известные схемы требуют пересчета и оптимизации с учетом дополнительных, прежде всего, габаритных, требований.

Одна из рассмотренных схем – система на базе симметричного окуляра (рис. 2, а). Данная система пересчитана на выбранные значения углового поля и фокусного расстояния и оптимизирована с целью улучшения качества и сокращения габаритов.

По сравнению с одиночной линзой у симметричного окуляра чуть выше качество в центре и на краю поля в одном из сечений (рис. 2, б). Длина системы – 124 мм, вес – 230 г.

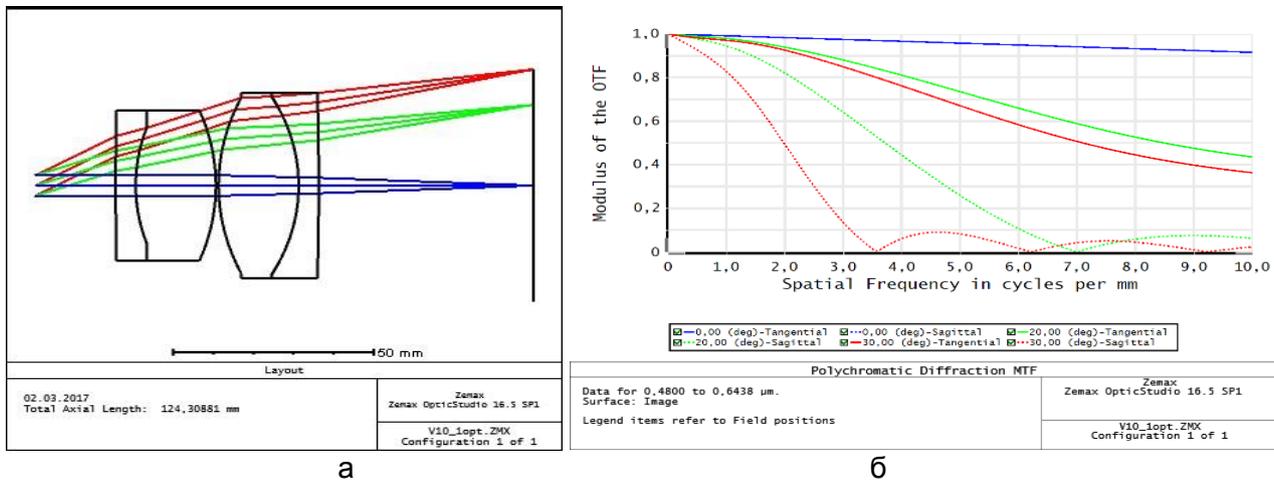


Рис. 2. Симметричный окуляр (а); ЧКХ симметричного окуляра (б)

В результате поиска оптимальной оптической схемы была рассчитана схема с отрицательными компонентами (рис. 3, а) с фокусным расстоянием $f' = 70$ мм, угловым полем

в пространстве предметов $2\omega=60^\circ$. Она позволяет добиться более высокого качества на частоте Найквиста (рис. 3, б) и сокращения длины до 96 мм.

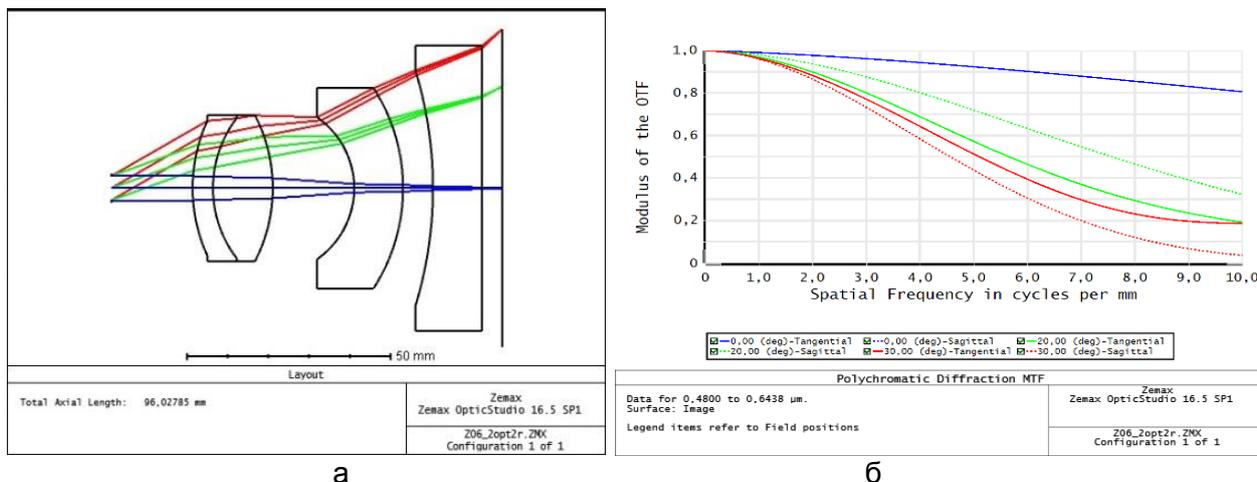


Рис. 3. Схема (а) и ЧКХ (б) с отрицательными компонентами, вариант 1

Тем не менее, при использовании стандартного набора стекол недостатком такой системы является вес, который составляет 500 г, что неприемлемо для нашей задачи.

Оптимальной из рассмотренных систем является еще одна схема с отрицательным компонентом с фокусным расстоянием $f'=70$ мм, угловым полем в пространстве предметов $2\omega=60^\circ$ (рис. 4, а). Путем оптимизации системы удалось добиться отличного качества на частоте Найквиста (рис. 4, б) и сокращения габаритов системы до 79 мм. Вес системы – 82 г.

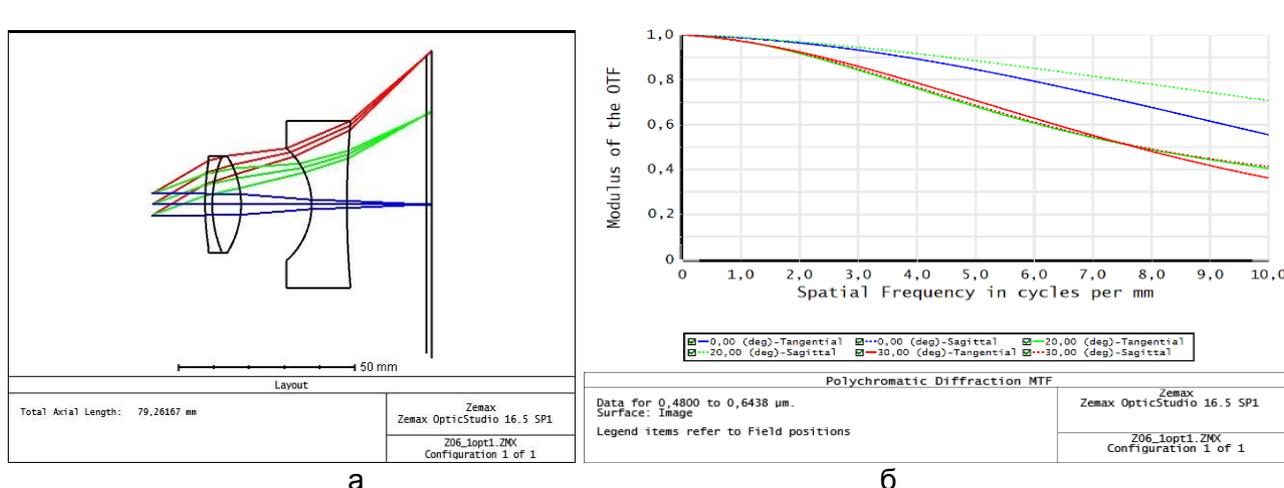


Рис. 4. Схема (а) и ЧКХ (б) с отрицательными компонентами, вариант 2

В системе используются сферические поверхности и стандартные оптические стекла. Система может служить стартовой точкой для дальнейшей оптимизации – сокращения габаритов и веса путем подбора других стекол, частичной или полной замены стекол на пластик.

Литература

1. 9 сфер применения виртуальной реальности: размеры рынка и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/p/vr-use>, своб.
2. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 274 с.
3. Запрягаева Л.А., Свешникова И.С. Расчет и проектирование оптических систем. Учебник для вузов. – М.: Логос, 2000. – 584 с.

**Королёв Тимофей Константинович**

Год рождения: 1996

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В3405

Направление подготовки: 12.03.02 – Оптехника

e-mail: TKKorolev@yandex.ru

УДК 535.15

КОЛЬЦЕВОЙ ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНФРАКРАСНЫХ ДИОДОВ**Королёв Т.К.****Научный руководитель – к.т.н. Перетягин В.С.**

Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование возможности создания полусферического многокомпонентного источника излучения на базе ИК-диодов».

Работа посвящена моделированию специализированного источника излучения, предназначенного для использования в оптико-электронной системе контроля качества продуктов питания. В работе предоставлены математические модели пространственного распределения облученности зоны анализа от источника инфракрасного излучения кольцевой структуры. При моделировании данного источника излучения учитывались спектральная и энергетическая составляющие инфракрасных диодов, а также их параметры питания.

Ключевые слова: излучающий диод, инфракрасное излучение, многокомпонентный источник излучения, пространственное распределение облученности, спектральная характеристика.

Одним из результатов интенсивного развития светодиодных технологий стало создание многокомпонентных, управляемых устройств освещения/облучения, применяемых в различных областях производства (например, в пищевой промышленности анализе качества продуктов питания). Использование излучающих диодов стало возможно благодаря их конструкции, определяющей пространственно-энергетические, электрические, тепловые и другие характеристики. Тем не менее, разработка устройств освещения/облучения требует более пристального внимания в том случае, если требуется обеспечить определенный характер засветки зоны анализа, расположенной на заданном расстоянии от источника излучения [1, 2].

Настоящая работа посвящена исследованиям по созданию кольцевого источника излучения на основе инфракрасных диодов для оптико-электронных систем анализа продуктов питания. В предлагаемой работе представлены математические модели, описывающие пространственное распределение облученности как от всего устройства излучения кольцевой структуры, так и от отдельных инфракрасных диодов, составивших данное устройство.

Математическое моделирование выполнялось для идеального случая, когда излучение распределяется равномерно по всей зоне анализа. Такой случай можно описать, например, с помощью функций Ламберта или косинуса. Для построения моделей пространственного распределения облученности в зоне анализа от многокомпонентного источника излучения, необходимо на излучающей поверхности в определенном порядке расположить излучатели, составляющие разрабатываемый источник. Уравнение пространственного распределения облученности в зоне анализа от многокомпонентного источника излучения кольцевой структуры имеет следующий вид:

$$E_k(x, y) = \sum_N \exp \left\{ \frac{-\left(x - r \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot N^{-1})\right)^2 + \left(y - r \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot N^{-1})\right)^2}{2 \cdot r^2} \right\}, \quad (1)$$

где x и y – координаты пространства; r – расстояние от излучающего диода до зоны анализа; N – количество колец.

Модель пространственного распределения облученности от многокомпонентного источника излучения кольцевой структуры представлена на рис. 1.

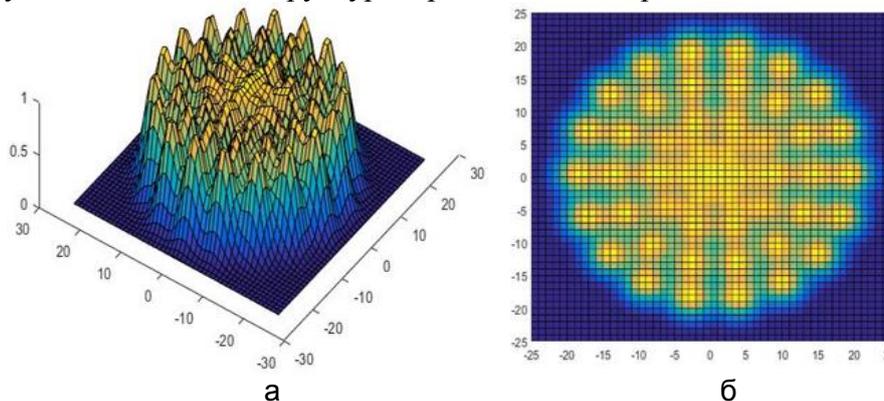


Рис. 1. Модель пространственного распределения облученности от многокомпонентного источника излучения, состоящего из трех колец: трехмерная модель (а); распределение излучение на поверхности (б)

Для того чтобы регулировать конструктивные (количество диодов и колец, их расположение друг относительно друга), пространственные (угол излучения) и энергетические (сила излучения) параметры источника излучения было разработано следующее уравнение:

$$E(x, y) = \sum_n \sum_N \exp \left\{ - \frac{\left(x - r_n \cdot \cos \left(2\pi \frac{i}{N_n} + H_n \right) \right)^2 + \left(y - r_n \cdot \cos \left(2\pi \frac{i}{N_n} + H_n \right) \right)^2}{\left(\tan \left(\frac{l_n}{2} \right) \cdot 2R_n \right)^2} \right\} \cdot \frac{I_n}{(R_n + O_n)^2}, \quad (2)$$

где H – осевой сдвиг колец; O и R – размер колец (O, R); l – угол излучения излучающего диода; I – сила излучения.

Используя уравнение (2), была построена модель пространственного распределения облученности от многокомпонентного источника излучения, состоящего из трех колец и расположенного на расстоянии 200 мм от зоны анализа. Модель представлена на рис. 2.

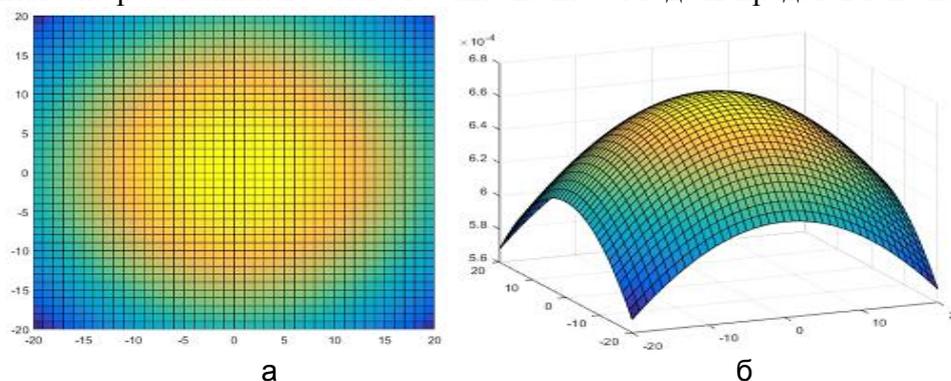


Рис. 2. Модель пространственного распределения облученности от многокомпонентного источника излучения, состоящего из трех колец: распределение излучение на поверхности (а); трехмерная модель (б)

Так как в данной работе рассматривается многокомпонентный источник инфракрасного излучения, ограничим спектральный диапазон интервалом от 780 нм до 1200 нм (рис. 3). Для построения модели спектральной характеристики данного источника излучения была разработана следующее уравнение:

$$f(\lambda) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_d)^2}{2 \cdot \sigma_1^2}\right), \lambda \leq \lambda_d \\ \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_d)^2}{2 \cdot \sigma_2^2}\right), \lambda \geq \lambda_d \end{cases}, \quad (3)$$

где σ_1 и σ_2 – переменные, связанные с полушириной спектральной характеристики; λ_d – максимальная длина волны излучающего диода.

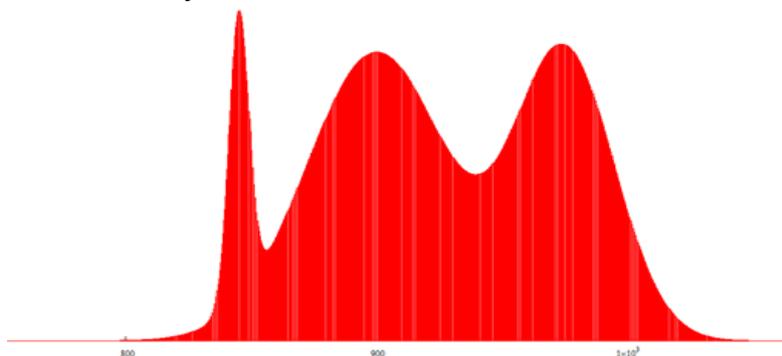


Рис. 3. Спектральная характеристика многокомпонентный источник инфракрасного излучения

Таким образом, в этой работе были решены следующие задачи:

1. разработано математическое уравнение пространственного распределения облученности от многокомпонентного источника излучения, учитывающее конструктивные, пространственные и энергетические параметры излучающих диодов;
2. построена модель равномерного пространственного распределения облученности в зоне анализа от многокомпонентного источника излучения кольцевой структуры;
3. показана возможность управления энергетическими и пространственными параметрами многокомпонентного источника излучения.

В дальнейшем планируется спроектировать конструкцию источника, провести энергетический расчет и расчет надежности, а также провести ряд экспериментов.

Литература

1. Перетягин В.С. Проектирование многокомпонентных светодиодных устройств освещения. – 2016. – 133 с.
2. Вольф У., Герман Б., Ла Рокка Э., Сьютс Г., Тернер Р., Хуфнагель Р. Справочник по инфракрасной технике. В 4-х тт. – Т. 1. Физика ИК-излучения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1995. – 606 с.



Котов Роман Александрович

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4140

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: kotov_poman@mail.ru



Щербакова Анна Вячеславовна

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В3432

Направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика

e-mail: animal_spirit@mail.ru



Котова Екатерина Ильинична

Год рождения: 1991

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: eikotova@corp.ifmo.ru

УДК 621.373.8

**ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МАССИВОВ
ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ**

Котов Р.А., Щербакова А.В., Котова Е.И.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент Бугров В.Е.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615862 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия излучения с новыми функциональными, конструкционными и биологическими материалами».

В работе рассмотрены характеристики лазерных диодов, объединенных в массивы, с целью изучения угловых и линейных параметров излучения, а также построения оптической системы ввода лазерного луча в оптоволокно. Приведен пример такой системы для единичного лазерного диода.

Ключевые слова: полупроводниковые лазеры, лазерные диоды, массивы лазерных диодов, оптоволокно, оптические системы.

Массивы лазерных диодов находят широкое применение в таких областях как обработка материалов, аддитивные технологии, медицина и накачка твердотельных лазеров [1]. Объединение отдельных эмиттеров в линейки позволяет увеличить мощность излучателя, сохраняя малые размеры.

Целью работы являлось изучение характеристик излучения лазерного диода (ЛД) и построение оптической системы для ввода излучения в волокно с заданными параметрами, для дальнейшего масштабирования системы и моделирования линеек и матриц лазерных диодов.

Лазерный диод – полупроводниковая структура, работа которой основана на возникновении инверсии населенности в области p - n -перехода при инжекции носителей заряда. Значения выходной оптической мощности излучения лазерных массивов достигают несколько тысяч ватт в квазинепрерывном режиме работы и несколько сот ватт для непрерывного режима [2].

Одной из основных сложностей создания таких модулей является построение оптической системы, поскольку излучение лазера имеет эллиптическую форму в каждом сечении, т.е. различную расходимость во взаимно перпендикулярных направлениях.

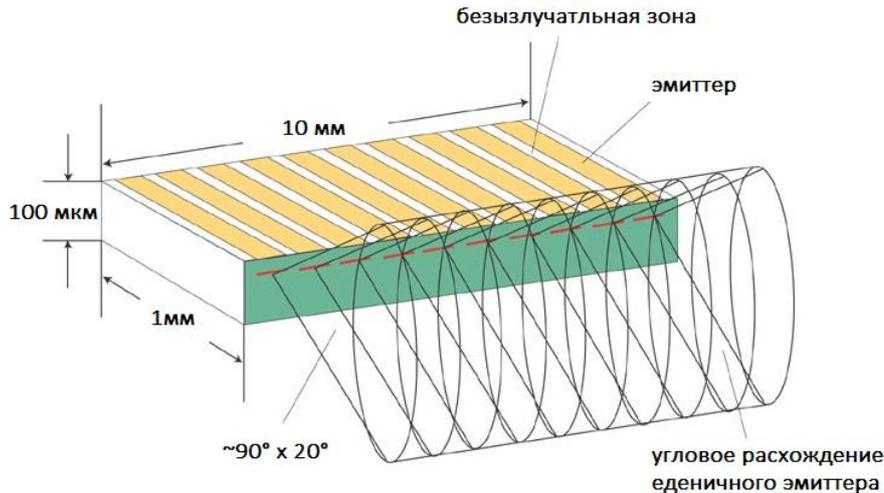


Рис. 1. Типичные размеры и геометрия излучения лазерной линейки

Общий вид линейки ЛД приведен на рис. 1. Плоскость распространения излучения, перпендикулярную полупроводниковому кристаллу, называют «быстрой» осью, где расхождение излучения составляет от 20° до 45° для ширины линии на полувысоте максимума. Для плоскости, параллельной области излучения, расхождение составляет от 5° до 20° , так называемая «медленная» ось. Угловое распространение в дальнем поле по быстрой оси практически соответствует гауссову излучению. Для того чтобы предотвратить потери энергии, и соответственно, мощности, для излучения по быстрым осям ставятся коллимирующие линзы с большим значением числовой апертуры, что существенно уменьшает расхождение [3].

Для построения оптимальной системы коллимации для линейки ЛД, следует изучить параметры излучения одного источника. На рис. 2 приведен пример схемы ввода излучения в оптоволокно от единичного излучателя. Моделирование и расчеты проводились с помощью программы ZEMAX. В качестве источника используется лазерный диод фирмы INNOLUME с выходной мощностью 6 Вт, размер излучающей области составляет 1×90 мкм и длиной волны $\lambda = 1064$ нм, диаметр сердцевины оптоволокну $d = 105$ мкм, числовая апертура $NA = 0,22$.

На схеме излучение от лазерного диода поступает на коллимирующую по быстрой оси линзу Limo FAC590, после чего проходит через систему линз, фокусирующую излучение в оптоволокно (C280-TMD, Thorlabs).

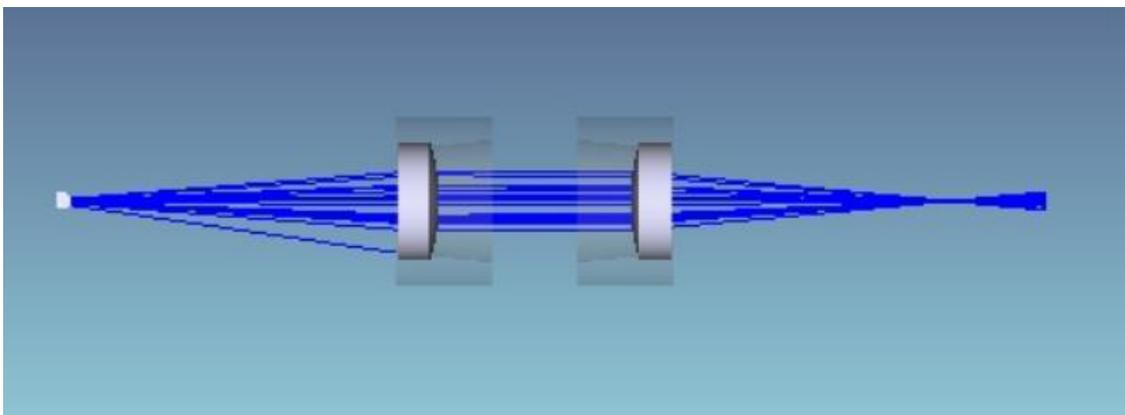


Рис. 2. Схема ввода излучения в оптоволокно

В результате коллимации угловая расходимость по быстрой оси уменьшилась с 33° до $2,5^\circ$ (рис. 3, а).

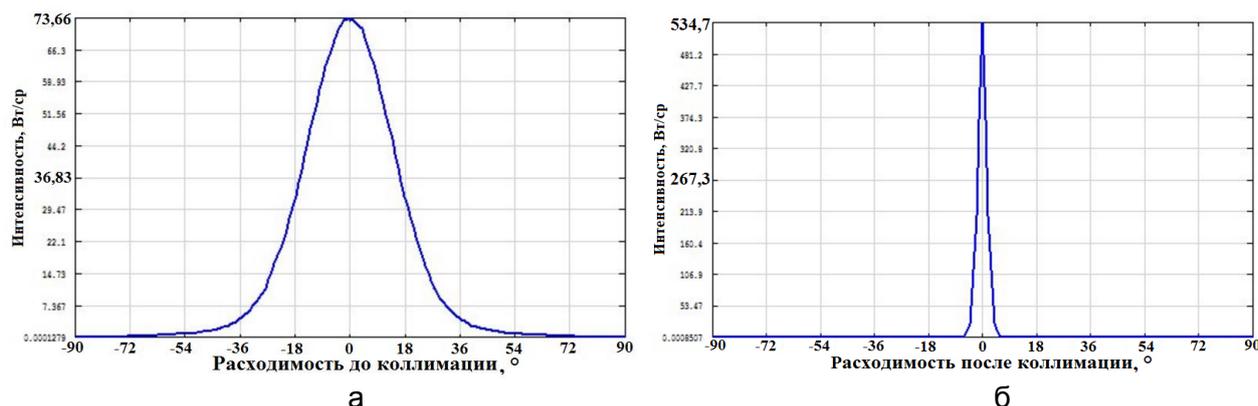


Рис. 3. Исходная угловая расходимость эмиттера по быстрой оси (а); угловая расходимость эмиттера по быстрой оси после коллимации с помощью FAC590 (б)

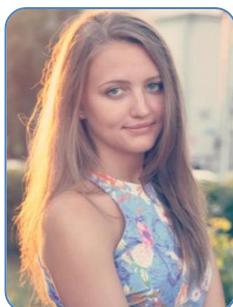
Значение расходимости по медленной оси не изменилось и осталось равным 8° (рис. 3, б).

Без дополнительной коллимации излучения по медленной оси и просветляющих покрытий на линзах, до плоскости торца оптоволокну доходит 65,63% излучения. При установке оптоволокну в фокус линз, в сердцевину волокна попадает лишь 38,23% излучения, что является весьма низким и недостаточным значением.

Таким образом, перед моделированием более сложной оптической системы для ввода излучения в оптоволокну от массива лазерных диодов необходимо увеличить процент излучения, попадающего в сердцевину волокна за счет просветляющих покрытий и оптимизации параметров оптической системы.

Литература

1. Айхлер Ю., Айхлер Г.-И. Лазеры. Исполнение, управление, применение. – М.: Техносфера, 2008. – 440 с.
2. Звелто О. Принципы лазеров. – М.: Мир, 1990. – 560 с.
3. Schreiber P. High-brightness fiber-coupling schemes for diode laser bars // Proc. of SPIE. – 2005. – V. 5876. – P. 587602-1–587602-10.



Котова Любовь Викторовна

Год рождения: 1992

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий, аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: lvkotova@corp.ifmo.ru

УДК 535.4+ 535.012

ОПТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КВАНТОВЫХ ЯМ

Котова Л.В.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент Бугров В.Е.

В работе представлено исследование явления оптической активности, проявляющей себя в конверсии поляризации отраженного света от полупроводниковых структур с квантовыми ямами. Установлено, что микроскопический механизм явления связан со спин-орбитальным расщеплением состояния легкого экситона.

Ключевые слова: оптическая активность, полупроводниковые гетероструктуры, поляризация, спин-орбитальное взаимодействие, экситонная спектроскопия.

Изучение поляризационных эффектов, как в объемных материалах, так и в гетероструктурах, позволяет делать выводы о фундаментальных свойствах исследуемых систем. Одним из таких явлений является оптическая активность – способность материалов менять состояние поляризации света в отсутствие магнитного поля. Оптически активными являются только среды определенной симметрии – гиротропные системы. Оптическая активность квантовых ям (КЯ) может наблюдаться по конверсии поляризации отраженного света. В частности, при падении *s*-поляризованного света отраженный свет имеет *p*-компоненту, и наоборот. Наиболее ярко оптическая активность проявляет себя вблизи экситонных резонансов [1].

Симметричный анализ показывает, что для наблюдения оптической активности необходимо взаимодействие с нормальной компонентой электрического поля волны. По этой причине конверсия поляризации максимальна на легком экситоне, который имеет дипольный момент вдоль оси роста, в отличие от экситона с тяжелой дыркой. В то же время легкий экситон обладает и поперечными компонентами поляризации, при смешивании которых с продольной компонентой и возникает обсуждаемый эффект [2].

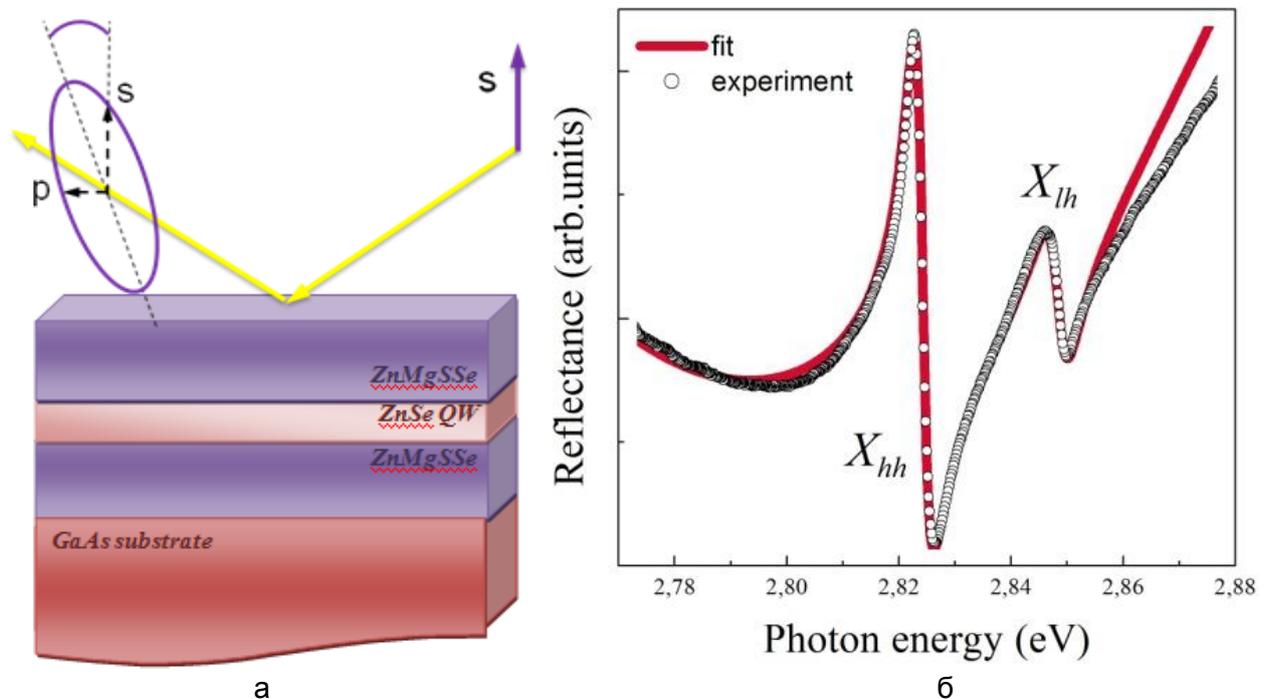


Рис. 1. Схематическая иллюстрация эффекта конверсии поляризации света при отражении от структуры исследуемого образца (а) и его спектр отражения, измеренный при падении света под углом $\theta=35^\circ$ (б). Указаны резонансы для легкого X_{lh} и тяжелого X_{hh} экситонов

В связи с этим в работе исследована структура с квантовой ямой ZnSe (рис. 1), где велики энергия связи и сила осциллятора легкого экситона в отражении. Измерения проводились на образце $\text{ZnSe}/\text{Zn}_{0,82}\text{Mg}_{0,18}\text{S}_{0,18}\text{Se}_{0,82}$ с одиночной квантовой ямой шириной 10 нм, выращенной вдоль направления [001] на подложке GaAs методом МВЕ (подробнее в [3]). Толщины барьеров одинаковые, а общая толщина образца составляет 230 нм (барьеры – 110 нм), что соответствует, примерно, $5\lambda/4$, где λ – это длина волны света на частоте экситона в ZnSe.

Проведя подгонку экспериментальных данных (рис. 1), используя приближение, где резонансное поведение экситона в отражении хорошо описывается полюсной функцией с характерными радиационным и нерadiационным затуханиями, соответственно установили для легкого экситона $\hbar\Gamma_0 = 0,05$ мэВ и $\hbar\Gamma = 2,35$ мэВ. Были исследованы зависимости

параметров Стокса отраженной волны от частоты и направления падения. Установлено, что конверсия поляризации обусловлена спин-орбитальным расщеплением состояний легкой дырки и двулучепреломлением структуры. Спин-орбитальное расщепление, вызванное объемной инверсионной асимметрией (BIA), проявляется в виде эффективного магнитного поля, которое приводит к изменению поляризации света аналогично реальному полю в магнитооптическом эффекте Керра. Эффективное магнитное поле линейно по компонентам волнового вектора света в плоскости ямы q_{\parallel} , что приводит к чувствительности поляризации отраженного света к направлению падения. Зависимость поляризации отраженного света от волнового вектора является демонстрацией оптической активности квантовых ям [3]. На рис. 2 проанализированы зависимости эффекта конверсии поляризации от угла падения и взаимной ориентации плоскости падения и кристаллографических осей, полученные анализом поляризации отраженной волны при наклонном падении s -поляризованного света.

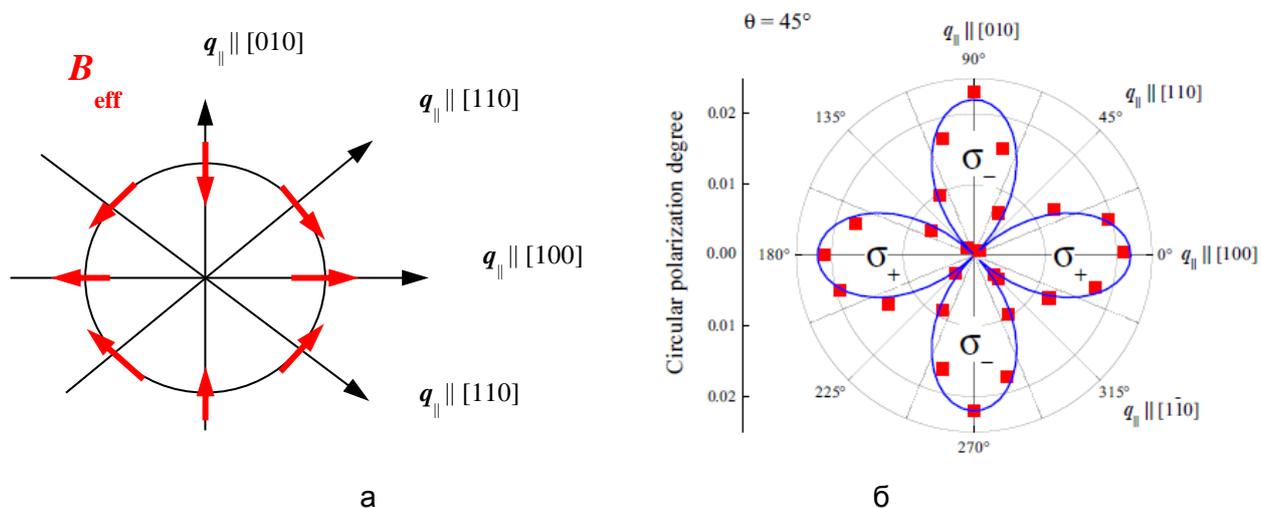


Рис. 2. Зависимости степени циркулярной поляризации отраженного света от ориентации плоскости падения относительно кристаллографических осей (а) и направления эффективного магнитного поля (красные стрелки) от направления волнового вектора в КЯ (б)

Развитая теория позволяет описать зависимости степени поляризации отраженного света (рис. 3, а, б) и определить величину спин-орбитального расщепления. Установлено, что для квантовой ямы шириной 10 нм параметр BIA-расщепления легкой дырки составляет 0,14 эВÅ [3].

Однако используя p -поляризованный падающий свет, можно усилить относительный вклад в отражение, который связан с КЯ. Для любой структуры с КЯ наблюдаемый сигнал отражения содержит в себе вклад не только от КЯ, но и от поверхности образца, а также, в некоторых случаях, и от границы структура–подложка. В отличие от p -поляризации, в s -поляризации амплитуда фонового сигнала существенно превосходит вклад от КЯ. Так как исследуемый эффект невелик, то p -поляризация падающего света помогает интерпретировать спектры отражения и ярче наблюдать исследуемый эффект. В противоположном случае большого отражения от подложки, фоновый, т.е. не связанный с экситоном в КЯ, сигнал включает сумму амплитуд отраженного света от поверхности и от подложки с учетом фазы, набираемой светом при прохождении структуры. Таким образом, измеряемый фоновый сигнал есть результат интерференции двух вкладов, существенно зависящий от толщины структуры. Варьируя толщину, можно добиться, как увеличения, так и подавления фонового сигнала. Параметры исследуемого образца (рис. 1) позволяют достигнуть в p -поляризации полной компенсации отражения от покрывающего слоя и подложки, что приводит к возрастанию экситонного вклада в отражении.

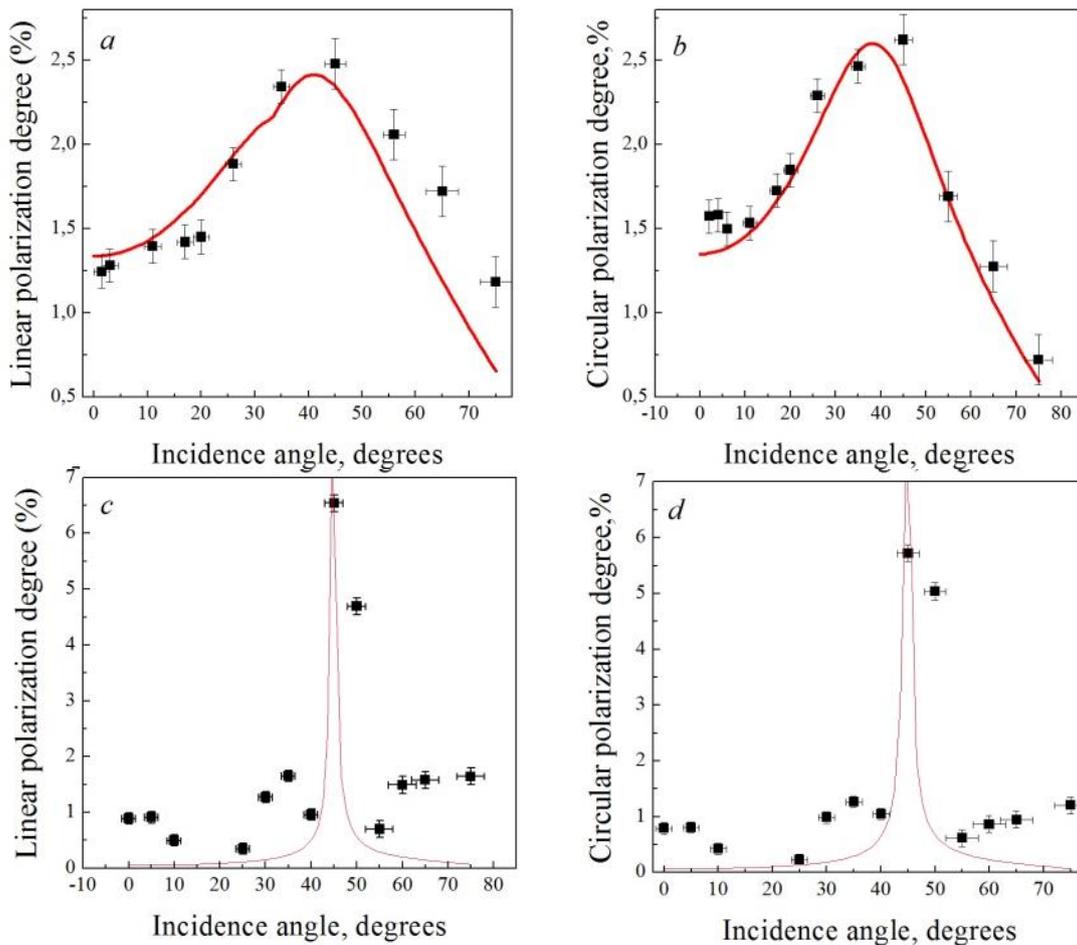


Рис. 3. Зависимости циркулярной и линейной под 45° степенью поляризации от угла падения s -поляризованного (a, b) и p -поляризованного (c, d) света

Коэффициент отражения от поверхности уменьшается, в соответствии с формулами Френеля, а коэффициент отражения от подложки остается практически неизменным. Для угла падения около 45° их вклады сравниваются и, в то же время, для длины волны, соответствующей легкому экситону, фаза оказывается равной π . Это приводит к обнулению фонового сигнала отражения. Тем самым, на анализ конверсии поляризации отраженного света, наблюдаемого на легком экситоне, оказывает сильное влияние интерференционный эффект, влияющий на измеряемую величину. Построены угловые зависимости степеней поляризации. Зависимости резко возрастают в узком диапазоне, имея максимум на 45° , при этом максимальная величина конверсии поляризации достигает 6–7% (рис. 3, c, d). В отличие от s -поляризованного падающего света, для которого эффект конверсии имеет максимальное значение 2,5% и характеризуется плавной угловой зависимостью на рис. 3, a, b. Видно, что в достаточно узком диапазоне степень поляризации, как циркулярной, так и линейной, повернутой под углом 45° относительно плоскости падения, возрастает на порядок, т.е. сильная зависимость от угла падения света. Теория качественно воспроизводит характер экспериментально полученных зависимостей (рис. 3, d, c). Однако расчет дает результат для идеальных условий. В эксперименте сильное воздействие на итоговую величину степени поляризации оказывает конечная расходимость пучка. Это приводит к частичному подавлению экспериментально обнаруженных величин по сравнению с теоретическим расчетом, в которых закладывается идеальный параллельный пучок. Таким образом, p -поляризованный свет в совокупности с правильно подобранными параметрами структуры приводит к росту величины эффекта конверсии поляризации отраженного света.

Литература

1. Agranovich V.M. and Ginzburg V.L. Crystal Optics with Spatial Dispersion, and Excitons. – Berlin: Springer-Verlag, 1984. – 447 p.
2. Ganichev S.D. and Golub L.E. Interplay of Rashba/Dresselhaus spin splittings probed by photogalvanic spectroscopy // Phys. Status Solidi B. – 2014. – V. 251. – P. 1801–1823.
3. Kotova L.V., Platonov A.V., Kats V.N., Kochereshko V.P., Sorokin S.V., Ivanov S.V. and Golub L.E. Optical activity of quantum wells // Phys. Rev. B. – 2016. – V. 94. – P. 165309.



Кутейникова Ксения Александровна

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4102

Направление подготовки: 12.04.02 – ОпTOTехника

e-mail: kut10@mail.ru



Карпова Галина Васильевна

Год рождения: 1951

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., доцент

e-mail: karpova3101@mail.ru

УДК 535.317

СИНТЕЗ ОБЪЕКТИВОВ ДЛЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Кутейникова К.А., Карпова Г.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Карпова Г.В.

В работе рассмотрены вопросы построения оптических схем объективов для наблюдательных систем, проведено исследование различных схем объективов из поверхностей с особыми свойствами.

Ключевые слова: расчет оптических систем, линзовый объектив, наблюдательная система, поверхность с особыми свойствами, метод композиции оптических систем.

Известно, что оптическая система, построенная из поверхностей, обладающих особыми свойствами, например, отсутствием астигматизма, комы или сферической аберрации, также будет свободна от этих аберраций. Используя свойства специальных поверхностей, у которых частично или полностью устранены некоторые аберрации, можно сформировать исходную оптическую систему по методу проф. М.М. Русинова [1].

Суть метода сводится к синтезу оптической системы из поверхностей с заранее известными свойствами. Используя комбинацию из таких поверхностей, можно получить систему, удовлетворяющую требованиям по техническому заданию, с минимальным количеством элементов без использования геометрического виньетирования для широких наклонных пучков.

Рассмотрим сферические поверхности с известными свойствами, которые одновременно свободны от двух видов аберраций, чаще всего комы и астигматизма [2].

– Апланатическая поверхность. Радиус поверхности, показатель преломления и расстояние от точки фокуса связаны соотношениями:

$$s = \frac{n+n'}{n} r, \quad s' = \frac{n+n'}{n'} r, \quad (1)$$

где s – расстояние от вершины поверхности до осевой точки объекта; s' – расстояние от вершины поверхности до осевой точки изображения; n и n' – показатели преломления сред, расположенных до и после поверхности соответственно; r – радиус поверхности.

У апланатической поверхности отсутствуют сферическая aberrация, кома и астигматизм.

– Конфокальная поверхность. Центр сферической поверхности расположен в плоскости предмета.

У конфокальной поверхности отсутствуют сферическая aberrация и меридиональная кома при телецентрическом ходе главного луча, а сагиттальная составляющая астигматизма Z'_s при любом положении входного зрачка равна нулю [3].

Отрезки вдоль главного луча t' и s' связаны следующим соотношением [3]:

$$\frac{t'}{s'} = \frac{1 + \frac{\operatorname{tg} \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \varepsilon'}{W_t}}{1 + \operatorname{tg}^2 \varepsilon'}, \quad (2)$$

где ε и ε' – углы падения и преломления на поверхности; $W_t = 1 + \operatorname{tg} \omega \cdot (\operatorname{tg} \varepsilon - \operatorname{tg} \varepsilon')$ – угловое увеличение в меридиональной плоскости.

Если положительная конфокальная поверхность разделяет воздух и стекло, то выражение (2) всегда больше единицы, что приводит к положительному астигматизму.

– Близфокальная поверхность. Плоскость предмета проходит через вершину поверхности, осевая точка предмета и ее изображение находятся там же. У близфокальной поверхности отсутствует сферическая aberrация в области, близкой к оптической оси. Для внеосевой точки кома и астигматизм имеют значения, отличные от нуля.

– Поверхность, концентричная зрачку. Центр предмета совпадает с центром зрачка, при этом главные лучи, выходящие из центра зрачка, совпадают с нормальными к поверхности. У поверхности, концентричной зрачку, отсутствуют кома и астигматизм. Такая поверхность добавляется к уже образованной части системы, при известном положении выходного зрачка.

Синтез объектива для наблюдательной системы с угловым полем $2\omega = 60^\circ$, положением входного зрачка $S_p = -2,5$ мм, фокусным расстоянием $f' = 4$ мм будем производить относительно главного луча, согласно методу проф. М.М. Русинова [1].

В качестве первого компонента базового объектива возьмем плосковыпуклую линзу Б(о,к), поскольку именно линза такого вида является базовой линзой с вынесенным вперед входным зрачком. Первая плоская поверхность не вносит aberrаций, так как она работает в параллельном пучке лучей. Вторая поверхность – концентричная выходному зрачку относительно первой поверхности по главному лучу. Такая линза обладает отрицательной кривизной поля, но не вносит астигматизма и комы, что видно из рис. 1.

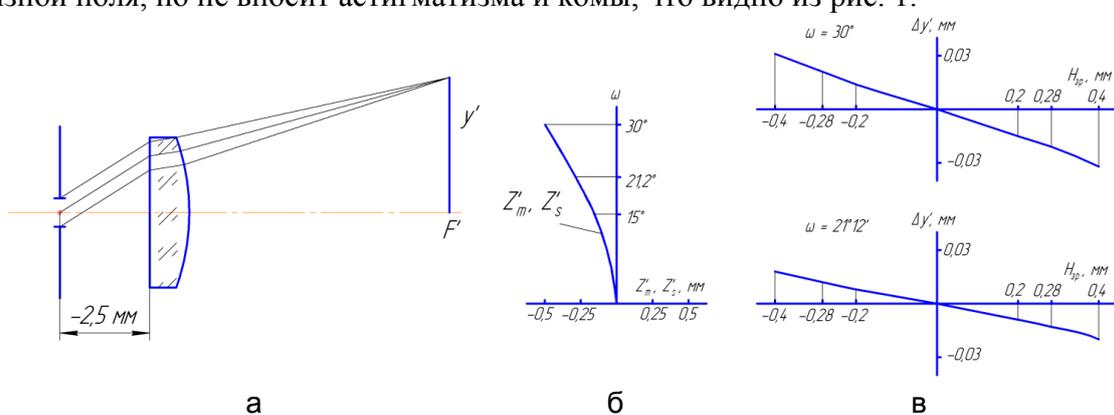


Рис. 1. Первый компонент базового объектива Б(о,к): оптическая схема (а); график астигматизма (б); графики широких наклонных пучков в меридиональном сечении (в)

В качестве второго компонента берем линзу, состоящую из конфокальной и плоской поверхностей. В соответствии с терминологией проф. М.М. Русинова она шифруется следующим образом: Б(кф,о).

Конфокальная поверхность в частном случае концентрична осевой точке изображения, образованного предшествующей ей частью оптической системы. В общем случае конфокальная поверхность концентрична проекции на ось системы точки изображения на главном луче, сформированного предшествующей частью оптической системы [3].

Данная поверхность для произвольного угла главного луча с оптической осью вносит положительный астигматизм, при этом свободна от сагиттальной кривизны изображения.

После конфокальной поверхности главный луч идет параллельно оптической оси. Оптическая схема объектива и графики aberrаций представлены на рис. 2.

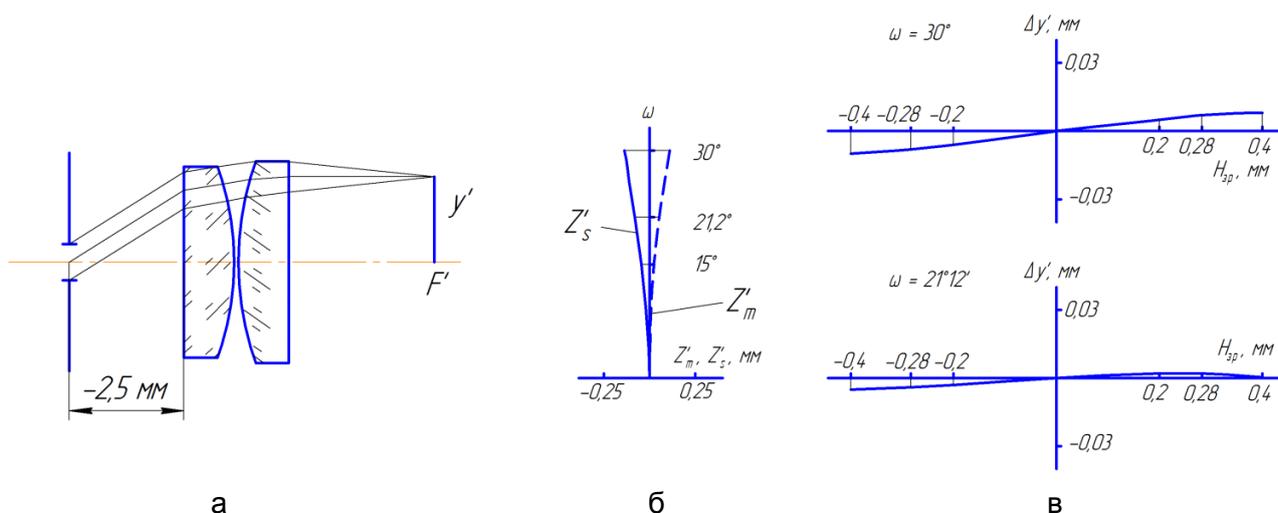


Рис. 2. Базовый объектив Б(о,к)+Б(кф,о): оптическая схема с ходом лучей (а); график астигматизма (б); графики широких наклонных пучков в меридиональном сечении (в)

Из вышеизложенного и рис. 2 следует, что синтез объективов по методу проф. М.М. Русинова позволяет получить высокое качество изображения в пределах всего углового поля без использования геометрического виньетирования широких наклонных пучков. Выполненный расчет синтезированного объектива подтвердил правильность выбранных исходных данных и эффективность метода.

Литература

1. Русинов М.М. Композиция оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1989. – 383 с.
2. Грамматин А.П. Методы синтеза оптических систем. Учебное пособие. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2002. – 65 с.
3. Безруков В.А., Карпова Г.В. Конфокальная поверхность и ее свойства // Оптический журнал. – 2015. – № 5. – С. 34–36.



Латынина Татьяна Андреевна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, группа № В4270

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: melody13@rambler.ru

**Мавлютов Айдар Марселевич**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра современных функциональных материалов, аспирантНаправление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: a.m.mavlyutov@gmail.com

**Орлова Татьяна Сергеевна**

Год рождения: 1955

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра современных функциональных материалов,

д.ф.-м.н., профессор

e-mail: orlova.t@mail.ioffe.ru

**Мурашкин Максим Юрьевич**

Год рождения: 1970

Уфимский государственный авиационный технический университет,
Научно-исследовательский институт физики перспективных
материалов, к.т.н., ст.н.с.

e-mail: m.murashkin70@gmail.com

**Валиев Руслан Зуфарович**

Год рождения: 1949

Уфимский государственный авиационный технический университет,
Научно-исследовательский институт физики перспективных
материалов, д.ф.-м.н.

e-mail: rzvaliev@ugatu.ru

УДК 539.424

**ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СПЛАВА AL-0.4ZR ПОСЛЕ
ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ****Латынина Т.А.** (Университет ИТМО), **Мавлютов А.М.** (Университет ИТМО),
Орлова Т.С. (Университет ИТМО), **Мурашкин М.Ю.** (Уфимский государственный
авиационный технический университет), **Валиев Р.З.** (Уфимский государственный
авиационный технический университет)**Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Орлова Т.С.** (Университет ИТМО)

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615862 «Фундаментальные исследования процессов взаимодействия излучения с новыми функциональными, конструкционными и биологическими материалами».

В работе было изучено влияние интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением и последующих отжигов на функциональные свойства (микротвердость, пластичность до

разрушения, условный предел текучести и предел прочности) коммерческого алюминиевого сплава Al-0,4Zr.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, интенсивная пластическая деформация, микротвердость, одноосное растяжение, условный предел текучести, предел прочности, пластическая деформация до разрушения.

Актуальность работы. Алюминиевые сплавы широко применяются в электротехнике благодаря высокой электропроводности и доступной цене, но они имеют низкую прочность. В результате этого разрабатывается множество подходов для улучшения механических свойств коммерческих сплавов на основе алюминия. Одни из наиболее популярных методов увеличения прочности алюминия – легирование и обработка интенсивной пластической деформацией. В данной работе были применены оба метода, а также отжиг, который может привести к дополнительному увеличению прочностных характеристик, как было показано для технически чистого ультрамелкозернистого алюминия [1]. Для исследования был выбран сплав Al-0,4Zr, который обладает необходимым комплексом механических, электрических и технологических свойств, сохраняющихся после нагрева до 573 К, что позволяет ему использоваться для высоковольтных линий электропередач в районах со сложными климатическими условиями. Наилучшее сочетание таких свойств достигается с помощью добавления циркония, который способствует образованию частиц вторичной фазы Al_3Zr размером не более 20 нм [2].

Методика эксперимента. В работе исследовался сплав Al-0,4Zr: 99,25 Al, 0,4 Zr; 0,24 Fe (мас.%). Обработка осуществлялась методом интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК) под давлением 2 и 6 ГПа на 10 оборотов при комнатной температуре, а также проводился последующий отжиг в интервале температур от 363 до 673 К (температура отжига – T_{an}). Микротвердость измерялась по методу Виккерса (H_V) на микротвердомере Shimadzu HMV-G в соответствии с ГОСТ 2999-75. Проводились испытания образцов на одноосное растяжение на разрывной машине Shimadzu AG-XD Plus с видеоэкстензометром TRViewX 55S.

Результаты эксперимента. В ходе исследования были получены следующие результаты. Как и ожидалось, обработка ИПДК значительно увеличивает значение микротвердости (на ~47%). Оказалось, что отжиг в интервале температур от 363 до 673 К приводит к ее дополнительному увеличению (до 23%) (рис. 1).

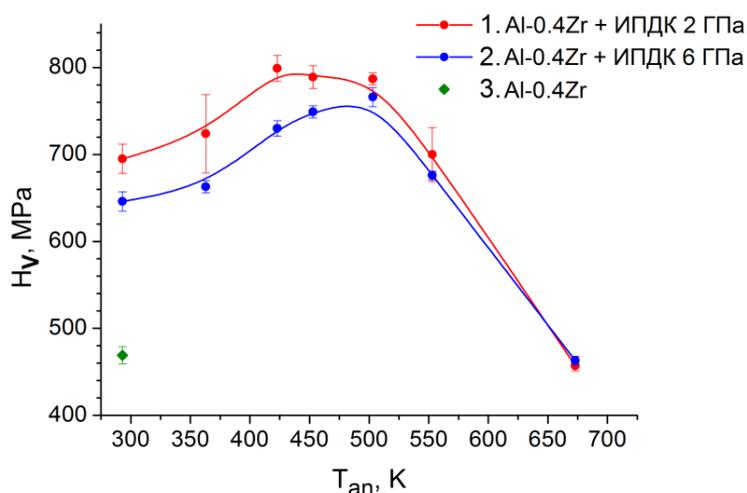


Рис. 1. Зависимости микротвердости от температуры отжига для образцов сплава Al-0,4Zr, предварительно обработанных ИПДК под давлением 2 ГПа (1) и 6 ГПа (2), 3 – микротвердость исходного недеформированного сплава Al-0,4Zr

Результаты, полученные при измерении микротвердости, коррелируют с данными, полученными из диаграмм растяжения (рис. 2, а, б). Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ и предел прочности σ_{UTS} увеличиваются в 2 раза, однако существенно падает пластичность до разрушения δ (на ~40%) как при обработке ИПДК, так и при последующих отжигах, что показано для образцов, обработанных ИПДК под давлением 2 ГПа на рис. 3, а, б. Предполагается, что увеличение механических характеристик при ИПДК связано в первую очередь с измельчением зеренной структуры. Природу обнаруженного эффекта увеличения прочности, достигнутого путем отжига деформированных образцов сплава Al-0,4Zr, планируется изучить с помощью всестороннего исследования особенностей микроструктуры всех полученных состояний.

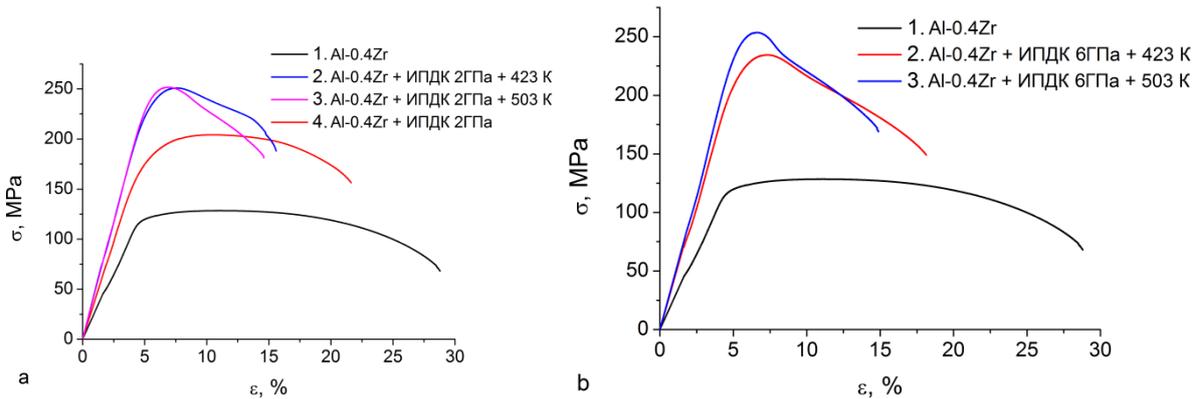


Рис. 2. Диаграммы растяжения образцов, предварительно обработанных ИПДК под давлением 2 ГПа (а) и 6 ГПа (б), где 1 – исходный недеформированный образец; образцы после ИПДК без отжига (4) и с дополнительным отжигом при $T_{an}=423$ К (2) и $T_{an}=503$ К (3)

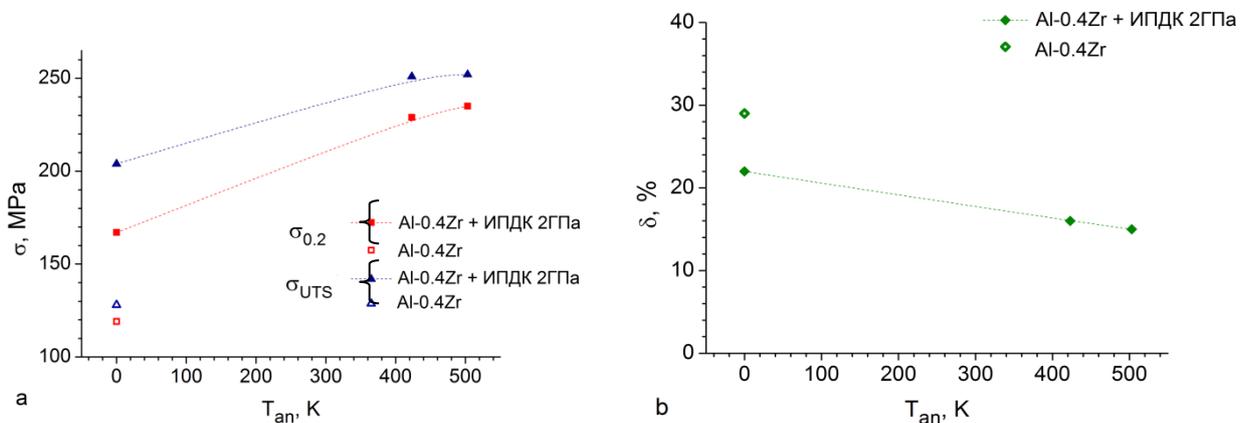


Рис. 3. Зависимости условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ и предела прочности σ_{UTS} (а) и пластичности δ (б) от температуры отжига T_{an} для исходного сплава Al-0,4Zr и образцов, деформированных ИПДК под давлением 2 ГПа

Выводы. В работе впервые проведено исследование влияния интенсивной пластической деформации кручением и последующих отжигов на прочностные свойства алюминиевого сплава, легированного 0,4 мас.% циркония. Показано, что с помощью обработки ИПДК можно увеличить значение микротвердости на ~50%, при этом условный предел текучести и предел прочности возрастают примерно в 2 раза, а величина пластической деформации до разрушения сохраняется на уровне ~60% от величины пластичности образцов в исходном состоянии. Обнаружен эффект дополнительного увеличения прочности на ~23%, полученный путем последующего отжига деформированных образцов в интервале температур от 423 до 503 К.

Литература

1. Mavlyutov A.M., Bondarenko A.S., Murashkin M.Yu., Boltynjuk E.V., Valiev R.Z., Orlova T.S. Effect of annealing on microhardness and electrical resistivity of nanostructured SPD aluminium // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – V. 698. – P. 539–546.
2. Пат. 2441090 Российская Федерация, МПК⁵¹ С 22 С 21/00. Проводниковый термостойкий сплав на основе алюминия / Белов Н.А., Алабин А.Н., Прохоров А.Ю.; заявитель и патентообладатель ФГАОУВППЦ «НИТУ «МИСиС» – № 2000131736/09; заявл. 01.03.2010; опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3.



Лебедько Евгений Георгиевич

Год рождения: 1941

Факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, д.т.н., профессор
e-mail: eleb@rambler.ru



Лю Лу

Год рождения: 1990

Факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем, аспирант
Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии
e-mail: shenxiaqianqiu@gmail.com

УДК 535.318

О ВОЗМОЖНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ МОНОИМПУЛЬСНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

Лебедько Е.Г., Лю Лу

Научный руководитель – д.т.н., профессор Лебедько Е.Г.

Для идентификации далеко удаленных объектов в условиях энергетического ограничения локационной оптической системы представляется возможным использовать структуру отраженного сигнала при моноимпульсной локации объекта. Идентификация объектов может быть основана на отличительных признаках отражательных импульсных характеристик объектов локации.

Ключевые слова: распознавания объектов, моноимпульсная локация, отражательные импульсные характеристики поверхности.

Отражательные импульсные характеристики облучаемых поверхностей можно определить по формуле [1, 2]

$$g_s(t) = \iint_D r(\gamma) \cos(\gamma) \delta \left[t - \frac{2z(x, y)}{c} \right] dx dy, \quad (1)$$

где $r(\gamma)$ – коэффициент яркости элемента поверхности; D – проекция облучаемой поверхности s на плоскость xoy ; γ – угол между нормалью к элементу поверхности ds и

направлениями излучения; поверхность s задана уравнением $z = z(x, y)$, где функция $z(x, y)$ непрерывна в области D .

В соответствии с формулой (1) получены отражательные импульсные характеристики объектов, которые приведены на рис. 1–7.

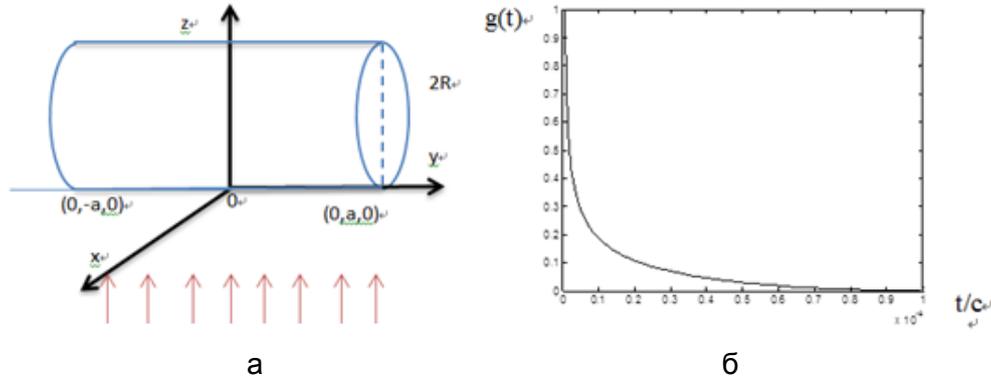


Рис. 1. Схема локационного наблюдения нормального цилиндра (выражение цилиндра: $x^2 + (z - R)^2 = R^2, -a \leq y \leq a$) (а); нормированная отражательная импульсная характеристика поверхности цилиндра $g_s(t) = \arcsin \frac{(2R - ct)^2}{R} \frac{1}{\sqrt{4Rct - c^2t^2}}, 0 \leq t \leq \frac{2R}{c}$ (б)

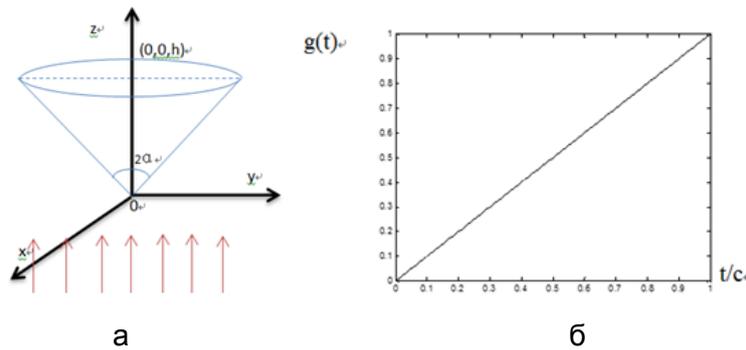


Рис. 2. Схема локационного наблюдения конуса (выражение конуса: $x^2 + y^2 = z^2 \operatorname{tg}^2(\alpha)$) (а); нормированная отражательная импульсная характеристика поверхности конуса $g_s(t) = \frac{\pi r c^2 \operatorname{tg}^2(\alpha)}{2\sqrt{1 + c \operatorname{tg}^2(\alpha)}} t, 0 \leq t \leq \frac{2h}{c}$ (б)

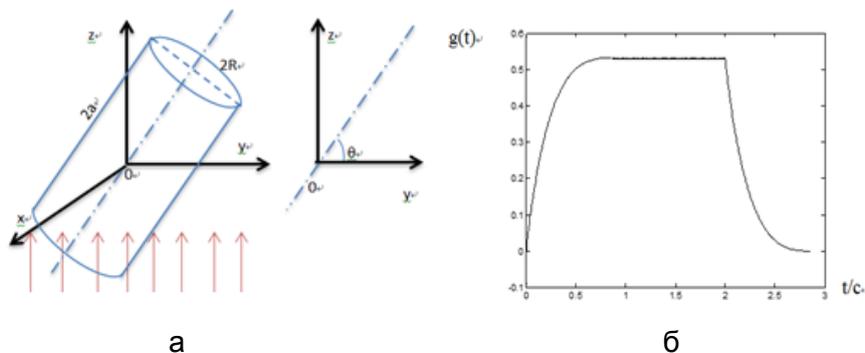


Рис. 3. Схема локационного наблюдения (уравнение цилиндра: $(x - R)^2 + (\sin \theta y - \cos \theta z)^2 = R^2 / \cos^2 \theta$) (а) и нормированная отражательная импульсная характеристика поверхности (б) наклонного цилиндра

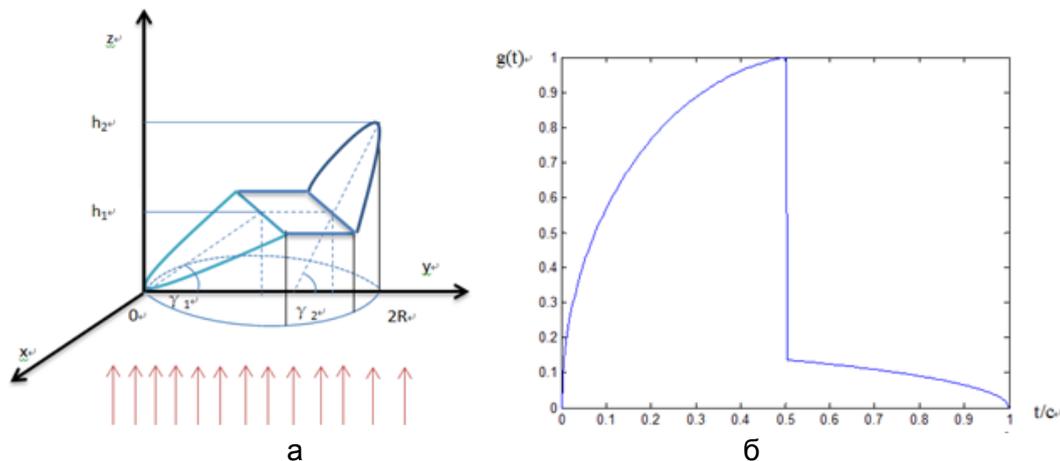


Рис. 4. Схема локационного наблюдения (а) и нормированная отражательная импульсная характеристика поверхности (б) ломанной поверхности, состоящей из трех участков

$$\left\{ \begin{array}{l} x^2 + (y - R)^2 \leq R^2 \\ z = y \operatorname{tg} \gamma_1 \\ 0 \leq z \leq h_1 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} x^2 + (y - R)^2 \leq R^2 \\ z = [y - (2R - h_2 \operatorname{tg} \gamma_2)] \operatorname{tg} \gamma_2 \\ h_1 \leq z \leq h_2 \end{array} \right\}.$$

$$g_s(t) = \left\{ \begin{array}{l} a_1 \sqrt{\frac{4R}{c \operatorname{ctg} \gamma_1} t - t^2}, 0 \leq t < \frac{2h_1}{c} \\ s_0 \delta\left(t - \frac{2h_1}{c}\right), t = \frac{2h_1}{c} \\ a_2 \sqrt{\left(t + \frac{2(2R \operatorname{tg} \gamma_2 - h_2)}{c}\right) \left(\frac{2h_2}{c} - t\right)}, \frac{2h_1}{c} \leq t < \frac{2h_2}{c} \end{array} \right\}.$$

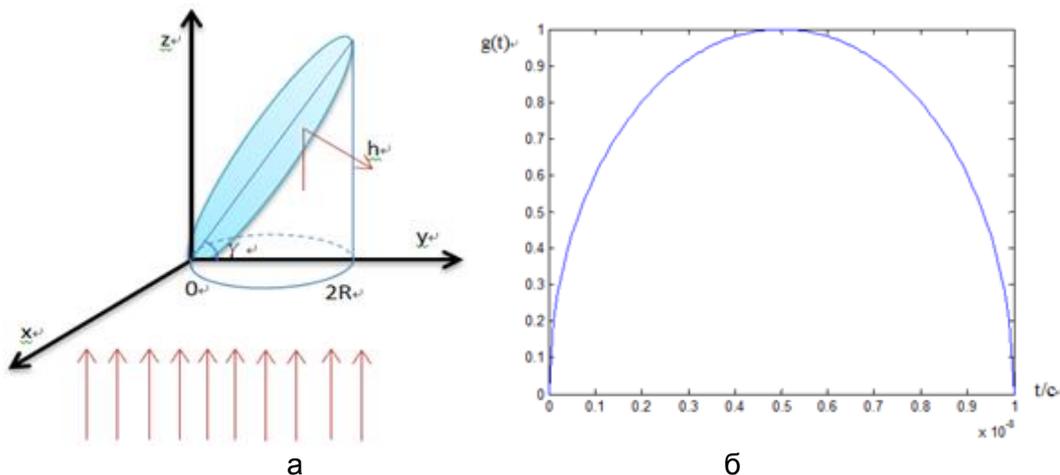


Рис. 5. Схема локационного наблюдения (а) и нормированная отражательная импульсная характеристика поверхности (б) наклонной поверхности

$$\left\{ \begin{array}{l} x^2 + (y - R)^2 \leq R^2 \\ z = y \operatorname{tg} \gamma \\ 0 \leq z \leq h \end{array} \right\}.$$

$$g_s(t) = \frac{\rho \cos \gamma (c \operatorname{ctg} \gamma)^2}{2} \sqrt{\frac{2h}{c} t - t^2}, 0 \leq t \leq \frac{2h}{c}.$$

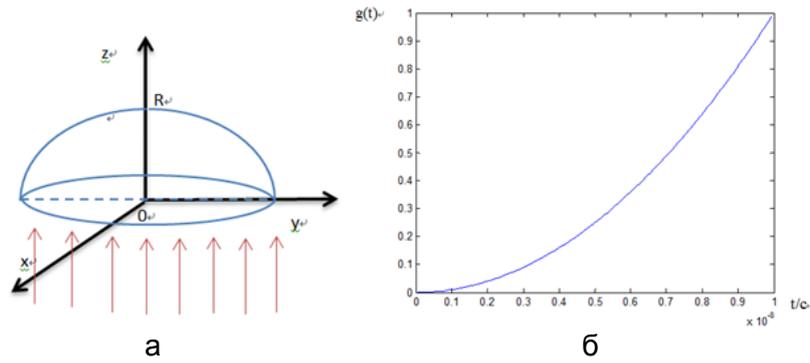


Рис. 6. Схема локационного наблюдения $z = \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}, 0 \leq z \leq R$ (а) и нормированная отражательная импульсная характеристика поверхности $g_3(t) = \frac{\pi r c^3 t^2}{4R}, 0 \leq t \leq \frac{2R}{c}$ (б) вогнутой полусферы

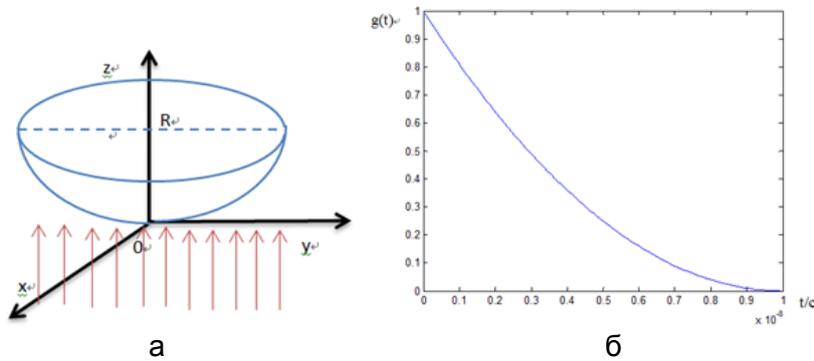


Рис. 7. Схема локационного наблюдения $z = R - \sqrt{R^2 - x^2 - y^2}, 0 \leq z \leq R$ (а) и нормированная отражательная импульсная характеристика поверхности $g_3(t) = \frac{\pi r c^3 \left(\frac{2R}{c} - t\right)^2}{4R}, 0 \leq t \leq \frac{2R}{c}$ (б) выпуклой полусферы

Отличительные признаки объектов приведены в таблице.

Таблица. Отличительные признаки объектов

Объекты	Признаки	Объекты	Признаки
Цилиндр	Одна кривая как часть гиперболической в первом квадранте, одна вертикальная линия	Конус	Одна косая с положительным наклоном и острый угол при вершине
Наклонный цилиндр	Одна кривая как часть логарифмической функции, одна прямая линия	Ломаная из трех участков поверхность	Левая сторона арки, правая сторона другой арки и вертикальная линия, соединяющая левую и правую части
Наклонная поверхность	Дугообразная кривая		
Вогнутая полусфера	Одна кривая как часть экспоненциальной функции	Выпуклая полусфера	Одна кривая как часть гиперболической в первом квадранте, одна вертикальная линия

Отраженный сигнал является интегральной сверткой отражательной импульсной характеристики и зондирующего импульса. При облучении рассмотренных объектов коротким лучистым импульсом отраженный сигнал незначительно будет отличаться от отражательной импульсной характеристики поверхности. И как видно из приведенных рисунков и таблицы распознавание рассмотренных объектов реально. Однако при приеме в пороговом режиме форма сигналов будет искажена помехой. В этом случае следует рассматривать статистические методы распознавания.

Выводы. Проведенный анализ отражательных импульсных характеристик простых геометрических фигур показал возможность распознавания их при моноимпульсной лазерной локации.

Литература

1. Лебедько Е.Г. Системы импульсной оптической локации. – СПб.: Лань, 2014. – 368 с.
2. Лебедько Е.Г., Порфирьев Л.Ф., Хайтун Ф.И. Теория и расчет импульсных и цифровых оптико-электронных систем. – Л.: Машиностроение, 1984. – 192 с.



Левкова Юлия Викторовна

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В3455

Направление подготовки: 12.03.01 – Приборостроение

e-mail: levkova_yulia@mail.ru



Галкина Виктория Алексеевна

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В3455

Направление подготовки: 12.03.01 – Приборостроение

e-mail: v_galkina95@mail.ru

УДК 620.179.16

КОНТРОЛЬ ОБРАЗЦОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ СЕЛЕКТИВНЫМ ЛАЗЕРНЫМ СПЕКАНИЕМ, С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Левкова Ю.В., Галкина В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кинжагулов И.Ю.

Рассмотрены существующие аддитивные технологии. Проведен анализ особенностей технологии селективного лазерного спекания. Предложен метод для контроля дефектов в материалах, полученных методом селективного лазерного спекания.

Ключевые слова: аддитивные технологии, селективное лазерное спекание, неразрушающий контроль, лазерно-ультразвуковой контроль, дефекты в изделиях СЛС.

Введение. В последние годы аддитивные технологии пользуются огромной популярностью. На сегодняшний день практически не осталось отраслей производства, в которых бы не применялись аддитивные технологии. С их помощью изготавливаются детали космических

аппаратов, самолетов, подводных лодок, импланты, ювелирные украшения и др. Существует множество технологий аддитивного производства: SLA, SLM, FDM, DMLS и др. Все методы реализуются путем послойного добавления материала (add – «добавлять»). В частности, широкое применение получила технология селективного лазерного спекания (СЛС) [1].

СЛС-технология. Технология селективного лазерного спекания (Selective laser sintering) представляет собой многократно повторяющийся процесс, включающий несколько стадий: нанесение порошкового слоя и выравнивание его роликом; лазерная обработка (сканирование) порошкового слоя с полным проплавлением легкоплавкой компоненты порошковой смеси; чистка полученного слоя; сдвиг столика с образцом вниз на величину толщины одного слоя; повторение всего процесса, т.е. нанесение следующего порошкового слоя, лазерное сканирование и т.д. (рис. 1, а). Обработка осуществляется в камере с продувкой инертным газом и управляется компьютером для получения заданной 3D-геометрии детали. Атмосфера инертного газа создает среду, в которой происходит спекание порошка [2].

Актуальность исследования. Особенностью структуры изделий, полученных по СЛС технологии, является их пористость (рис. 1, б). Пористость влияет на прочность материала, поэтому своевременное обнаружение пористости в изделиях, полученных по технологии селективного лазерного спекания, является важной задачей. Существенно не только своевременное обнаружение дефектов, но и возможность неразрушающего контроля деталей с целью выявления бездефектных или содержащих предельно допустимые для их нормальной эксплуатации дефекты [3].

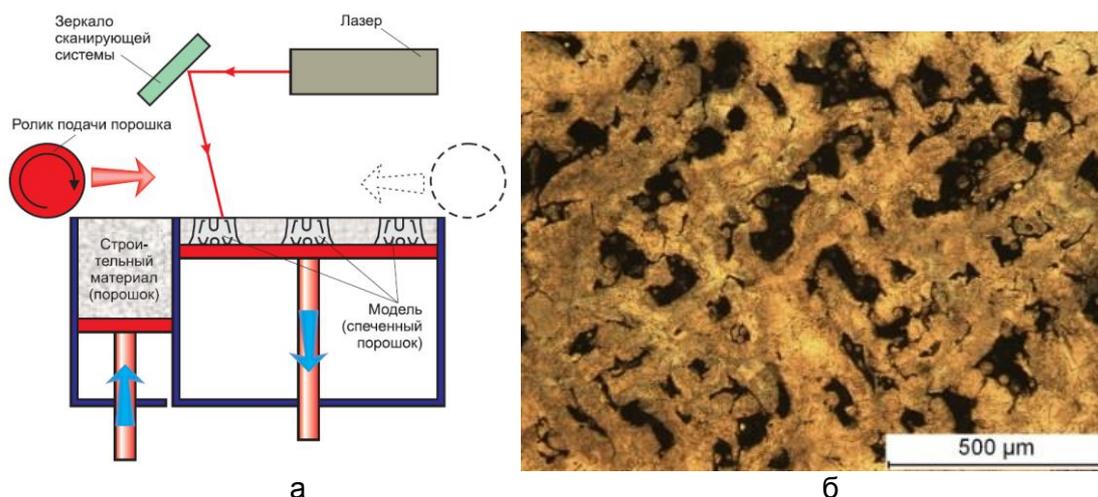


Рис. 1. Принципиальная схема процесса аддитивного производства (а) и пористость (б)

Различные методы неразрушающего контроля направлены на решение этой задачи. Для решения данной задачи авторами был предложен лазерно-ультразвуковой метод контроля, разработана методика его проведения и осуществлена ее апробация на примере контроля образцов из никелевого сплава, полученного по технологии СЛС.

Метод лазерно-ультразвуковой дефектоскопии. Лазерно-ультразвуковой метод контроля основан на лазерном возбуждении коротких широкополосных акустических сигналов и облучении объекта контроля этими сигналами. Акустические сигналы, прошедшие вглубь объекта контроля, отражаются или рассеиваются на различных структурных неоднородностях. Если внутренние дефекты отсутствуют, то сигнал отразится от обратной стороны объекта контроля. Такой сигнал, прошедший от одной свободной поверхности до другой, будем называть «донным сигналом».

Описание объекта и средства исследования. Были проведены экспериментальные исследования образцов с помощью лазерно-ультразвукового дефектоскопа УДЛ-2М, блок-схема и внешний вид представлены на рис. 2. Данный прибор предназначен для прецизионных измерений фазовой скорости продольных ультразвуковых волн в различных

материалах (металлах, сплавах, керамиках, пластмассах, композитных материалах) при одностороннем доступе к объекту контроля.

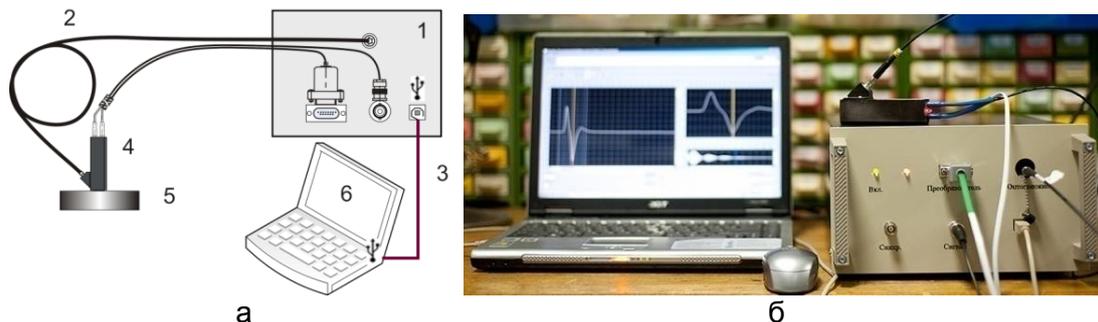


Рис. 2. Лазерно-ультразвуковой дефектоскоп УДЛ-2М: блок-схема: 1 – оптоэлектронный блок; 2 – оптоволоконный кабель; 3 – соединительный кабель связи портов USB 2.0; 4 – широкополосный оптико-акустический преобразователь, модель ПЛУ-6-П-01; 5 – исследуемый образец; 6 – компьютер типа «Ноутбук» (а); внешний вид (б)

Образцы исследования представляли собой шляпки гантелей, изготовленные при помощи селективного лазерного спекания при различных режимах и направлениях спекания (рис. 3).



Рис. 3. Внешний вид объекта исследования

Представленные образцы изготовлены из никелевого сплава ЭП741НП. Выращивание образцов «шляпки гантелей №1» и «шляпки гантелей №4» производилось в вертикальном направлении (по длине детали). Выращивание образцов – «шляпки гантелей №2» и «шляпки гантелей №5» – в горизонтальном направлении (по ширине детали). Для получения необходимой шероховатости поверхности детали были подвергнуты шлифовки в местах установки датчика.

Полученные результаты. В ходе проведения эксперимента отражение донного сигнала было получено с помощью программного обеспечения «Scanner». На рис. 4 представлены полученные результаты, красной границей обведены донные сигналы. В образцах «шляпка гантели №1», «шляпка гантели №4», выращенных в вертикальном направлении, хорошо просматриваются донные сигналы, что свидетельствует об однородной внутренней структуре образцов. Донный сигнал для образца «шляпка гантели №2» не был получен, а сигнал в образце «шляпка гантели №5» затухал, это дает основания предполагать наличие внутренних дефектов.

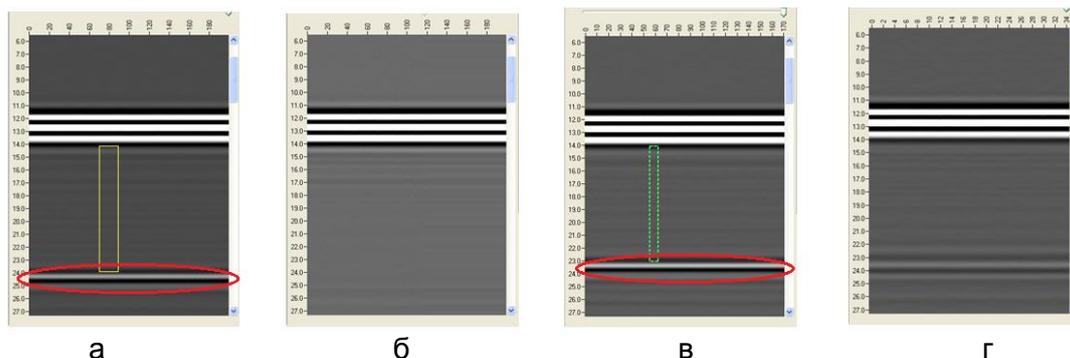


Рис. 4. Донный сигнал для образца (выделен красным маркером): «шляпка гантели №1» (а); «шляпка гантели №2» (б); «шляпка гантели №4» (в); «шляпка гантели №5» (г)

Заключение. Были проведены экспериментальные исследования с использованием метода лазерно-ультразвукового контроля для оценки качества изделий, выполненных методом селективного лазерного спекания. Результаты контроля, полученные лазерно-ультразвуковым методом, чувствительны к изменению структуры изделий, полученных методом селективного лазерного спекания. Для нахождения корреляционных зависимостей между результатами лазерно-ультразвукового контроля и структурой материала необходимо проведение дальнейшего металлографического исследования образцов.

Литература

1. Зленко М.А., Забеднов П.В. Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. Технологии литья металлов и пластмасс с использованием синтез-моделей и синтез-форм // *Металлургия машиностроения*. – 2013. – № 2. – С. 45–54.
2. Тарасова Т.В., Назаров А.П., Прокофьев М.В. Влияние режимов селективного лазерного плавления на структуру и физико-механические свойства жаропрочных кобальтовых сплавов // *Физика металлов и металловедение*. – 2015. – Т. 116. – № 6. – С. 636.
3. *Неразрушающий контроль: справочник в 7 т.* / Под общ. ред. В.В. Клюева. – Т. 2: в 2 кн. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.



Лобанова Анастасия Юрьевна

Год рождения: 1997

Факультет лазерной и световой инженерии,

кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В5308

Направление подготовки: 12.05.01 – Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения

e-mail: alobanova2144@gmail.com



Рыжова Виктория Александровна

Год рождения: 1966

Факультет лазерной и световой инженерии,

кафедра оптико-электронных приборов и систем, к.т.н., доцент

e-mail: victoria_ryz@mail.ru

УДК 535.513

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР МАТРИЧНОГО ПРИЕМНИКА
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Лобанова А.Ю., Рыжова В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рыжова В.А.

Работа выполнена в рамках исследования при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01).

Работа посвящена эллипсометрическому исследованию прозрачной структуры пикселей матричного приемника оптического излучения, состоящего из четырех прозрачных слоев (в случае цветного сенсора) или трех (в случае черно-белого), измерению эллипсометрических параметров излучения, отраженного от поверхностных слоев чувствительного элемента, получению входных данных для решения обратной задачи эллипсометрии и расчета геометрических и оптических параметров многослойной структуры.

Ключевые слова: эллипсометрия, матричный приемник оптического излучения, чувствительность, эллипсометрические углы, обратная задача эллипсометрии.

Полное и систематическое исследование параметров, влияющих на величину снимаемого электрического сигнала, актуально для многих современных матричных приемников, применяемых в схемах оптико-электронных приборов различного назначения. Например, гамма-спектрометры, предназначенные для измерения энергий и спектрального состава сигналов низкой интенсивности, содержат в качестве приемника излучения кремниевый фотоумножитель, обладающий микропиксельной структурой. Для такого типа приемника параметрами, влияющими на результат измерения, являются эффективность и линейность обнаружения фотонов. Для матричных приемников оптического излучения на основе ПЗС- и КМОП-сенсоров, применяемых в видеоинформационных и измерительных приборах, принцип работы которых основан на преобразовании изображения в цифровой сигнал, таким параметром является чувствительность.

В связи с разбросом абсолютной чувствительности отдельных пикселей в матрице, многоэлементные приемники излучения характеризуются наличием значительного «геометрического» шума, который принципиально отсутствует в системах на основе одноэлементных приемников. Данное обстоятельство является одним из источников инструментальной погрешности в измерительных приборах и приводит к структурным шумам и снижению контраста изображения в видеоинформационных приборах. В этой связи при анализе информации об объекте исследования необходимо учитывать неравномерность распределения чувствительности по площадке матричного сенсора, как следствие неравномерности отклика пикселей матрицы, которая, в свою очередь, определяется неоднородностью оптических характеристик их элементов.

Целью данного этапа работы являлось проведение эксперимента по определению эллипсометрических углов, необходимых для расчета оптических и геометрических параметров прозрачной структуры пикселей, из которых состоит сенсор матричного приемника оптического излучения.

В качестве объектов для экспериментального исследования выбраны КМОП-сенсоры цветной (формат 1/2,5 дюйма, матрица OV5620 производства фирмы OmniVision) и черно-белой (формат 1/2 дюйма, матрица OV9121 производства фирмы OmniVision) видеокамер. Каждый пиксель представляет собой многослойную систему, которая представлена на рис. 1. Первые четыре слоя прозрачны для падающего излучения. Первый слой – микролинза, второй – светофильтр, третий – прозрачный электрод из поликристаллического кремния или сплава индия и оксида олова и четвертый – оксид кремния [1].

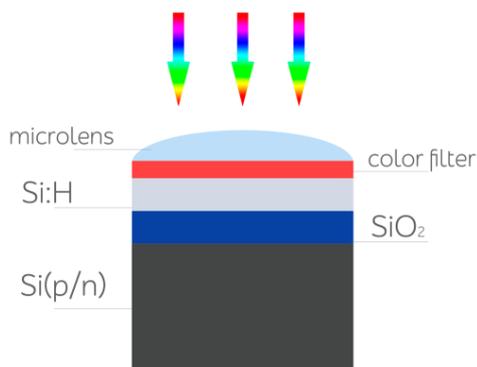


Рис. 1. Строение пикселя цветного сенсора

Поляризационная чувствительность у матричных приемников возникает при изменении взаимной ориентации входной поверхности сенсора и плоскости нормально падающего на нее излучения.

В этом случае фототок на выходе схемы сенсора определяется следующим выражением:

$$i = \frac{e\eta\beta\lambda}{hc} \Phi'' = \frac{e\eta\beta\lambda}{hc} T(\varepsilon, \alpha_{in}) \Phi,$$

где e – заряд электрона; η – квантовая эффективность фотоприемника; β – коэффициент разделения пар носителей заряда; h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме; λ – длина волны излучения, T – коэффициент пропускания.

При этом основным параметром такого поляризационно-чувствительного приемника является эффективная поляризационная чувствительность [2]:

$$\Delta S(\lambda, e) = S_p(\lambda, e) - S_s(\lambda, e) = \frac{e\eta\beta\lambda}{hc} [T_p(\varepsilon) - T_s(\varepsilon)].$$

Из представленной формулы видно, что для исследования распределения чувствительности по площадке сенсора необходимо знать распределение энергетических коэффициентов пропускания или отражения сред, через которые проходит излучение.

Для определения коэффициентов отражения структурных элементов матрицы, а также обобщенного показателя преломления и толщины слоев пикселя, можно воспользоваться результатом решения обратной задачи эллипсометрии. Основное уравнение эллипсометрии, связывающее между собой эллипсометрические углы Δ и Ψ и комплексные значения коэффициентов отражения по амплитуде R_p и R_s для p - и s -составляющих поляризованного излучения, записывается в следующем виде [3]:

$$\rho = \frac{R_p}{R_s} = \operatorname{tg}(\Psi) e^{i\Delta}.$$

Эллипсометрические углы были измерены на эллипсометре ЛЭФ-3М-1, который работает по нулевой схеме (рис. 2). Излучение от источника L проходит через поляризующую часть прибора, состоящую из линейного поляризатора P и компенсатора C . Проходя через поляризатор, излучение приобретает линейную поляризацию, а проходя через компенсатор, пучок света становится в общем случае эллиптически поляризованным. Далее излучение падает на образец S , в качестве которого в измерительном эксперименте использовались поочередно две КМОП-матрицы: цветной сенсор камеры VEC-545-USB и черно-белый сенсор камеры VAC-135-USB, и снова преобразуется в линейно-поляризованное излучение. Потом свет проходит через скрещенный анализатор A , что приводит к гашению светового потока, которое фиксируется приемным блоком D .

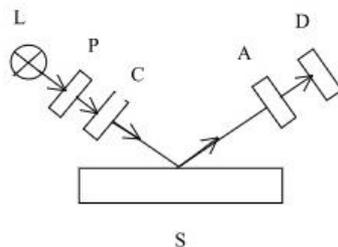


Рис. 2. Структурная схема эллипсометра

При анализе значений, получаемых с эллипсометра, необходимо учитывать систематические погрешности прибора и случайные погрешности измерительного эксперимента. Инструментальная погрешность эллипсометра ЛЭФ-3М-1 составляет 30 угл.сек. Для уменьшения случайной погрешности для каждого образца проводится серия измерений и статистическая обработка результатов. Для уточнения адекватности математической модели все измерения производились для двух углах падения лазерного излучения на матричный приемник: первый угол падения равен 60° , второй 70° . Полученные данные эксперимента представлены в таблице.

Таблица. Результаты эксперимента

Сенсор	Угол падения	Ψ	Δ
Цветной OV5620	60°	4°57'±16'	5°28'±59'
	70°	22°39'±23'	7°42'±14'
Черно-белый OV9121	60°	5°16'±44'	0°21'±36'
	70°	21°46'±8'	35°2'±12'

Физический смысл поляризационных углов простой: $\text{tg}\Psi$ показывает отношение амплитуд коэффициентов отражения для p - и s -взаимноортогональных составляющих излучения, а параметр Δ соответствует разности между фазовыми скачками этих составляющих электромагнитной волны при отражении от образца.

Таким образом, результатом данной работы являлось экспериментальное определение эллипсометрических углов цветной и черно-белой КМОП-матриц, которые будут использованы как входные данные в решении обратной задачи эллипсометрии.

Литература

1. Nam H., Park J.L., Choi J.S., Lee J.G. The optimization of zero-spaced microlenses for 2.2um pixel CMOS image sensor // Optical Microlithography XX. – 2007. – V. 6520. – P. 652034.
2. Панков Э.Д., Коротаев В.В. Поляризационные угломеры. – М.: Недра, 1992. – 240 с.
3. Пшеницын В.И., Абаев М.И., Лызлов Н.Ю. Эллипсометрия в физико-химических исследованиях. – Л.: Химия, 1986. – 152 с.



Лопин Илья Александрович

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, группа № В4166

Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология

e-mail: mr.emulate@gmail.com

УДК 004.02

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕСПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ РАСЧЕТА МОДЕЛЕЙ ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ. ПРИМЕНЕНИЕ И СРАВНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ, ОСОБЕННОСТИ ИХ РЕАЛИЗАЦИЙ

Лопин И.А.

Научный руководитель – к.т.н., ассистент Никехин А.А.

В работе рассмотрено использование графических процессоров для генерации псевдослучайной последовательности значений и сравнение результатов с вычислениями на центральном процессоре.

Ключевые слова: генератор псевдослучайных чисел, графический процессор, центральный процессор, ускорение вычислений, boost.compute, Вихрь Мерсенна.

В работе описано применение библиотеки boost.compute для языка программирования C++, официально включенной в состав широко распространенной и многоплатформенной библиотеки boost, начиная с версии boost 1.61 от 13 мая 2016 года, для моделирования поведения большого числа объектов.

Применение библиотеки обеспечивает многократное, в зависимости от используемого устройства, ускорение параллелизуемых вычислений. Потребность в параллельных

вычислениях может возникнуть при расчете по численным методам, основанным на случайных процессах. Такими методами являются методы Монте-Карло и метод случайных блужданий. Методы Монте-Карло применяются для построения моделей диффузии, адсорбции, десорбции, рекомбинации, при моделировании равновесных составов смесей, свойств жидкостей в микропорах. Метод случайного блуждания применяется для моделирования электростатических полей и броуновского движения.

Для моделирования случайных процессов необходимо получить случайные значения. Для этого можно использовать генератор псевдослучайных чисел [1]. Почти во всех языках программирования имеются встроенные генераторы псевдослучайных чисел. Но при использовании библиотеки boost вместе со встроенными генераторами возникает проблема: генераторы рассчитывают одинаковые последовательности значений для каждого ядра графического процессора. Это происходит из-за невозможности задания начального значения этим генераторам со стороны разработчика, начальные значения генераторов задает компьютер, они основаны на ряде параметров, и эти параметры уникальны для каждого момента времени. При параллельных вычислениях генераторы запускаются одновременно, таким образом, начальные значения генераторов получаются одинаковыми, что и ведет к одинаковым последовательностям. Для решения данной проблемы необходимо написать генератор псевдослучайных чисел самостоятельно, чтобы была возможность контролировать начальные состояния генераторов в каждом ядре. Такой генератор был написан на основе известного алгоритма «Вихрь Мерсенна» [2].

Так как генератор изначально написан для работы с CPU, следующим шагом стала его адаптация для GPU. Для этого в boost.compute имеется специальный макрос BOOST_COMPUTE_FUNCTION(return_type, name, arguments, source), который позволяет передать описанную в нем функцию на выполнение графическим процессором. Особенность этого макроса состоит в том, что он не может принимать переменные и функции, описанные за его пределами. И здесь мы сталкиваемся с еще одной проблемой, поскольку необходимо передавать генераторам их начальные состояния. В результате было принято решение включить в состав макроса алгоритм установки начального значения генераторов.

Тестирование алгоритма проводилось на компьютере со следующей конфигурацией:

- CPU: Intel Core i5-3230M 2.6GHz, CPU Cache: L1 Data – 2×32 KB, L1 Inst. – 2×32 KB, L2 – 2×256 KB, L3 – 3 MB, Cores: 2, Threads: 4;
- GPU: Intel HD Graphics 4000, 350 MHz, Cores: 16.

Для сравнения скорости работы алгоритма на центральном и графическом процессорах были проведены тесты. Тесты проходили для трех различных количеств генерируемых чисел: 100 тыс., 1 млн и 10 млн.

Сначала на центральном процессоре для каждого количества значений было проведено по 10 запусков. Здесь и далее представлены данные, полученные с помощью отладочных средств Microsoft Visual Studio 15.

При генерации на CPU 100 тыс. значений, характеристики процесса следующие: занимаемая память: 578 КБ, загрузка CPU: 25,1%, время расчета: 1,0676 с.

При генерации на CPU 1 млн значений, характеристики процесса следующие: занимаемая память: 588,8 КБ, загрузка CPU: 24,15%, время расчета: 10,7054 с.

При генерации на CPU 10 млн значений, характеристики процесса следующие: занимаемая память: 539,2 КБ, загрузка CPU: 24%, время расчета: 107,1916 с.

Затем были проведены запуски на графическом процессоре. Оказалось, что скорость работы алгоритма на графическом процессоре зависит не только от общего количества генерируемых значений, но и от двух составляющих этого общего числа, а именно, от количества ячеек массива, которое равно задействованным в вычислении ядрам и количества вызовов функции transform, посредством которой генераторы запускаются на ядрах графического процессора.

При генерации на GPU 100 тыс. значений (1000 ячеек и 100 transform), характеристики процесса следующие: занимаемая память: 58,155 МБ, загрузка CPU: 14,55%, время расчета: 0,6166 с.

При генерации на GPU 1 млн значений (10000 ячеек и 100 transform), характеристики процесса следующие: занимаемая память: 60,265 МБ, загрузка CPU: 6,5%, время расчета: 3,1482 с.

При генерации на GPU 10 млн значений (100000 ячеек и 100 transform), характеристики процесса следующие: занимаемая память: 60,93 МБ, загрузка CPU: 13,1%, время расчета: 28,4902 с.

Выводы. Вычисления на центральном процессоре используют намного меньше оперативной памяти компьютера, но требуют больше ресурсов от самого процессора, чем вычисления на графическом процессоре. Результаты вычислений на графическом процессоре различаются в зависимости от выбранного соотношения задействованных ядер и вызовов функции transform.

Интересно взглянуть на характеристики процесса при генерации 1 млн значений при ином соотношении ячеек и transform, а именно 1000 ячеек и 1000 transform. Характеристики процесса следующие: занимаемая память: 58,175 МБ, загрузка CPU: 13,45%, время расчета: 4,4922 с. Можно заметить, что время генерации мало отличается от времени с соотношением 10000 ячеек и 100 transform. Данный факт говорит о том, что не имеет смысла увеличивать до максимума число, отвечающее за количество использованных ядер (количество ячеек). Самый большой выигрыш в скорости работы будет наблюдаться при кратности количества используемых ядер с количеством имеющихся на видеокарте свободных ядер.

Если количество ячеек выставить кратным количеству имеющихся ядер на графическом процессоре, то мы получим, что при использовании в вычислениях графического процессора затраты памяти увеличиваются в 100 раз, при этом нагрузка на центральный процессор падает в 2–3 раза, и время вычислений сокращается в 2–4 раза для данной конфигурации компьютера [3].

Литература

1. Генератор псевдослучайных чисел [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Генератор_псевдослучайных_чисел, своб.
2. Boost compute documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.boost.org/doc/libs/1_62_0/libs/compute/doc/html/index.html, своб.
3. Вихрь Мерсенна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Вихрь_Мерсенна, своб.



Лукьянов Геннадий Николаевич

Год рождения: 1946

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, д.т.н., профессор
e-mail: gen-lukjanow@yandex.ru



Лебедев Александр Александрович

Год рождения: 1959

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, д.ф.-м.н., профессор
e-mail: SHUBA.LEBE@mail.ioffe.ru

**Кузьмин Виктор Александрович**

Год рождения: 1944

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, к.т.н.

e-mail: v.kuzmin44@mail.ru

**Минина Марина Владимировна**

Год рождения: 1996

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В3450

Направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика

e-mail: minina.marina24@gmail.com

УДК 620.192.63

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ГРАФЕНОВЫХ ПЛЕНОК
ПРИ НОРМАЛЬНОМ ДАВЛЕНИИ И В ВАКУУМЕ****Лукьянов Г.Н., Лебедев А.А., Кузьмин В.А., Минина М.В.****Научный руководитель – д.т.н., профессор Лукьянов Г.Н.**

Рассмотрена релаксация системы из слоя графена, полученного с помощью термического разложения карбида кремния, покрытого органическим слоем. Релаксация происходит под воздействием циклического нагрева-охлаждения в вакууме. Приводится дрейф полученных температурных зависимостей системы графен-органический слой от цикла к циклу.

Ключевые слова: графен, релаксация системы графен-органический слой, дрейф, температурные зависимости, примеси.

Графен является самым тонким материалом, структура которого представлена кристаллической решеткой, толщиной в один атом углерода. Кроме того, графен является одним из самых прочных материалов, и его устойчивость к механическим воздействиям сравнима с таковой у алмаза [1, 2].

Для проведения экспериментов использовался графен, полученный методом термодеструкции карбида кремния. Основным достоинством метода термического разложения карбида кремния являются размеры выращиваемого графена, которые ограничиваются только размерами исходной подложки SiC.

Цель работы – исследовать влияние органического слоя на зависимость сопротивления графеновых пленок от температуры и временного и температурного дрейфа этой зависимости.

Объектами исследования являлись образцы в виде пластин размерами 20×5 см, сделанные методом термодеструкции карбида кремния (рис. 1).

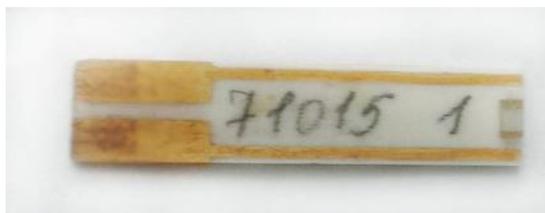


Рис. 1. Образец на основе графена

Для проведения измерений через образец пропускался ток $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ А, что обусловило порядок падения напряжения на нем порядка от сотен микровольт до милливольт. Для измерения этих малых падений напряжения применялся гальванометр Ф136.

Общая схема для проведения экспериментов состояла из лабораторного автотрансформатора типа ЛАТР-1, вольтметра универсального В7-78/1, магазина сопротивлений, используемого для градуировки гальванометра и ионизационно-термопарного вакууммера.

Первый эксперимент нагревания и охлаждения был проведен с датчиком при нормальном атмосферном давлении ($P=1$ атм.), в диапазоне температур от 30°C до 100°C . Данный опыт повторили несколько раз, зависимость сопротивления от температуры можно увидеть на графике №1 (рис. 2).

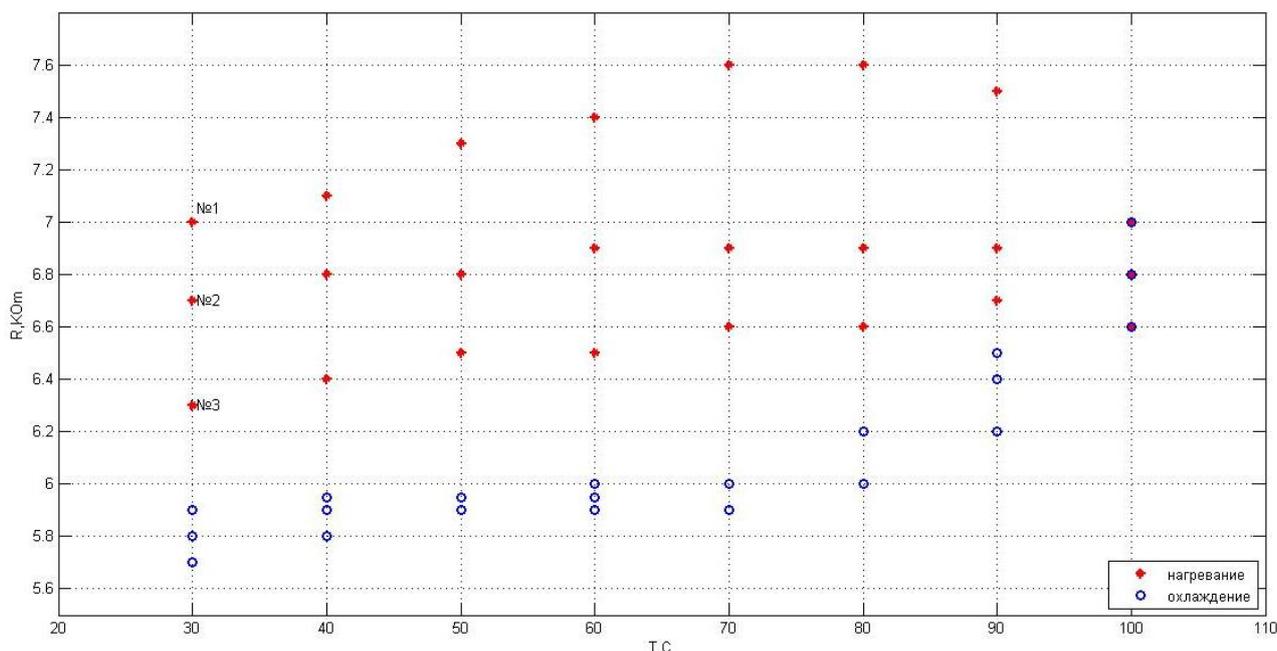


Рис. 2. Зависимость $R(t)$ датчика при нормальном атмосферном давлении

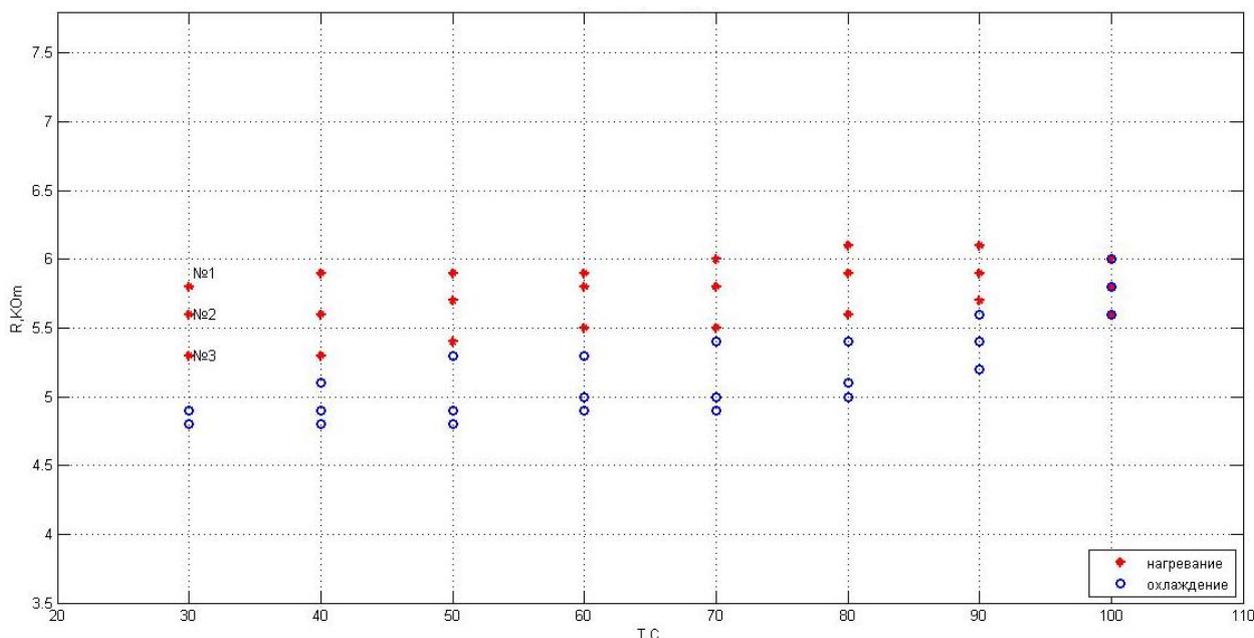


Рис. 3. Зависимость $R(t)$ датчика в вакууме

При нагревании от $t=30^\circ\text{C}$, $R_{cp}=7$ кОм, наблюдается прямая пропорциональная зависимость сопротивления образца $R(t)$. После охлаждения до $t=30^\circ\text{C}$, сопротивление упало

относительно первоначального и стало равно, $R_{ср}=5,9$ кОм. На начало проведения второго опыта сопротивление системы составляло $R_{ср}=6,7$ кОм, при температуре $t=30^{\circ}\text{C}$, это говорит о релаксации системы графен-биологический слой при нагреве, т.е. дрейф составил 0,3 кОм. После процесса охлаждения $R_{ср}=5,8$ кОм из этих показаний следует, что релаксация системы происходит и при процессе охлаждения. Дрейф при нагреве в третьем опыте составил 0,4 кОм.

Результаты опытов при пониженном давлении ($P=0,05$ атм., в диапазоне температур от 30°C до 100°C), изображены на графике №2 (рис. 2). Начальное значение до процесса нагревания $R_{ср}=5,8$ кОм при $t=30^{\circ}\text{C}$, после охлаждения $R_{ср}=4,9$ кОм. Дрейф во втором опыте стал равен 0,2 кОм при нагревании, и 0,1 кОм при охлаждении. Релаксация системы под воздействием циклического нагрева-охлаждения продолжалась и в третьем эксперименте (рис. 3).

Таким образом, в работе исследовано и графически показана зависимость сопротивления датчика на основе графена с органическим напылением. В ходе эксперимента происходит явная релаксация системы, что позволяет говорить о существенном влиянии примесей на зависимость сопротивления от температуры в датчиках на основе графена. Из всей проделанной работы можно сделать вывод, что органические примеси очень тяжело поддаются удалению с поверхности графена, в соответствии с чем оказывают колоссальное влияние на свойства датчиков на основе графеновых пленок.

Литература

1. Лебедев А.А., Стрельчук А.М., Шамшур Д.В., Оганесян Г.А., Лебедев С.П., Мынбаева М.Г., Садохин А.В. Электрические характеристики пленок мультиграфена на подложках высокоомного карбида кремния // Физика и техника полупроводников. – 2010. – Т. 44. – № 10. – С. 1436–1438.
2. Лебедев А.А., Котоусова И.С., Лаврентьев А.А., Лебедев С.П., Дементьев П.А., Петров В.Н., Смирнов А.Н., Титков А.Н. Исследование пленок мультиграфена, получаемых на поверхности SiC методом сублимации // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52. – № 4. – С. 799–805.



Мавлютов Айдар Марселевич

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: a.m.mavlyutov@gmail.com



Латынина Татьяна Андреевна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, группа № В4270

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: melody13@rambler.ru



Мурашкин Максим Юрьевич

Год рождения: 1970

Уфимский государственный авиационный технический университет,
Научно-исследовательский институт физики перспективных
материалов, к.т.н., ст.н.с.

e-mail: m.murashkin70@gmail.com



Валиев Руслан Зуфарович

Год рождения: 1949

Уфимский государственный авиационный технический университет,
Научно-исследовательский институт физики перспективных
материалов, д.ф.-м.н.

e-mail: rzvaliev@ugatu.ru



Орлова Татьяна Сергеевна

Год рождения: 1955

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра современных функциональных материалов,
д.ф.-м.н., профессор

e-mail: orlova.t@mail.ioffe.ru

УДК 537.9, 539.424

**ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ**

Мавлютов А.М. (Университет ИТМО), **Латынина Т.А.** (Университет ИТМО),
Мурашкин М.Ю. (Уфимский государственный авиационный технический университет),
Валиев Р.З. (Уфимский государственный авиационный технический университет),
Орлова Т.С. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Орлова Т.С. (Университет ИТМО)

Работа выполнена в рамках темы НИР № 716963 «Разработка перспективных функциональных материалов и исследование их характеристик для применения в фотонике и микроэлектронике».

В работе исследовано влияние отжига на микроструктуру и механические свойства ультрамелкозернистого технически чистого алюминия. Предложен новый способ одновременного повышения прочности и пластичности, основанный на введении дополнительной плотности дислокаций в ультрамелкозернистую структуру, содержащую большое количество высокоугловых границ зерен.

Ключевые слова: интенсивная пластическая деформация, ультрамелкозернистая структура, технически чистый алюминий, прочность, пластичность.

Сочетание высокой прочности и пластичности является важным условием при использовании алюминиевых сплавов в качестве проводниковых материалов. Благодаря использованию различных методов интенсивной пластической деформации (ИПД) стало возможно достижение рекордных показателей прочности [1]. В результате обработки ИПД

происходит измельчение зерен до ультрамелкого масштаба, повышение плотности дефектов кристаллической решетки, а также формирование особой структуры границ зерен (ГЗ) [1]. Существенным недостатком сформированной ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры является значительное снижение пластичности по сравнению с крупнозернистым (КЗ) состоянием. Для оптимизации прочностных и пластических свойств в последнее время активно проводятся исследования по влиянию отжига на механические свойства УМЗ алюминия (Al). Данные этих исследований имеют некоторые противоречия. В связи с этим важной задачей представляется выявление ключевых микроструктурных параметров, ответственных за изменение механических свойств УМЗ Al при отжиге и нахождение путей повышения пластичности УМЗ Al при сохранении высокого уровня прочности.

В работе исследованы образцы технически чистого Al (99,5 мас.%). Исходные КЗ образцы были подвергнуты интенсивной пластической деформации кручением под давлением (ИПДК) на 10 оборотов при комнатной температуре (КТ) под давлением 6 ГПа [1]. Обработка ИПДК позволила получить УМЗ структуру в исходных КЗ образцах, отжиг УМЗ образцов был проведен при различных температурах отжига (T_{an}) в интервале 363–673 К в течение 1 ч. Испытания образцов на одноосное растяжение было проведено на машине Shimadzu AG-XD Plus с постоянной скоростью деформации $1 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. На основе полученных диаграмм напряжение–деформация были определены условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$), соответствующий 0,2% деформации, предел прочности (σ_{UTS}) и пластичность до разрушения (δ).

Эволюция микроструктуры образцов УМЗ Al в результате отжига подробно была авторами исследована в работах [2, 3]. В результате ИПДК обработки в исходных КЗ образцах сформировалась УМЗ структура преимущественно с высокоугловыми разориентировками ГЗ, со средним размером зерен приблизительно 810 нм, отжиг при температурах до 473 К не приводил к существенному росту зерен и изменению разориентировок ГЗ, однако в структуре происходили процессы возврата, о чем свидетельствует снижение плотности дислокаций [2]. В таблице приведены основные параметры микроструктуры и результаты механических испытаний, образцы после отжига обозначены как Al_ T_{an} , например, Al_363 – образец, прошедший ИПДК обработку и впоследствии отожженный при 363 К в течение 1 ч.

Таблица. Параметры микроструктуры и механические свойства образцов Al после ИПДК обработки и последующих отжигов. d_{av} – средний размер зерен; $\theta_{>15}$ – доля высокоугловых границ зерен; L_{disl} – плотность дислокаций; $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести, соответствующий 0,2% деформации; σ_{UTS} – предел прочности; δ – пластичность

Образец	d_{av} , нм	$\theta_{>15}$, %	L_{disl} , M^{-2}	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{UTS} , МПа	δ , %
	данные из работ [2, 3]			настоящая работа		
КЗ Al				33±5	46±6	38±2
УМЗ Al	810±9	77	$2 \cdot 10^{12}$	135±3	184±7	18±2
Al_363	850±11	78	$7 \cdot 10^{11}$	184±18	223±11	14±4
Al_403	1130±17	80	$6 \cdot 10^{11}$	185±9	222±8	9±5
Al_423	1160±9	76		201±14	237±11	~1
Al_473	1090±18	72		203±13	207±13	~1
Al_673 (КЗ структура)	7200±525	31		28±1	55±1	42±2

Образец	d_{av} , нм	$\theta_{>15}$, %	L_{disl} , M^{-2}	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{UTS} , МПа	δ , %
	данные из работ [2, 3]			настоящая работа		
Al_423+0,25				130±1	180±1	34±1
Al_423+0,25+423				202±7	231±4	13±2
Al_423+0,25+423+0,25				125±3	167±5	41±3

В исходном КЗ состоянии образцы Al демонстрируют довольно низкий условный предел текучести $\sigma_{0,2} \approx 33$ МПа, низкую предельную прочность $\sigma_{UTS} \approx 46$ МПа, и высокую пластичность $\delta \approx 38\%$ (кривая 1 на рисунке). В результате ИПДК обработки наблюдается повышение предела прочности и условного предела текучести в ~ 4 раза, однако пластичность образцов снижается до $\delta \approx 18\%$ (кривая 2 на рисунке). Последующие отжиги при температурах 363–473 К приводят к дополнительному повышению предела прочности и условного предела текучести, однако пластичность образцов значительно снижается (таблица). Максимальное повышение предела прочности (на $\sim 30\%$) и условного предела текучести (на $\sim 50\%$) получено после отжига при 423 К (кривая 3 на рисунке, таблица).

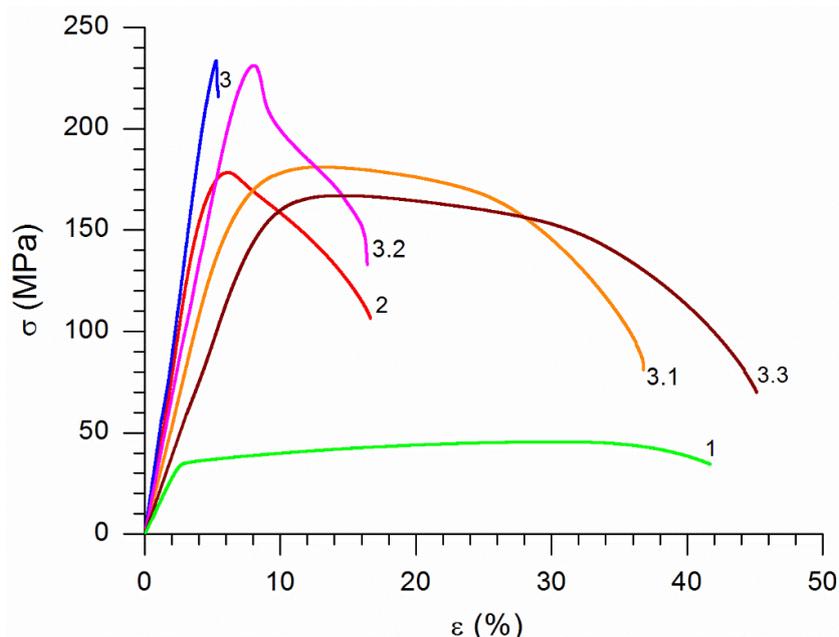


Рисунок. Диаграммы напряжение–деформация образцов технического чистого Al.
 Кривые: 1 – в исходном КЗ состоянии; 2 – после ИПДК обработки на 10 оборотов при КТ; 3 – после ИПДК обработки и последующего отжига при 423 К в течение 1 ч; 3.1 – обработка, аналогичная 3, плюс ИПДК обработка на 0,25 оборота при КТ; 3.2 – обработка, аналогичная 3.1, плюс отжиг при 423 К в течение 1 ч; 3.3 – обработка, аналогичная 3.2, плюс ИПДК обработка на 0,25 оборота при КТ

Как показали данные исследования микроструктуры [2, 3], в результате отжига образцов УМЗ Al происходит снижение плотности дислокаций (таблица). При низкотемпературном отжиге (363–403 К) снижение плотности дислокаций происходит, по-видимому, главным образом за счет перестройки структуры ГЗ из неравновесной в более равновесную [2]. Такая перестройка структуры ГЗ может быть причиной повышения предела текучести и одновременного снижения пластичности образцов после отжигов, низкая пластичность объясняется тем, что количество источников подвижных дислокаций после отжига сильно уменьшается [4]. Для повышения пластичности

образцов УМЗ Al после отжига при 423 К была проведена дополнительная обработка ИПДК на 0,25 оборота при КТ (далее образец обозначен как Al_423+0,25). Типичная диаграмма растяжения образца Al_423+0,25 показана на рисунке (кривая 3.1). Видно, что дополнительная деформация кручением на 0,25 оборота привела к значительному увеличению пластичности до $\delta \approx 34\%$, при этом уровень прочностных свойств (значения $\sigma_{0,2}$ и σ_{UTS}), хотя и уменьшился по сравнению с образцом Al_423, но сохранился на уровне, характерном для образца УМЗ Al (таблица).

Чтобы убедиться в том, что снижение пластичности обусловлено именно уменьшением плотности дислокаций, образцы после дополнительной ИПДК обработки были вновь подвергнуты отжигу при 423 К в течение 1 ч (данный образец обозначен как Al_423+0,25+423), а затем вновь обработаны ИПДК на 0,25 оборота при КТ (образец Al_423+0,25+423+0,25). Видно, что каждый этап обработки ИПДК на 0,25 оборота при КТ приводил к существенному увеличению пластичности образцов с УМЗ структурой (кривые 3.1 и 3.3 на рисунке), при этом условный предел текучести и предел прочности сохранялись на высоком уровне, соизмеримом с соответствующими значениями в образцах УМЗ Al. Отжиг при 423 К приводил к повышению прочности и снижению пластичности (кривая 3.2 на рисунке, таблица). Таким образом, дополнительная термомеханическая обработка, состоящая из серии отжигов и дополнительных деформаций, позволила повысить пластичность до уровня, характерного для исходного КЗ образца, и даже несколько превысить его, достигнув значения $\delta \approx 41\%$ (кривая 3.3 на рисунке). При этом значения предела текучести и предела прочности ($\sigma_{0,2} \approx 125$ и $\sigma_{UTS} \approx 167$ МПа соответственно) были соизмеримы с подобными характеристиками для УМЗ Al после ИПДК. Насколько авторам известно, одновременное достижение таких высоких значений прочности и пластичности получено впервые.

Таким образом, в настоящей работе было достигнуто одновременное увеличение прочности (в $\sim 3,6$ раза) и пластичности (до $\sim 42\%$) технически чистого Al. С этой целью обработка исходных КЗ образцов была проведена в несколько этапов, включающих ИПДК на 10 оборотов при КТ, отжиг УМЗ образцов в интервале температур 363–673 К, и дополнительная ИПДК обработка на 0,25 оборота при КТ. Дополнительная термомеханическая обработка УМЗ Al позволяет существенно повысить пластичность материала при сохранении высоких значений предела прочности и условного предела текучести, наиболее вероятно, за счет введения в структуру дополнительных мобильных дислокаций. Обнаруженное значительное повышение предела прочности (до $\sim 30\%$) УМЗ Al после ИПДК путем отжига при температурах 363–473 К указывает на существование особого механизма упрочнения в УМЗ структуре, полученной ИПДК.

Литература

1. Valiev R.Z., Islamgaliev R.K., Alexandrov I.V. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation // *Progress in Materials Science*. – 2000. – V. 45. – P. 103–189.
2. Orlova T.S., Mavlyutov A.M., Bondarenko A.S., Kasatkin I.A., Murashkin M.Yu., Valiev R.Z. Influence of grain boundary state on electrical resistivity of ultrafine grained aluminium // *Philosophical Magazine*. – 2016. – V. 96. – P. 2429–2444.
3. Mavlyutov A.M., Bondarenko A.S., Murashkin M.Yu., Boltynjuk E.V., Valiev R.Z., Orlova T.S. Effect of annealing on microhardness and electrical resistivity of nanostructured SPD aluminium // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2017. – V. 698. – P. 539–546.
4. Kamikawa N., Huang X., Tsuji N., Hansen N. Strengthening mechanisms in nanostructured high-purity aluminium deformed to high strain and annealed // *Acta Materialia*. – 2009. – V. 57. – P. 4198–4208.



Мазанов Михаил Андреевич

Год рождения: 1991

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, группа № V4120

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: Anizar13@yandex.ru

УДК 535.313.2; 681.7

СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ ЮСТИРОВКИ ДВУХЗЕРКАЛЬНОЙ ПРОЕКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ВНЕОСЕВЫМИ АСФЕРИЧЕСКИМИ ЗЕРКАЛАМИ

Мазанов М.А., Бурбаев А.М.

Научный руководитель – доцент Бурбаев А.М.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 216606 «Разработка и исследование макетов и узлов оптической схемы», шифр «Кельвин-оптика».

Показан процесс создания методики юстировки двухзеркальной системы с внеосевыми асферическими зеркалами, предназначенной для проецирования потока теплового излучения эталонного источника на фотоприемник. Приведены основные принципы, положенные в основу ее разработки. Показано также как технические требования и конструктивные особенности юстируемой установки предопределили выбор методов и средств юстировки и контроля, а также всей структуры методики.

Ключевые слова: компаратор спектральных яркостей, абсолютно черное тело, внеосевые асферические зеркала, оптическая ось исходной осесимметричной системы, проекция оптической оси на плоскость основания, штихмас.

Введение. Стремительное развитие научных исследований, техники и технологий выдвигают новые, более высокие требования к точности измерения температуры. Так за последние 10–15 лет требования к необходимому уровню погрешности измерения температуры в мире выросли в 10 раз. Это привело к созданию высокоточных термометров, для метрологического обеспечения которых требуется соответствующая точность эталонов.

Зеркальная оптическая система вместе с монохроматором Черни–Тернера и эталонными источниками теплового излучения представляют основу компаратора спектральных яркостей нового государственного эталона единицы температуры в диапазоне выше температуры затвердевания серебра (961,78°C) до 3200°C. Она предназначена для передачи заданной части спектрального потока излучения эталонного или калибруемого источника теплового излучения на фотоприемник, и представляет собой проекционную систему с увеличением $1\times$, состоящую из двух внеосевых асферических зеркал: главного 1 и вторичного 2, имеющих форму эллипсоидов вращения (рис. 1). С передним фокусом первого эллипсоида совпадает предмет (точка *A* на схеме), в роли которого выступают эталонные или калибруемые источники излучения. В плоскости совмещенных фокусов двух эллипсоидов установлена полевая диафрагма (ПД), где образуется промежуточное изображение предмета. Это промежуточное изображение вторым зеркалом проецируется в плоскость входной щели монохроматора, который совместно с приемником излучения выполняет функцию анализатора изображения. На плоское зеркало 3 возложена компоновочная функция.

Задачи и особенности методики юстировки зеркальной системы. Замена сферических зеркал внеосевыми асферическими и составляет принципиальное отличие оптических систем нового эталона и существующего. В целом же усовершенствование

конструкции компаратора по замыслу разработчиков преследовало цель повышения его чувствительности, стабильности и точности позиционирования источников теплового излучения.

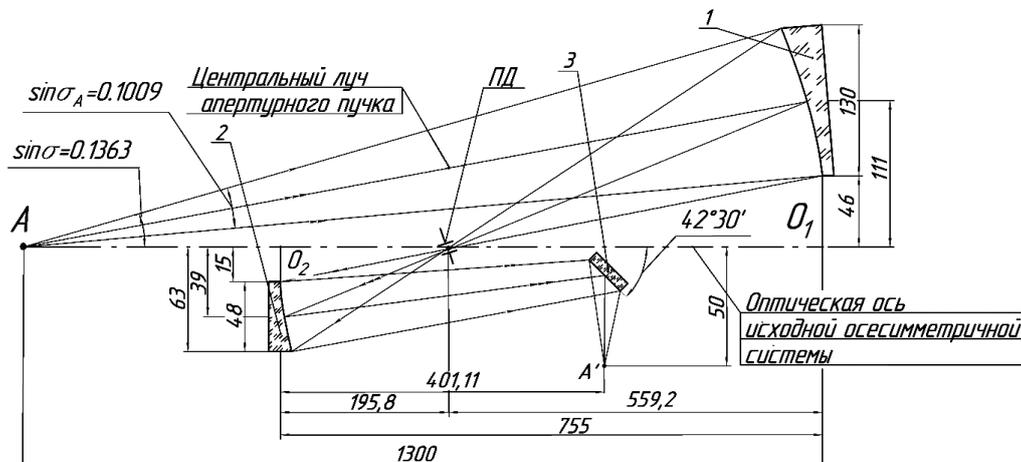


Рис. 1. Оптическая схема зеркальной проекционной системы

Основной задачей юстировки зеркальной системы являлось – обеспечить проецирование излучающей поверхности ленты температурной лампы, как теплового излучателя, или диафрагмы выходного отверстия модели абсолютно черного тела на входную щель монохроматора с минимальными искажениями структуры изображения. Следовательно, в качестве критерия оценки качества зеркальной системы целесообразно считать функцию рассеяния.

Особенности методики юстировки системы были predetermined следующими обстоятельствами конструктивного характера.

1. Компаратор должен перемещаться вдоль ряда неподвижных источников теплового излучения. В связи с этим он скомпонован на подвижной платформе размерами $1000 \times 1000 \times 25$ мм, перемещаемой по направляющим (рис. 2).
2. Вся аппаратура эталона размещена на двух оптических столах фирмы Standa 1200×2400 мм.
3. Конструкции оправ для закрепления и регулирования зеркал по пяти степеням подвижности были заказаны по каталогу элементов фирмы Standa. Спроектированы сборочные единицы и переходные детали для соединения отдельных узлов.
4. Большие продольные отрезки между элементами оптической системы, разновысотность столов, на которых они установлены, и большие высоты расположения осевых лучей световых пучков над плоскостью основания – predetermined выбрали визирного метода контроля с разметкой на плоскости основания проекций центрального луча пучка и оптической оси исходной осесимметричной зеркальной системы. В качестве же средств контроля были выбраны: визирная труба ППС–11, нитяные отвесы, имитаторы зеркал, штихмасы, линейка измерительная, угольники, штангенинструменты и другие.

Принципы, положенные в основу разработки методики юстировки. Одним из принципов разработки методики юстировки устройств, требующих высокой точности взаимной установки оптических элементов, является разделение процесса на два этапа: геометрической юстировки и этап специальной юстировки [1]. На первом этапе элементы оптической системы устанавливаются в заданное положение с погрешностями взаимного расположения элементов в десятые доли миллиметра и от долей угловой минуты до нескольких минут. На этом этапе применяют косвенные методы контроля, используя вспомогательные базы, применяя автоколлимационные и визирные методы, центрирование с помощью лазерного луча, приемы и методы металлообработки и механической сборки, стандартные и типовые измерительные приборы, приспособления и инструменты [2, 3].



Рис. 2. Компоновка основных узлов компаратора спектральных яркостей на платформе (а); внешний вид макета установки эталона единицы температуры в процессе юстировки (б)

На втором этапе контроль и юстировку осуществляют в условиях функционирования системы в штатном режиме. В зависимости от назначения устройства, его оптической системы контролируют, например, выходной зрачок, предел разрешения, функцию рассеяния, качество изображения в центре и на краю поля, деформацию или наклон волнового фронта, используя визуальные, интерференционные, дифракционные, фотоэлектрические и иные методы и средства контроля [2, 3].

Другим принципом является принцип узловой взаимозаменяемости, предполагающий выполнение максимального объема технических требований, предъявляемых к изделию, на стадии узловой сборки. Следующий принцип – это правильное назначение и рациональное использование баз [2, 3].

Наконец, «принцип самоюстировки», предполагающий для осуществления точного базирования схемных элементов использование свойств самих элементов, их рабочих и базовых поверхностей. Для эллиптических зеркал – это оптическая сопряженность фокусов.

Большой объем вспомогательного оборудования, большие продольные отрезки и ограниченные размеры подвижной платформы создавали дополнительную проблему оптимальной компоновки узлов на платформе. Ее решение предопределило выбор узла главного зеркала как базового.

Последовательность и краткое содержание операций сборки и юстировки

1. Узловая сборка:

- установка механизмов поступательных перемещений зеркал в горизонтальной плоскости в среднее положение с фиксацией отсчетов на барабанах;
- установка перпендикулярности базовых (тыльных) поверхностей зеркал к плоскости основания узлов в сборе и в среднее положение по развороту в горизонтальной плоскости;
- установка высоты расположения центров имитаторов зеркал над плоскостью основания, равной 210 мм;
- установка параллельности меридионального сечения зеркал плоскости основания узлов в сборе.

2. Общая сборка. Этап предварительной установки элементов оптической системы в соответствии со схемой:

- установка на платформе узла главного зеркала;
- разметка на плате проекции центрального луча и установка технологической ирисовой диафрагмы, материализующей точку A излучателя;
- нахождение проекции вершины исходной осесимметричной поверхности главного зеркала (точка O_1 на схеме) и прокладывание проекции оптической оси; разметка на этой оси проекций остальных реперных точек;
- предварительная установка вторичного зеркала в сборе; установка по разметке вспомогательной и полевой диафрагм;

- уточняющая угловая юстировка главного зеркала с «оптическим контролем» сопряжения фокусов главного эллиптического зеркала;
 - уточняющая угловая и «продольная» юстировка вторичного эллиптического зеркала с «оптическим контролем» сопряжения его фокусов;
 - установка плоского зеркала.
3. Общая сборка. Этап специальной юстировки:
- контроль функционирования зеркальной системы в штатном режиме путем засветки главного зеркала лазерным пучком, исходящим из технологической диафрагмы A , требуемого значения апертурного угла;
 - установка монохроматора.

Заключение. Разработана и была применена в процессе сборки экспериментального образца нового первичного эталона единицы температуры методика юстировки его зеркальной системы. К сожалению, испытание этого образца не было завершено из-за неудовлетворительного качества зеркал. В настоящее время заключен договор на изготовление новых зеркал, качество изготовления которых должно быть подтверждено паспортом.

Литература

1. Погарев Г.В. Юстировка оптических приборов. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1982. – 237 с.
2. Бурбаев А.М. Методы и средства цехового контроля установки плоских зеркал и призм в сходящихся пучках лучей // Оптико-механическая промышленность. – 1977. – № 5. – С. 52–63.
3. Ларионов Н.П. Юстировка двухзеркальных коллиматоров с внеосевыми асферическими зеркалами // Оптический журнал. – 2007. – Т. 74. – № 6. – С. 37–44.



Макаров Ростислав Николаевич

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В3445

Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: makarov-@outlook.com



Балмашнов Роман Владимирович

Год рождения: 1992

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: romzes-b@mail.ru



Корнев Алексей Федорович

Год рождения: 1960

Научно-исследовательский центр лазерной физики, вед. инженер

e-mail: afkornev@hotmail.com



Кучма Игорь Григорьевич

Год рождения: 1963

Научно-исследовательский центр лазерной физики, вед. инженер

e-mail: igor_kuchma@yahoo.com

УДК 621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ТЕРМОЛИНЗЫ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ МОЩНОГО Nd:YAG ЛАЗЕРА

Макаров Р.Н., Балмашнов Р.В., Корнев А.Ф., Кучма И.Г.

Научный руководитель – Балмашнов Р.В.

В работе проведены исследования влияния температуры хладагента на выходные параметры усилителя. Показано, что для стабилизации выходных характеристик усилителя необходимо предпринять меры по устранению неустойчивости температуры хладагента. Сделан вывод о том, что для компенсации нестационарной составляющей термически наведенной линзы требуется использовать адаптивную оптическую систему (АОС). Проведено сравнение различных схем реализаций АОС. По результатам сравнения выбрана конфигурация АОС, удовлетворяющая требованиям авторов.

Ключевые слова: термолинза, термоклин, неустойчивость термолинзы, искажения волнового фронта, лазер с диодной накачкой, адаптивная оптическая система.

Базовые положения исследования. В настоящее время перед НИЦ лазерной физики Университета ИТМО стоит задача разработки лазера с пикосекундной длительностью импульса. Был реализован макет лазера по схеме с усилением излучения пикосекундного задающего генератора в двухпроходовом усилителе [1]. Схема лазера представлена на рис. 1. Излучение задающего генератора (ЗГ) проходит формирующую оптическую систему, коллимирующую излучение, делает один обход по усилителю и выводится с помощью поляризационной развязки. Для защиты задающего генератора от деполаризованной компоненты используется изолятор Фарадея. Стационарная компонента термически наведенной линзы (ТЛ) компенсируется с помощью ретрансляторов.

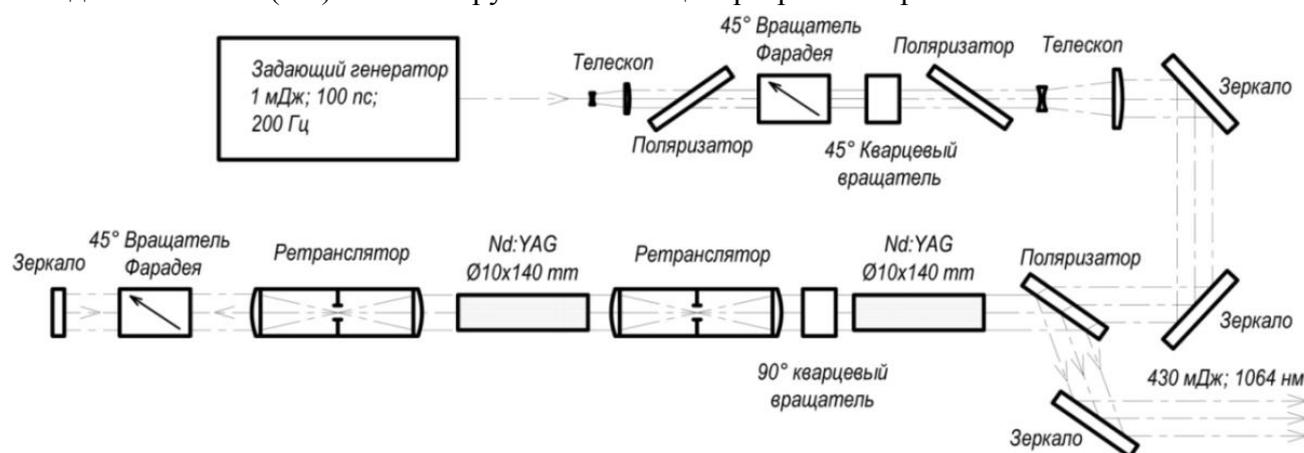


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема лазера

Был проведен ряд экспериментов, по результатам которых выявлена зависимость расходимости излучения на выходе усилителя и выходной энергии от температуры хладагента (рис. 2).

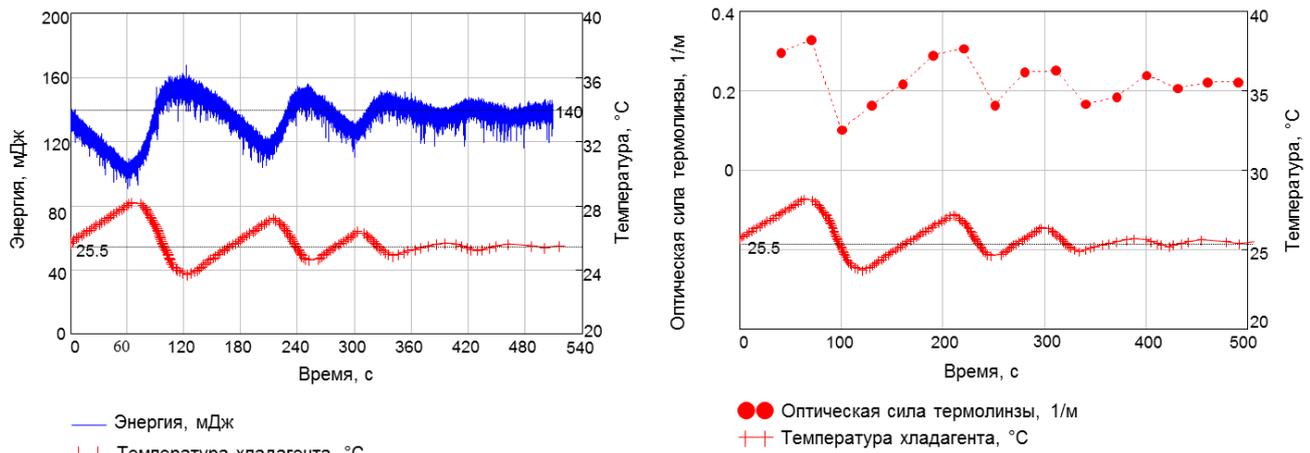


Рис. 2. Зависимости выходной энергии и оптической силы термолинзы от изменения температуры хладагента

Изменение выходной энергии и расходимости выходного излучения происходило по следующим причинам:

- смещение длины волны излучения лазерных диодных матриц (ЛДМ);
- изменение взаимодействия ионов активатора с решеткой за счет колебаний температуры активных элементов (АЭ), влекущее за собой деформацию контуров линии поглощения и люминесценции, сдвиг по частоте максимумов этих линий, изменение значений времен жизни на уровнях, их населенностей и поперечных сечений вынужденных переходов [2];
- появление различных потерь на апертурах усилителя за счет изменения оптической силы ТЛ в АЭ.

В связи с вышеизложенным авторы пришли к выводу, что для уменьшения расходимости, вызванной нестационарной составляющей ТЛ, помимо методов пассивной компенсации, требуется использовать адаптивную оптическую систему (АОС) с обратной связью. Также необходимо предпринять комплекс мер по уменьшению нестационарной компоненты ТЛ в АЭ усилителя.

Учитывая, что скорость изменения оптической силы термически наведенной линзы небольшая, диапазон изменения оптической силы также небольшой, реализация такой адаптивной системы не представляет какой-либо сложности. В качестве исполнительного элемента такой системы может быть использован оптический компенсатор [3], гибкое зеркало [4], либо простейшая оптическая система с переменным фокусным расстоянием. Существенно упрощает реализацию такой системы то, что управляющий элемент может быть расположен не на выходе усилителя, а в том месте, где мощность/энергия излучения невысоки.

Вывод. Было проведено сравнение возможных схем реализации АОС [3, 4] для компенсации искажений волнового фронта, вызванных термически наведенными линзой и клином. По результатам сравнения выбрана схема АОС, в которой анализ выходного излучения осуществляется с помощью астигматической линзы и датчика осевого положения пучка. В качестве исполнительных элементов такой системы планируется использовать оптические элементы (зеркало и линза), установленные на моторизированные подвижки. Замкнуть обратную связь АОС планируется с помощью PID-контроллера.

Для снижения требований к адаптивной системе необходимо предпринять следующий комплекс мер по уменьшению тепловых колебаний в активных элементах усилителя:

- использование системы охлаждения с правильно настроенным контроллером температуры;
- использование активных элементов с высоким квантовым выходом люминесценции;
- оптимизация длительности импульсов накачки;
- подавление усиленной люминесценции.

Литература

1. Balmashnov R.V., Katsev Y.V., Kornev A.F., Kuchma I.G., Oborotov D.O. 100 ps 360 mJ 200 Hz Nd:YAG laser for the lunar laser ranging // International Conference Laser Optics. – 2016. – P. R64.
2. Мезенов А.В., Сомс Л.Н., Степенев А.И. Термооптика твердотельных лазеров. – Л.: Машиностроение, 1986. – 199 с.
3. Zhanwei Liu, Paul Fulda, Muzammil A. Feedback control of optical beam spatial profiles using thermal lensing // Applied Optics. – 2013. – V. 52. – № 26. – P. 6452–6457.
4. Schwarz J., Geissel M., Rambo P. Development of a variable focal length concave mirror for on-shot thermal lens correction in rod amplifiers // Optics Express. – 2006. – V. 14. – № 23. – P. 10957–10969.



Малашук Наталья Михайловна

Год рождения: 1994

Факультет технологического менеджмента и инновации,
кафедра экономики и стратегического менеджмента, группа № U4247

Направление подготовки: 38.04.01 – Экономика

e-mail: akesa@mail.ru



Павлова Елена Александровна

Год рождения: 1963

Факультет технологического менеджмента и инновации,
кафедра экономики и стратегического менеджмента, к.э.н., профессор

e-mail: eapavlova@corp.ifmo.ru

УДК 330

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Малашук Н.М., Павлова Е.А.

Научный руководитель – к.э.н., профессор Павлова Е.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 610749 «Проектирование и экономическое обоснование оптических систем для фундаментальных и прикладных исследований».

В работе затронуты проблемы оценки результативности научных исследований. Рассмотрены наиболее используемые методы оценки результативности научной деятельности, такие как наукометрический подход, экспертный метод, гибридный метод. Проанализированы методы, которые возможно использовать при фундаментальных и прикладных исследованиях.

Ключевые слова: методы оценки, наукометрический подход, экспертный метод, гибридный метод.

Одна из основных проблем российской науки – это недостаточное финансирование научных исследований, как со стороны государства, так и со стороны коммерческого сектора, который заинтересован в первую очередь в быстром возврате вложенных средств. Однако в последнее время увеличилось государственное финансирование науки [1] и количество научных исследований и разработок, поддерживаемых различными фондами. В связи с этим

становится актуальной проблема анализа и оценки получаемых результатов от научно-исследовательской деятельности для выбора наиболее перспективного вложения денежных средств. Ресурсы, выделяемые на науку, довольно ограниченные, потому необходимо наличие информации о состоянии научных исследований как в России, так и за рубежом.

Представленные на графике (рисунок) статистические данные [2] показывают, что выделение денежных средств происходит преимущественно на прикладные научные исследования, это связано с более быстрой отдачей от вложенного капитала. Изначально видно, что вложения происходили до 2004 года примерно в одинаковых объемах, но из-за более быстрой окупаемости прикладных исследований, вложение в данную отрасль более перспективно на краткосрочный период. Вложение средств в фундаментальные исследования не выгодно из-за большого временного лага, который достигает 30 лет. Подобные долгосрочные вложения могут позволить очень крупные корпорации либо государство.

Наиболее используемые методы оценки результативности научной деятельности следующие:

1. наукометрический подход;
2. экспертный метод;
3. гибридный метод.



Рисунок. Финансирование научных исследований из средств федерального бюджета

1. Наукометрический подход основан на составлении системы показателей различных сфер деятельности научных работников и научных подразделений и проведение сплошной оценки или составление рейтинга. Одной из проблем является обеспечение процесса измерения, статистической обработки результатов и их адекватной интерпретации. Наиболее известные наукометрические инструменты: Web of Science, база разработанная Институтом научной информации США, индексирует более 8,7 тыс. периодических изданий; Scopus – база компании Elsevier индексирует более 15 тыс. существующих журналов. В данных базах размещаются публикации в основном на английском языке, данный факт не устраивает многих ученых, поэтому страны, входящие в Евросоюз, а также в Японии, Китае и России и ряде других стран, разработали свои базы данных наукометрии. В России с 2005 г. активно развивается российский индекс научного цитирования (РИНЦ), функционирующий на базе «Научной электронной библиотеки» – крупнейшей в России электронной библиотеки научных публикаций, обладающей богатыми возможностями поиска и получения информации [3]. Такой ресурс позволяет привязывать ссылки не только к российским, но и зарубежным источникам.

2. Экспертный метод предполагает использование специалистов для оценки результатов научной деятельности за определенный период. Основная проблема этого метода заключается в человеческом факторе, который может привести к неправильной оценке результатов из-за предвзятости, необъективности и коррумпированности эксперта, а также данный метод достаточно продолжительный по времени. Разработана методика определения значений показателей качества научно-технических (НТ) проектов.

Методика Российского фонда фундаментальных исследований [4] предлагает проведение экспертизы на основе сравнительного анализа проектов по трем уровням:

- на первом уровне производится предварительная экспертиза проекта с формализацией результатов на рейтинговой основе;
- на втором уровне устанавливается общий рейтинг проекта:

$$R=r_1+r_2+r_3,$$

где r_1 – учитывает научную ценность проекта; r_2 – учитывает реальность выполнения проекта в срок; r_3 – корректирует суммарную оценку;

- на третьем уровне формируется заключение по проекту [5].

3. Гибридный метод представляет собой симбиоз экспертного метода и наукометрического метода и является более объективным подходом, который призван преодолеть недостатки других методов при сохранении их основных преимуществ. Одной из проблем данного метода является трудность в определении оптимального сочетания наукометрии и экспертного анализа. Нужно учитывать, что ни один из этих методов не может быть осуществлен без другого, как вспомогательного инструмента. Например, получаемая библиометрическая статистика уже содержит два уровня экспертной проверки. Стадия первая представляет собой отбор статей редакционной коллегией для принятия к печати, а на второй стадии – другая группа специалистов проводит отбор журналов для включения их в базу данных.

Данный метод заключается в оценке результата научного исследования по какому-либо содержательному критерию, которое осуществляется не произвольно, а путем установления его места на специально разработанной шкале с заранее определенными рангами и установленными возможными уровнями интенсивности проявления того или иного критерия. Экспертиза заканчивается анализом устойчивости оценок отдельных экспертов внутри их совокупности [6].

Оценка прикладных проектов будет эффективна при использовании экспертного метода. Критериями оценки служат как количественные, так и качественные показатели. Это позволяет оценить проект более компетентно и определить, какой проект будет более эффективным и выгодным по всем показателям. Например, со стороны качественных показателей будут определяться такие показатели как новизна результатов; вклад в развитие отрасли; масштаб реализации результатов; перспективность использования результатов и пр. Количественные показатели позволят определить экономическую составляющую проекта, а именно, насколько будет затратным данный проект, какую он принесет прибыль в конечном результате, поэтому будут использованы такие показатели как период окупаемости, чистый приведенный доход, индекс прибыльности и пр.

Несмотря на многообразие методов, измерить результативность научных исследований не всегда удастся. Это связано с такими факторами как изолированность науки от производства, наличие временного разрыва между получением теоретических знаний и использованием практических результатов научных исследований. В связи с действиями данных факторов используется оценка возможных эффектов, представленных в табл. 1.

Таблица 1. Оценка возможных эффектов, основанная на прогнозах будущих результатов

Показатель	Чем характеризуется
Технический эффект	– технический уровень НИОКР; – новшество НИОКР; – размах НИОКР

Экономический эффект	<ul style="list-style-type: none"> – норма прибыли от реализации НИТ проектов; – количество заказов на наукоемкую продукцию; – объем поступления денежных средств от реализации продукции; – снижение затрат при внедрении новых технологий
Социальный эффект	<ul style="list-style-type: none"> – улучшение экономических параметров хозяйствующих субъектов; – стоимостная оценка экономии затрат общественного труда

Для проектов, направленных на изучение фундаментальных основ науки, следует использовать наукометрический метод. Данный метод даст качественную оценку результатов фундаментальных исследований, которая позволит оценить интенсивность научной работы, ее результативность и актуальность. Использование данного метода предполагает следующие системы показателей:

- индекс цитирования – число ссылок на публикации того или иного ученого в реферируемых научных периодических изданиях. Он позволяет определить значимость, важность и актуальность проводимых исследований;
- импакт-фактор журнала – характеризует важность журнала, который показывает, сколько раз в среднем цитируется каждая статья в течение двух последних лет после выхода;
- индекс Хирша – альтернатива индексу цитируемости, показывает интерес других ученых того же направления к работам определенного автора.

Таблица 2. Методы оценки результатов исследований

Виды научных исследований	Методы оценки результатов
Фундаментальные исследования	Наукометрические методы: <ul style="list-style-type: none"> – индекс цитирования; – импакт-фактор журнала; – индекс Хирша.
Прикладные исследования	Экономические: <ul style="list-style-type: none"> – период окупаемости; – чистый приведенный доход; – индекс прибыльности. Экспертные: <ul style="list-style-type: none"> – оценка проекта на основе экспертной процедуры в баллах по каждому из пяти научно-технических показателей; – экспертиза на основе сравнительного анализа проектов по трем уровням.

Обобщая полученные результаты, авторы сделали вывод, что в России нет универсального метода для оценки результативности научных исследований, поэтому методы, применяемые в России, нуждаются в пересмотре, иначе данные не будут отображать действительное состояние российской науки. Это может привести к неправильной интерпретации российских достижений, а также неправильному распределению денежных средств между разными сферами отечественной науки. Проблема оценки результативности научных исследований заключается: в определении результатов, которые были достигнуты в процессе научного изыскания; поиске ценности каждого исследования в различных областях науки; правильной разработке критериев оценки их качества; определении правильной методологии проведения оценки результативности научных исследований [7].

Литература

1. Березина Е.В., Глисин Ф.Ф., Плужнова Н.А., Прохорова Л.В., Щепанский С.Б. Статистика науки и образования. Выпуск 6. Затраты на научные исследования и разработки и источники их финансирования. – М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2015. – 280 с.

2. Финансирование науки из средств федерального бюджета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru>, своб.
3. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elibrary.ru>, своб.
4. Российский фонд фундаментальных исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/documents>, своб.
5. Жиликова Е.В., Стебеньева Т.В. Оценка результативности научных исследований: проблема формализации показателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-rezultativnosti-nauchnyh-issledovaniy-problema-formalizatsii-pokazateley>, своб.
6. Стебеньева Т.В., Жиликова Е.В. Анализ существующих методических подходов к оценке эффективности научной деятельности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-suschestvuyuschih-metodicheskikh-podhodov-k-otsenke-effektivnosti-nauchnoy-deyatelnosti>, своб.
7. Кайгородцева Е.В., Павлова Е.А. Сравнительная характеристика методов анализа и оценки уровня развития фундаментальных и прикладных исследований // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 8-1. – С. 154–158.



Медников Сергей Васильевич

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии,

кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4107

Направление подготовки: 12.04.02 – ОпTOTехника

e-mail: justice.honor.dignity@gmail.com

УДК 681.78

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

Медников С.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Прокофьев А.В.

В работе рассмотрены основные характеристики оптико-электронных преобразователей перемещений и их классификация. В результате проведенного анализа составлена сравнительная таблица для преобразователей угловых и линейных смещений. Приводится информация о современных оптико-электронных приборах рассматриваемых типов, характеристики точности и надежности работы.

Ключевые слова: оптико-электронный преобразователь перемещений, оптические измерения, линейные перемещения, угловые перемещения.

Одной из самых актуальных проблем машиностроения является повышение точности обработки деталей на производстве, которая сводится к контролю точности их позиционирования относительно используемого исполнительного устройства.

Существуют различные способы контроля взаимного положения деталей и исполнительных устройств, но при высокоскоростных перемещениях заготовок обеспечение необходимой точности с сохранением работоспособности и надежности оборудования, в большинстве случаев, достигается при помощи использования оптико-электронных преобразователей перемещений. Применение интерферометрических лазерных измерительных систем, в виду их высокой стоимости, трудоемкости установки и настройки, а также слабой температурной устойчивости, представляется нецелесообразным.

Оптико-электронные преобразователи перемещений (ОЭПП) представляют собой сложные системы, в которых постоянно производится преобразование сигналов для обработки информации [1].

Основными элементами структурной схемы ОЭПП являются (рис. 1): излучатель (И), кодирующая структура (КС), анализирующая структура (АС), фотоприемный модуль (ФПМ), система предварительной обработки информации (СПОИ) и система вторичной обработки информации (СВОИ). ОЭПП осуществляет передачу полученной информации во внешние устройства индикации (ВУИ).

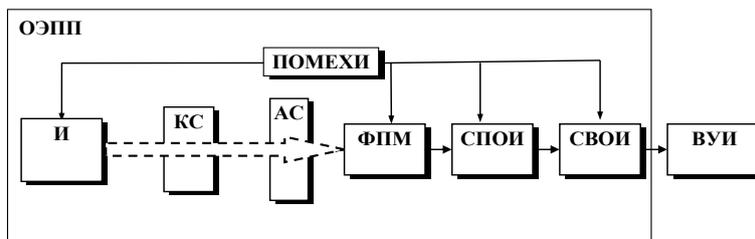


Рис. 1. Обобщенная структурная схема ОЭПП

Основные характеристики ОЭП устанавливаются ГОСТ 26242-90 [2].

Одной из наиболее важных характеристик преобразователя является погрешность. Погрешность преобразователя определяется, как отклонение значения выходной величины, полученного при наличии на входе некоторого значения входной величины x , от соответствующего значения функции преобразования в точке x . Погрешность преобразователя обуславливается действием инструментальной и методической (квантования по уровню и по времени) погрешностями.

Быстродействие ОЭПП определяется временем, которое затрачивается на выполнение одного преобразования величины, поступающей на вход, в цифровой код – временем преобразования.

Еще одной из важнейших характеристик преобразователя является надежность его работы. Одним из основных показателей надежности по ГОСТ 26242-90 [2] является средняя наработка на отказ или средняя наработка до отказа.

Точные преобразователи угловых перемещений представляют собой сложные оптико-электронные устройства, предназначенные для представления аналогового значения углового положения контролируемого объекта, например, вала, в виде параметров (амплитуда, частота, фаза и др.) аналоговых электрических сигналов или в виде дискретных сигналов (цифровой код).

Преобразователи линейных перемещений аналогично преобразуют линейные координаты контролируемого объекта.

Ранее, классификация преобразователей была представлена в ГОСТ 26242-90 [2], но в связи с развитием технологий и новыми открытиями в области оптических измерений, данную классификацию было предложено дополнить. Дополненная классификация представлена на рис. 2.

Разбиение ОЭПП на подклассы можно осуществлять по типам рабочих мер: растровые, интерференционно-дифракционные и голографические.

С метрологической точки зрения, т.е. в зависимости от метода измерения, а также состава результирующей погрешности и зависимости ее от погрешностей промежуточных преобразований, ОЭПП можно разделить на устройства прямого преобразования и устройства уравнивающего преобразования.

В соответствии с алгоритмами существующие преобразователи прямого преобразования пространственных перемещений в цифровой код целесообразно подразделять на две группы: преобразователи последовательного счета и преобразователи параллельного считывания.

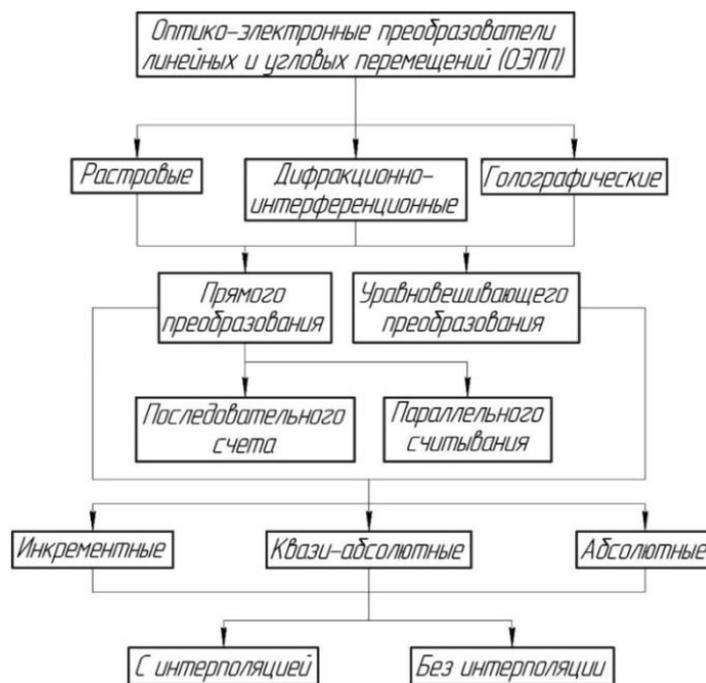


Рис. 2. Классификация ОЭПП

В свою очередь, преобразователи последовательного счета по методу определения текущей координаты контролируемого объекта можно разделить на три подгруппы: инкрементные преобразователи, квазиабсолютные и абсолютные.

После изучения основной информации о преобразователях были рассмотрены существующие технические решения от мировых производителей ОЭПП.

Из преобразователей линейных перемещений были рассмотрены четыре технических решения, представленных компаниями Renishaw [3], Heidenhain и Специальное конструкторское бюро измерительных систем (СКБ ИС). Были изучены их основные характеристики, которые представлены в табл. 1.

В табл. 2 представлены характеристики угловых оптико-электронных преобразователей фирм Renishaw, Heidenhain и СКБ ИС.

Таблица 1. Сравнительные характеристики преобразователей линейных перемещений

Марка и модель	Диапазон измерений, мм	Точность, мкм	Шаг измерения, мкм	Рабочий диапазон температур, °С
Renishaw RGH25F	до 50000	15	0,005–5	0...+55
Renishaw RGH40	120–1000	15	0,05–10	0...+55
Heidenhain LIC 2117	120–3020	15	0,05–0,1	–10...+70
СКБ ИС ЛИР-10	70–1020	2+4,5L	1	+5...+50

Таблица 2. Сравнительные характеристики преобразователей угловых перемещений

Марка и модель	Разрешающая способность преобразователя, дискрет/оборот	Точность	Максимальная ошибка определения положения за период	Рабочий диапазон температур, °С
Renishaw VIONiC	до 17280000	4,2"	0,38"	0...+70
Heidenhain ROC 2390M	67108864	5"	0,4"	–20...+60
СКБ ИС ЛИР-158	1080000	15"	0,5"	0...+70

В ходе аналитического обзора было выявлено, что наилучшими характеристиками обладают преобразователи Renishaw. Они имеют большой рабочий диапазон температур, меньшую максимальную ошибку определения положения в пределах одного периода сигнала.

Характеристики отечественных преобразователей не так велики, как у зарубежных ОЭПП, но в данном случае, возможно исследование точности данных преобразователей для дальнейшей модернизации по пути к увеличению точности изготавливаемой продукции.

Литература

1. Преснухин Л.Н., Шаньгин В.Ф. и др. Фотоэлектрические преобразователи информации. – М.: Машиностроение, 1974. – 376 с.
2. ГОСТ 26242-90. Системы числового программного управления. Преобразователи перемещений. Общие технические условия. – Введен 01.01.1991. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 14 с.
3. Обзорный каталог «Non-contact position encoders» фирмы Renishaw. – Июль, 2007.



Никаноров Олег Викторович

Год рождения: 1984

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н.

e-mail: nikanorovov@gmail.com



Новицкая Яна Александровна

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4200

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: novitskaja.yana@yandex.ru

УДК 535.417

МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ГОЛОГРАММ-ПРОЕКТОРОВ ФРЕНЕЛЯ

Никаноров О.В., Новицкая Я.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Корешев С.Н.

Предложен метод увеличения разрешения изображений, восстанавливаемых с помощью синтезированных голограмм-проекторов Френеля, основанный на использовании известного в традиционной проекционной фотолитографии метода фазовой коррекции эффекта близости.

Ключевые слова: голография, фотолитография, синтезированная голограмма, разрешающая способность, фазовая коррекция эффектов близости.

За основу предложенного метода увеличения разрешающей способности синтезированных голограмм-проекторов был взят хорошо известный в фотолитографии метод фазовой коррекции эффекта близости. Концепция их работы заключается в подавлении взаимного негативного влияния вторичных дифракционных максимумов сформированного изображения фотошаблона на разрешающую способность

фотолитографического процесса. Это может быть достигнуто за счет использования в пространстве предметов фазовых масок. Они обеспечивают противофазность излучения, которое формирует изображения соседних элементов структуры фотошаблона [1]. В результате суперпозиции находящихся в противофазе волн, которые формируют изображения соседних элементов структуры изображения фотошаблона, вторичные дифракционные максимумы взаимно ослабляют друг друга в области между изображениями, что и делает их хорошо различимыми и повышает разрешающую способность проекционной системы. Реализация на практике этого метода в процессе синтеза голограмм-проекторов не требует использования существующих фазовых масок, а сводится к изменению формы представления (математического описания) объекта, т.е. к введению соответствующей фазовой модуляции в функцию пропускания объекта. Экспериментальное исследование влияния на изображающие свойства синтезированных голограмм-проекторов метода фазовой коррекции эффекта близости проводилось применительно к полутонным голограммам-проекторам Френеля и было осуществлено при помощи специализированного программного комплекса синтеза и восстановления голограмм [2]. При этом все эксперименты были выполнены при следующих физических и геометрических параметрах синтеза и восстановления голограмм. Размер пикселей в плоскостях объекта и изображения был выбран равным 20×20 нм, исходя из результатов работы [3]. Угол падения параллельного опорного пучка был равен $14,7^\circ$, расстояние между плоскостью объекта и плоскостью регистрации голограммы составляло 20,4 мкм. Объект представлял собой установленный в параллельном пучке лучей непрозрачный транспарант, содержащий две параллельные друг другу прозрачные щели размером 4×40 пикселей, т.е. 80×800 нм. Методика исследования включала в себя синтез голограмм-проекторов Френеля вышеописанного объекта при расстояниях между щелями, изменяющимися в пределах от 600 нм до 40 нм с шагом 20 нм, т.е. от 30 до 2 пикселей с шагом в 1 пиксел. Для каждого расстояния между щелями синтезировались две голограммы, одна из которых соответствовала случаю синфазности излучения, падающего на щели транспаранта, а вторая случаю его противофазности. Полученные таким образом голограммы подвергались цифровому восстановлению в виртуальном пространстве с помощью того же самого комплекса синтеза и восстановления голограмм-проекторов Френеля, что позволяло оценить разрешение и уровень помех, достигнутые при различных условиях эксперимента.

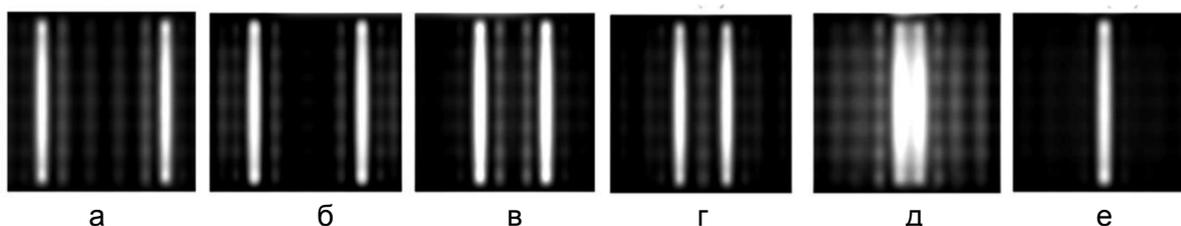


Рис. 1. Восстановленные изображения, полученные с помощью голограмм, синтезированных при условии синфазности падающего на щели излучения для различных расстояний между щелями: 520 нм (а); 440 нм (б); 320 нм (в); 220 нм (г); 120 нм (д); 40 нм (е)

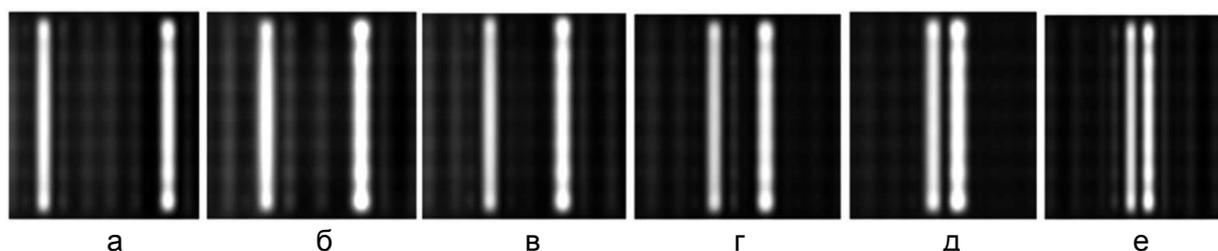


Рис. 2. Восстановленные изображения, полученные с помощью голограмм, синтезированных при условии противофазности прошедшего через щели излучения для различных расстояний между щелями: 520 нм (а); 440 нм (б); 320 нм (в); 220 нм (г); 120 нм (д); 40 нм (е)

На рис. 1 представлены восстановленные изображения, полученные при помощи голограмм, синтезированных при условии синфазности излучения, прошедшего через щели. На рис. 2 приведены изображения, восстановленные с помощью голограмм, синтезированных уже при условии противофазности падающего на щели излучения. Исходя из результатов представленных изображений, можно сделать вывод, что обеспечение противофазности, т.е. введение фазового сдвига π в излучение, позволяет понизить уровень интенсивности помех между восстановленными изображениями щелей и приводит к существенному повышению разрешающей способности синтезированных голограмм-проекторов. Использование метода фазовой коррекции эффекта близости позволило достичь визуально наблюдаемой разрешающей способности в 40 нм. При этом визуальное наблюдение восстановленного с помощью синтезированной голограммы-проектора изображения двух параллельных тонких щелей шириной 80 нм, расположенных на расстоянии 40 нм друг от друга, обеспечивает уверенную идентификацию изображения, как изображения двух отдельно стоящих объектов. В то же время полученные результаты свидетельствуют о том, что без использования метода фазовой коррекции при синтезе голограммы-проектора восстановленное изображение этого же объекта идентифицировалось бы как изображение одной щели. Две отдельно расположенные щели идентифицировались бы лишь в изображении, восстановленном с помощью голограммы-проектора, синтезированной при расстоянии между щелями 120 нм. Отметим, что ширина щели в 80 нм является предельно малой шириной элемента структуры объекта, допустимой при выбранных параметрах синтеза голограмм-проекторов [4].

Оценка эффективности метода фазовой коррекции эффекта близости в голографическом варианте фотолитографического процесса проводилась посредством применения к полученным восстановленным изображениям пороговой обработки.

Результаты этого эксперимента представлены на рис. 3. Из представленных графиков можно сделать вывод, что применение метода фазовой коррекции эффекта близости при синтезе голограмм-проекторов позволяет более чем в два раза повысить разрешающую способность голографического варианта проекционной фотолитографии и довести ее при указанных выше параметрах синтеза и восстановления голограмм-проекторов до 40 нм. Результаты проведенного исследования говорят о возможности двукратного уменьшения норм проектирования в голографическом фотолитографическом процессе при использовании фазовой коррекции эффекта близости, позитивного фоторезиста и фотошаблонов, в которых элементы структуры изготавливаемого изделия отображаются в виде промежутков между двумя прозрачными областями.

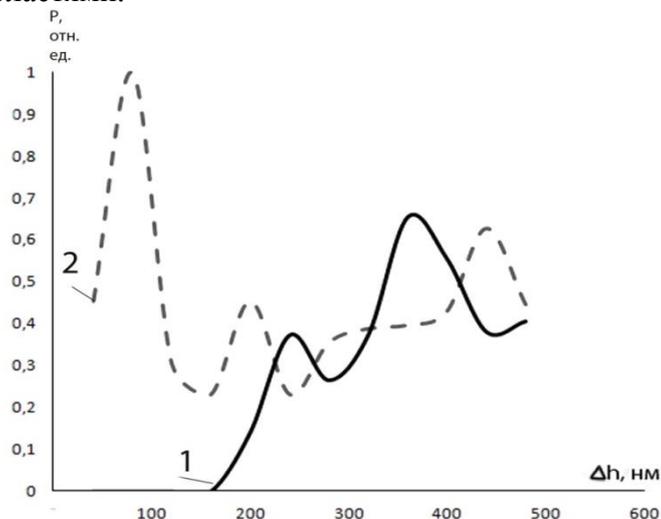


Рис. 3. Графики зависимости числа допустимых уровней пороговой обработки от выбранного при синтезе голограммы-проектора расстояния между щелями в фазе (1) и в противофазе (2)

Таким образом, в работе применительно к случаю голограмм двухмерного объекта установлена эффективность использования известного в традиционной проекционной фотолитографии метода фазовой коррекции эффекта близости для повышения разрешающей способности синтезированных голограмм-проекторов Френеля.

Литература

1. Моро У. Микролитография. – М.: Мир, 1990. – 1240 с.
2. Корешев С.Н., Никаноров О.В., Громов А.Д. Метод синтеза голограмм-проекторов, основанный на разбиении структуры объекта на типовые элементы, и программный комплекс для его реализации // Оптический журнал. – 2012. – Т. 79. – № 12. – С. 30–37.
3. Корешев С.Н., Смородинов Д.С., Никаноров О.В. Влияние метода представления объекта на изображающие свойства синтезированных голограмм // Оптический журнал. – 2015. – Т. 82. – № 4. – С. 66–73.
4. Корешев С.Н., Никаноров О.В., Козулин И.А. Выбор параметров синтеза голограмм-проекторов для фотолитографии // Оптический журнал. – 2008. – Т. 75. – № 9. – С. 29–34.



Никаноров Олег Викторович

Год рождения: 1984

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н.

e-mail: nikanorovov@gmail.com



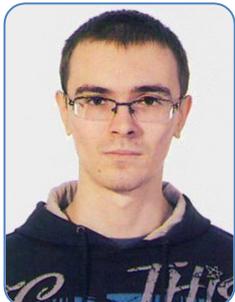
Фролова Марина Алексеевна

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4200

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: marrain6@yandex.ru



Хисамов Руслан Илясович

Год рождения: 1992

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4100

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: lerank@gmail.com

УДК 535.417

МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ ГЛУБИНЫ РЕЗКОСТИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ГОЛОГРАММ-ПРОЕКТОРОВ ФРЕНЕЛЯ, ОСНОВАННЫЙ НА ИЗМЕНЕНИИ ФОРМЫ ОПИСАНИЯ ОБЪЕКТА

Никаноров О.В., Фролова М.А., Хисамов Р.И.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Корешев С.Н.

Предложен метод увеличения глубины резкости изображений, восстанавливаемых с помощью синтезированных голограмм-проекторов Френеля, основанный на представлении комплексной

амплитуды объектной волны при синтезе голограммы в виде суммы комплексных амплитуд нескольких объектных волн, формируемых объектом при различных расстояниях от него до голограммы, отличающихся на величину, не превышающую глубину резкости изображения одиночного объекта.

Ключевые слова: голография, фотолитография, синтезированная голограмма, глубина резкости восстановленного изображения.

Одной из важнейших характеристик фотолитографического оборудования является глубина резкости. Традиционный путь уменьшения норм проектирования изготавливаемых изделий, основанный на уменьшении рабочей длины волны используемого излучения и увеличении апертур проекционных оптических систем, приводит к существенному уменьшению глубины резкости изображения, формируемого на поверхности. При этом необходимость обеспечения высоких точностей позиционирования пластины обуславливает усложнение и удорожание современного фотолитографического оборудования. Вместе с тем синтез голограмм-проекторов, осуществляемый, как известно, в виртуальном пространстве, позволяет производить манипуляции с формой представления объекта, которые трудноосуществимы в реальном физическом пространстве. Такая форма представления объекта способна воздействовать на глубину резко отображаемого пространства. Например, если синтезировать голограмму-проектор таким образом, чтобы она при восстановлении вместо одного изображения фотошаблона формировала бы несколько его изображений, располагаемых одно за другим на расстояниях друг от друга, не превышающих традиционную глубину резкости, можно достичь существенного увеличения глубины резкости восстанавливаемого изображения.

Реализация синтеза подобной голограммы-проектора осуществлялась с использованием такой формы описания объекта, при которой объектная волна представлялась в виде суперпозиции нескольких объектных волн, формируемых одним и тем же фотошаблоном. При этом фотошаблоны располагались на различных расстояниях от плоскости синтеза голограммы, отличались друг от друга на величину, не превышающую традиционную глубину резкости голограммы.

Экспериментальная оценка влияния описанной выше формы представления объекта на глубину резкости восстановленного изображения включала в себя синтез голограмм-проекторов объекта, имеющего вид светлого перекрестия на темном фоне. При синтезе объектная волна представлялась в виде суперпозиции двух волн, порожденных объектами. Объекты располагались на различных расстояниях от плоскости синтеза голограммы. Эти расстояния менялись от голограммы к голограмме с шагом 100 нм и лежали в пределах 100–400 нм. Размер голограмм-проекторов был выбран равным 435×435 пикселей размером 20 нм², угол падения опорного пучка составлял 14,7°, расстояние между плоскостью объекта и плоскостью регистрации голограммы было равно 20,4 мкм. Ширина линий объекта была равна 80 нм при размере пикселей в плоскости объекта 80×80 нм². Рабочая длина волны голограмм-проекторов 13,5 нм. Длина центрального ядра трехмерной фигуры рассеяния, представляющей собой сформированное голограммой изображение точечного объекта, при выбранных параметрах синтеза и восстановления голограмм-проекторов составляла 0,9 мкм [1]. Глубина резкости восстановленного изображения b , рассчитанная по формуле для расчета традиционных оптических систем [2]:

$$b = \pm \lambda / 2A^2,$$

где λ – рабочая длина волны; A – числовая апертура голограммы, была равна ± 225 нм.

Объекты при этом располагаются на расстоянии, близком к традиционной глубине. Отметим, что при меньших расстояниях глубина резкости или незначительно

уменьшается, а при больших расстояниях восстановленное изображение распадается на два отдельных изображения, расположенных друг за другом. Полученные результаты исследования иллюстрирует рисунок, на котором приведены графики, демонстрирующие зависимость глубины резкости восстановленного изображения от расстояния между объектами, принятого при расчете комплексной амплитуды объектной волны в процессе синтеза голограммы. На этом рисунке график 1 соответствует традиционному случаю одного объекта, график 2 – двум объектам, расположенным на расстоянии 100 нм друг от друга, график 3 – двум объектам, расположенным на расстоянии 200 нм. По оси ординат на рисунке отложено допустимое число уровней пороговой обработки изображения, имитирующее влияние фоторезиста на восстановленное изображение. Структура восстановленного изображения при этом полностью соответствует структуре исходного объекта, нормированного по максимальному числу уровней, которое достигается при данных параметрах синтеза и восстановления голограммы [3]. Представленные графики свидетельствуют о достижении примерно полуторного увеличения глубины резкости изображения, восстанавливаемого с помощью синтезированной голограммы-проектора.

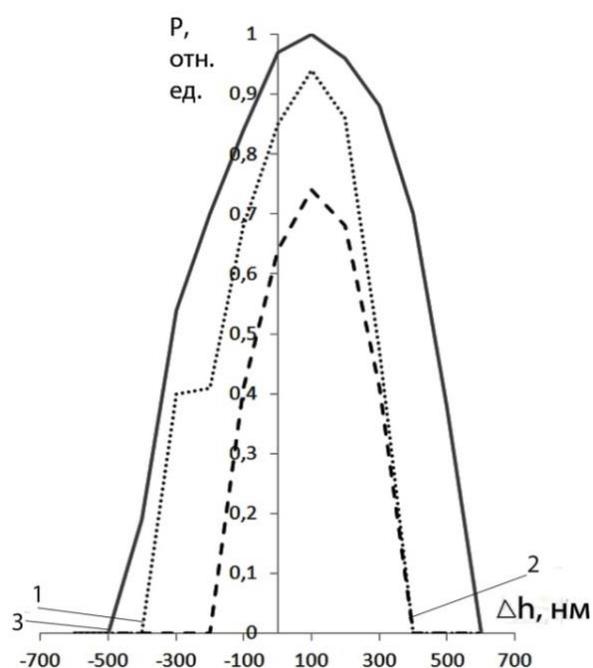


Рисунок. График зависимости качества изображения P от дефокусировки Δh при восстановлении голограмм при различных расстояниях Δ между объектами в процессе синтеза голограммы. 1 – один объект; 2 – два объекта ($\Delta = 100$ нм); 3 – два объекта ($\Delta = 200$ нм)

Еще больший эффект с точки зрения увеличения глубины резкости дает фазовое согласование парциальных, т.е. составляющих объектную волну при синтезе голограмм-проекторов, волн. Так, введение между ними фазового сдвига, равного $0,3\pi$, при таком же, равном 200 нм расстоянии между положениями объекта при синтезе голограммы, приводит к достижению еще большей, равной ± 900 нм, глубине резкости восстановленного изображения.

Сочетание формы описания объектной волны, при которой она представляется в виде суперпозиции двух волн и метода фазового согласования этих волн позволяет увеличить глубину резкости восстановленного изображения более чем в 2,5 раза. Это позволяет перевести из нанометров в микрометры требования, предъявляемые к точности установки полупроводниковой пластины в литографе, работающем в 10–15 нм диапазоне длин волн.

Отметим, что такое же увеличение глубины резкости восстановленного изображения может быть достигнуто и без использования фазового сдвига, а лишь за счет представления объектной волны в виде суперпозиции не двух, а трех волн, порожденных одним и тем же объектом, располагаемом на трех, отличающихся друг от друга расстояниях от плоскости голограммы, равных 200 нм.

Литература

1. Франсон М. Оптика спеклов. – М.: Мир, 1980. – 172 с.
2. Цуканова Г.И., Карпова Г.В., Багдасарова О.В., Карпов В.Г., Кривоустова Е.В., Ежова К.В. Прикладная оптика. Ч. 2. Учебно-методическое пособие. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2003. – 32 с.
3. Корешев С.Н., Никаноров О.В., Громов А.Д. Метод синтеза голограмм-проекторов, основанный на разбиении структуры объекта на типовые элементы, и программный комплекс для его реализации // Оптический журнал. – 2012. – Т. 79. – № 12. – С. 30–37.



Новгородов Михаил Павлович

Год рождения: 1997

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В5308

Направление подготовки: 12.05.01 – Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения

e-mail: mantikour16@gmail.com

УДК 531.743

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗРЕЗНОГО ФОТОДИОДА В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ С ОПТИЧЕСКОЙ РАВНОСИГНАЛЬНОЙ ЗОНОЙ

Новгородов М.П.

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. Тимофеев А.Н.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

В работе приведены результаты исследований взаимосвязи основных параметров системы при использовании разрезного фотодиода в оптико-электронных системах с оптической равносигнальной зоной.

Ключевые слова: оптическая равносигнальная зона, контроль смещений, взаимосвязь параметров.

Принцип действия оптико-электронных систем телеориентирования (ОЭСТ), использующих в качестве способа визирования оптическую равносигнальную зону (ОРСЗ), заключается в формировании задатчиком базового направления (ЗБН) пучка, поле которого состоит из двух частей, различных по величине потока, за счет вычисления величины разности этих потоков осуществляется определение положения объекта.

Задача бесконтактного автоматического контроля позиционирования удаленных объектов актуальна для контроля положения рабочих органов строительных машин, так как она позволяет управлять и контролировать процессами, не вмешиваясь в них, на расстоянии, используя для этого какой-либо пульт управления, что существенно облегчает проведение операций. Задача является также важной и для телеориентирования управляемых объектов

космической техники [1]. Применение разрезного фотодиода в ОЭСТ с ОРСЗ позволяет не расширить функциональные возможности контроля смещений объектов.

Сущность работы исследуемой системы состоит в том, что сигнал, попадающий на приемник оптического излучения, регистрируется с его площадок и после соответствующей обработки выделяется сигнал, определяющий линейное и угловое смещения.

Целью исследований явилось определение связи параметров оптических систем передающей и приемной частей ОЭСТ с характеристиками применяемых источников и разрезных фотодиодов.

В качестве приемника оптического излучения для системы, работающей с ОРСЗ, предпочтителен выбор разрезных фотодиодов, так как их применение позволяет контролировать не только смещение приемной части относительно равносигнальной зоны, но и ее поворот.

Для исследования влияния параметров источников и приемников, определим взаимосвязь диаметров зрачков оптической системы приемной части (ПЧ) и задатчика базового направления. Для этого воспользуемся инвариантом Лагранжа–Гельмгольца, характеризующим информационную емкость оптической системы, т.е. величину пространства, которое может быть отображено ею [2]. Этот инвариант математически выражает закон сохранения информации в геометрической оптике и связывает поля зрения, апертурные углы, диаметры выходного зрачка объективов ЗБН и ПЧ. Для оптической системы ЗБН максимально возможный диаметр выходного зрачка объектива:

$$D_{\text{ЗБН}} \leq \frac{d_{\text{ИИ}} \sin \theta_{\text{ИИ}}}{\text{tg} \alpha}, \quad (1)$$

где $D_{\text{ЗБН}}$ – диаметр выходного зрачка ЗБН; $d_{\text{ИИ}}$ – диаметр источника излучения; $\theta_{\text{ИИ}}$ – апертурный угол источника; α – угол освещения ЗБН.

Значение 2α обычно задается исходя из условий эксплуатации ОЭСТ и для рассматриваемой системы:

$$\text{tg} \alpha = \frac{D_{\text{ПЧ}} + \Delta_{\text{max}}}{2z}, \quad (2)$$

тогда

$$D_{\text{ЗБН}} \leq \frac{2d_{\text{ИИ}} z \sin \theta_{\text{ИИ}}}{D_{\text{ПЧ}} + \Delta_{\text{max}}}, \quad (3)$$

где Δ_{max} – максимальное линейное смещение; z – расстояние между ПЧ и ЗБН.

Необходимо, чтобы размер кружка рассеяния был меньше размера фоточувствительной площадки, расчет оптической системы ПЧ с учетом инварианта Лагранжа–Гельмгольца сводится к определению максимального диаметра входного зрачка ПЧ при заданных величине углового поля β , апертурного угла приемника оптического излучения (ПОИ) $\theta_{\text{ПОИ}}$ и размерах фоточувствительной площадки ПОИ $b_{\text{ПОИ}}$:

$$D_{\text{ПЧ}} \leq \frac{b_{\text{ПОИ}} \sin \theta_{\text{ПОИ}}}{\text{tg} \beta}. \quad (4)$$

В ПЧ угол поля зрения 2β обычно задается исходя из условий эксплуатации ОЭСТ и для рассматриваемой системы равен:

$$\beta = \beta_1 + \arctg \frac{D_{\text{ПЧ}} + \Delta_{\text{max}}}{2z}, \quad (5)$$

где β_1 – задаваемый диапазон контроля углов разворотов ПЧ (рис. 1).

Тогда из (4) с учетом инварианта Лагранжа–Гельмгольца нетрудно получить

$$D_{\text{ПЧ}} \leq \frac{b_{\text{ПОИ}} \sin \theta_{\text{ПОИ}} [2z + \text{tg} \beta_1 (D_{\text{ЗБН}} + \Delta_{\text{max}})]}{2z \text{tg} \beta_1 + D_{\text{ЗБН}} + \Delta_{\text{max}}}. \quad (6)$$

Преобразовав систему равенств (4) и (6), можно при помощи пакета Mathcad получить квадратное уравнение, корни которого будут являться максимальными значениями диаметров зрачков (рис. 2). Эти диаметры будут равны

$$D_{збн} = \frac{(2zS + B\Delta_{\max} \operatorname{tg}\beta_1 + \Delta_{\max}^2)}{2(B\operatorname{tg}\beta_1 + \Delta)} \pm \frac{\sqrt{(2zS + B\Delta_{\max} \operatorname{tg}\beta_1 + \Delta_{\max}^2)^2 + 16z^2P(B\operatorname{tg}\beta_1 + \Delta_{\max})(\operatorname{tg}\beta_1 + \Delta_{\max} / 2z)}}{2(B\operatorname{tg}\beta_1 + \Delta_{\max})}, \quad (7)$$

$$D_{пч} = \frac{(2zS + B\Delta_{\max} \operatorname{tg}\beta_1 - \Delta_{\max}^2)}{2F} \pm \frac{\sqrt{(2zS + B\Delta_{\max} \operatorname{tg}\beta_1 - \Delta_{\max}^2)^2 + 4FB[2z(\Delta_{\max} + P\operatorname{tg}\beta_1) + \operatorname{tg}\beta_1\Delta_{\max}^2]}}{2F}, \quad (8)$$

где $B = b_{\text{ПОИ}} \sin\theta_{\text{ПОИ}}$, $P = d_{\text{ИИ}} \sin\theta_{\text{ИИ}}$, $S = B - P + \Delta_{\max} \operatorname{tg}\beta_1$, $F = 2z\operatorname{tg}\beta_1 + \Delta_{\max}$.

В данной работе найдены зависимости параметров при характеристиках системы $b_{\text{ПОИ}}=5$ мм, $d_{\text{ИИ}}=2,5$ мм, $\theta_{\text{ИИ}}=15^\circ$, $\Delta_{\max}=50$ мм, $\beta_1=6^\circ$ и на дистанции $z=300$ м – максимальная рабочая дистанции. В качестве источников – полупроводниковые излучающие диоды ближней ИК-области.

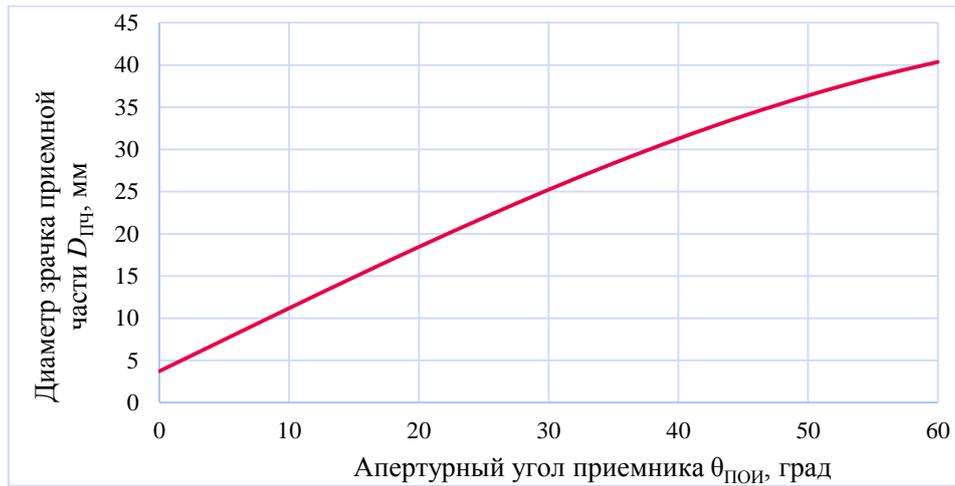


Рис. 1. Зависимость диаметра зрачка приемной части от апертурного угла приемника

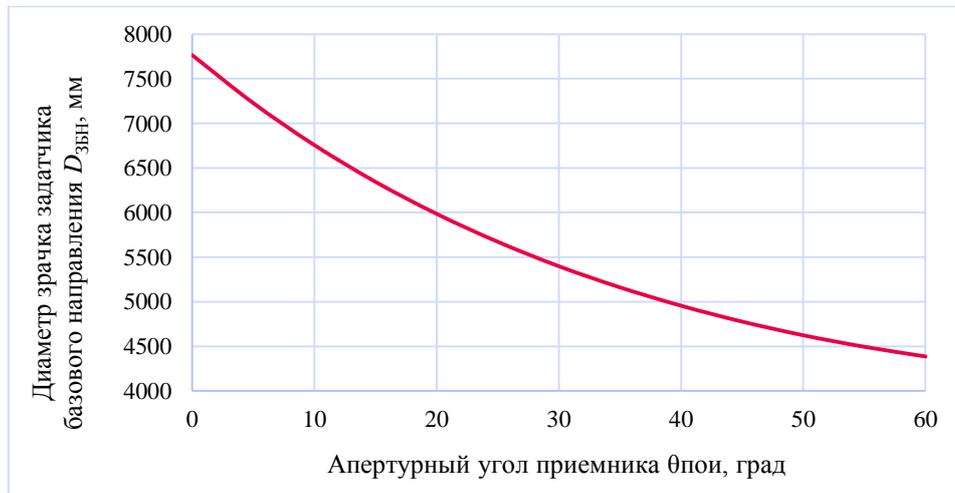


Рис. 2. Зависимость диаметра зрачка задатчика базового направления от апертурного угла приемника

Из полученных графиков можно определить, какой диаметр зрачка приемной и передающей части необходим при использовании в данной системе приемников с выбранным апертурным углом. Данные размеры зрачков рассчитаны с геометрической точки зрения, не рассматривающей энергетические расчеты. Зависимость и графики определены при помощи математической модели в пакете Mathcad [3].

Литература

1. Климов А.А., Новгородов М.П., Тимофеев А.Н. Исследование особенностей выбора параметров при цифровой обработке сигналов в оптико-электронных системах с оптической равносигнальной зоной // XII Международная конференция «Прикладная оптика-2016». – 2016. – Т. 2. – С. 115–119.
2. Коротаев В.В., Мараев А.А., Тимофеев А.Н. Телеориентирование в луче с оптической равносигнальной зоной. Монография. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 326 с.
3. Пароль Н.В., Кайдалов С.А. Фоточувствительные приборы и их применение: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 112 с.



Ногин Антон Александрович

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа В3405

Направление подготовки: 12.03.02 – Оптехника

e-mail: Rujusted@gmail.com

УДК 004.932; 519.688; 531.749; 681.786.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПЛОСКОСТИ АНАЛИЗА ТРЕХКООРДИНАТНОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА

Ногин А.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Коняхин И.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

В работе рассмотрены результаты экспериментального исследования алгоритма обработки изображения в плоскости анализа трехкоординатного одноканального автоколлиматора, анализируются пути решения проблемы нарушения функционирования системы при переналожении изображений меток в плоскости анализа.

Ключевые слова: многокоординатные измерения, угловые измерения, алгоритм измерения координат, обработка изображений.

Автоколлимационные системы имеют высокий потенциал для применения в области техносферной безопасности, например, для контроля трубо- и нефтепроводов, сложных конструкций, пролетов мостов и т.д. Их неоспоримым достоинством является возможность бесконтактного измерения углового перемещения контролируемого объекта. При этом использование пассивного контрольного элемента (КЭ) позволяет исключить его питание в точке контроля.

На базовом объекте размещается оптико-электронный автоколлиматор (ОЭА), а на контролируемом – отражатель, который и является КЭ. Особенностью такой системы

является возможность одновременного измерения трех углов – двух коллимационных и угла скручивания.

Рассмотрим принцип измерений на примере ОЭА системы с тетраэдрическим отражателем рис. 1 [1]. Тетраэдрический отражатель формирует два отраженных пучка 1 и 2, исходная ориентация и отклонения которых определяются отклонением от 90° одного из углов между отражающими гранями.

Эти пучки формируют изображения на приемнике и используются для измерения угла скручивания θ_3 по формуле (1):

$$\theta_3 = \frac{-\xi_x}{K_{x\theta_3}} + k_{x\theta_3_{\theta_1}} \theta_1 + k_{x\theta_3_{\theta_2}} \theta_2, \quad (1)$$

где $K_{x\theta_3}$ – коэффициент преобразования КЭ по углу скручивания; $k_{x\theta_3_{\theta_1}}$ и $k_{x\theta_3_{\theta_2}}$ – коэффициенты, определяющие погрешности измерения вследствие влияния коллимационного угла θ_1 и θ_2 соответственно.

Для измерения коллимационных углов используется пучок от преломляющей грани тетраэдра, как от автоколлимационного зеркала. Этот пучок формирует изображение 3. После измерения координат изображения 3, коллимационные углы определяются из выражений (2) и (3):

$$x = 2\theta_2, \quad (2)$$

$$y = -2\theta_1. \quad (3)$$

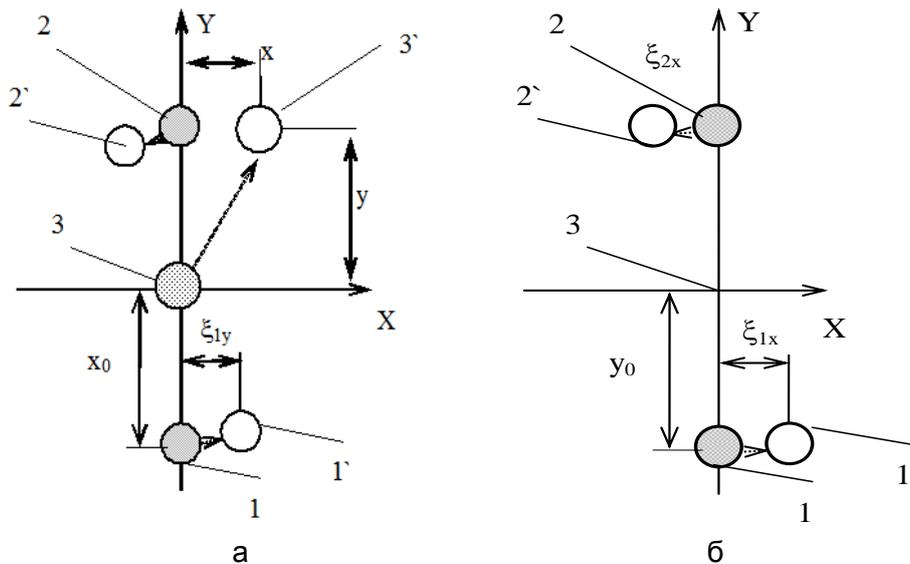


Рис. 1. Изображения марки в плоскости анализа при использовании тетраэдрического отражателя: 1,2,3 – до поворота; 1', 2', 3' – после поворота

Различить эти изображения 1, 2, 3 в случае их одновременного присутствия в угловом поле ОЭА, а также измерить их координаты позволяет рассматриваемый алгоритм.

На практике при одновременном измерении трех углов возникает проблема переналожения меток. Такая ситуация возникает, например, тогда, когда угловые перемещения крайне малы, также в плоскости анализа имеют место быть такие проблемы как: различная интенсивность меток, блики от граней КЭ. В большинстве случаев такие изображения непригодны для измерения углов, что сказывается на метрологических характеристиках прибора.

Для решения этой проблемы и сохранения работоспособности многокоординатных измерительных систем используют несколько методов. Наиболее распространенным методом является разработка многоканальной измерительной системы. Такое решение подразумевает разработку системы, в которой изображение коллимационных углов

формируется одним каналом, а угла скручивания другим, или же для каждого угла предусматривается свой канал. Недостатками такого решения является то, что для каждого канала необходима своя оптическая система и свой приемник, что естественно сказывается на стоимости и габаритах измерительной системы. Также такие системы сложны в юстировке.

Другим возможным вариантом решения проблемы является разработка специальных КЭ, которые, кроме решения проблемы переналожения, имеют и другие достоинства, например, такие как: увеличение рабочей дистанции, уменьшение диаметра входного объектива и т.д. [2]. Однако на самом деле, такие КЭ не решают проблему переналожения, а лишь уменьшают зону (диапазон измерений) в которой может возникнуть переналожение, к тому же некоторые из них являются очень сложными в производстве и, как следствие, дорогими.

Современное развитие микроэлектроники позволило сместить решение проблемы переналожения меток из конструкционной области в область программного обеспечения. Мобильные процессоры, обладающие низким энергопотреблением, малой рассеиваемой мощностью и высокой производительностью позволили измерительным комплексам самостоятельно проводить обработку изображения в плоскости анализа.

С учетом известных проблем, возникающих в плоскости анализа, был разработан алгоритм, способный измерять координаты центров пересекающихся меток, сохранять работоспособность при высокой зашумленности изображения, различной интенсивности меток, бликов, паразитических засветках и т.п.

В основу алгоритма положена идея использовать преобразования Хафа. Преобразования Хафа позволяют решить проблему определения границ объекта при сильной зашумленности изображения, а также проблему группировки граничных точек путем применения определенной процедуры голосования к набору параметризованных объектов изображения. В качестве параметров используется уравнение окружности, так как априорна известна форма меток в плоскости анализа. После формирования аккумуляционного массива происходит фильтрация и поиск локальных максимумов, которые и соответствуют центрам меток [3].

С помощью технологии MATLAB была проведена серия экспериментов с моделированием трех меток в плоскости анализа. Исследования доказали сохранение работоспособности алгоритма и обеспечения точности измерений с погрешностью менее 0,5 пикселя при расстоянии между центрами меток, равному радиусу метки. Для дальнейшего исследования была собрана экспериментальная установка, состоящая из ОЭА с фокусным расстоянием 100 мм и призменным отражателем в качестве КЭ. Обработка полученных изображений производилась на персональном компьютере, подключенном к автоколлимационному блоку. Во время эксперимента производилась серия измерений для различных отклонений контрольного элемента. Для каждого положения КЭ производилась серия снимков. Каждый кадр обрабатывался отдельно. Данные в рамках одной серии усреднялись.

На рис. 2, а, представлен график измерения угла скручивания. Как видно из рис. 2, а, график изменения координат по обеим осям практически линеен и соответствует теоретическим ожиданиям. На рис. 2, б, в, – представлена работа КЭ и алгоритма во втором режиме измерений. Данный режим позволяет производить измерения коллимационных углов в широком диапазоне. С учетом особенностей КЭ метки движутся вдоль оси, сближаясь или, наоборот, удаляясь друг от друга в соответствии с рис. 1, б.

Результатом исследования является доказанная возможность практической реализации одноканальной трехкоординатной углоизмерительной системы (при измерении коллимационных углов в малом диапазоне) или двухкоординатной системы (измерение коллимационных углов в большом диапазоне), что открывает новые области

применения таких приборов, снижает требования к месту установки, стоимость и габариты.

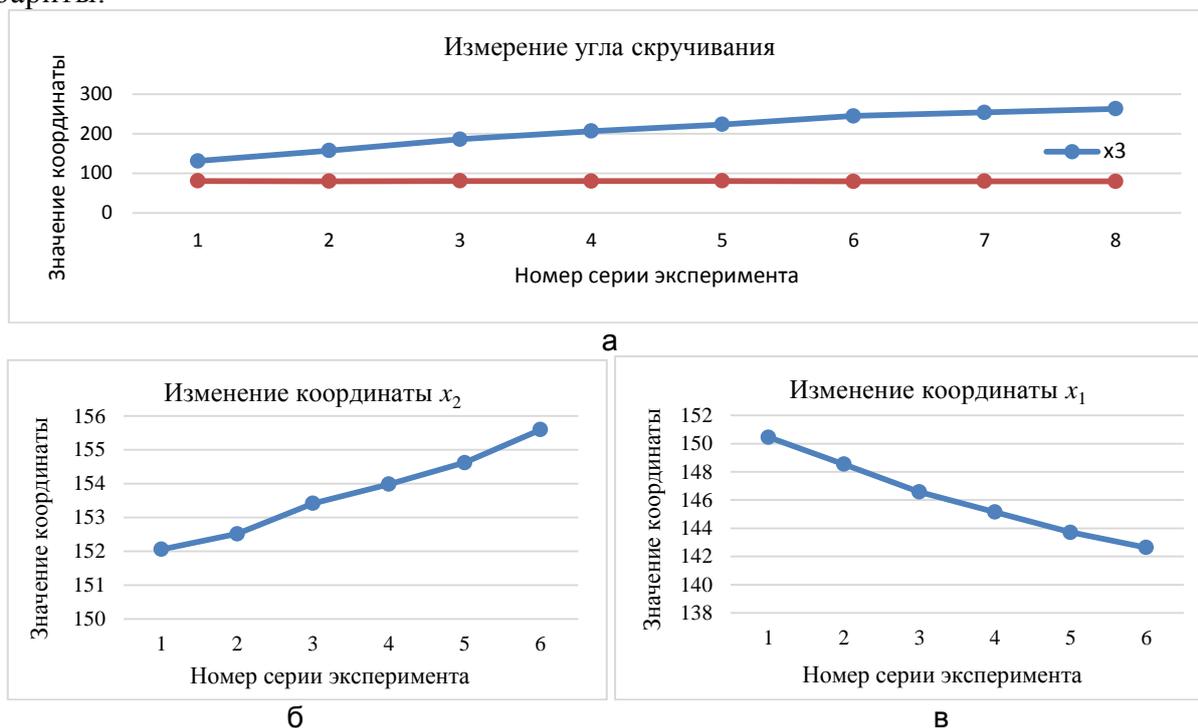


Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований: график измерения угла скручивания (а); работа КЭ (б) и алгоритма во втором режиме измерений (в)

Литература

1. Konyakhin I.A., Turgalieva T.V., Konyakhin A.I. Optic-electronic autocollimation sensor for measurement of the three-axis angular deformation of industry objects // Proceedings of SPIE. – 2012. – V. 8439. – P. 84391.
2. Konyakhin I.A., Moiseeva A.A., Moiseev E.A. Configurations of the reflector for optical-electronic autocollimator // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 9889. – P. 98891S.
3. Nogin A., Konyakhin I. Smart image selection algorithm in analysis plane of angle measuring sensor // IEEE Workshop 2016 Industrial and Medical Measurement and Sensor Technology Vehicle Sensor Technology: Sensorica 2016. – 2016. – № 5. – P. 38, 39



Одворченко Павел Владимирович

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4232

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: odn-pav@yandex.ru

УДК 535.651

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОТОМЕТР-КОЛОРИМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С РАССЕЯНИЕМ СВЕТА

Одворченко П.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Яськов А.Д.

В работе представлен макет лабораторного фотометра-колориметра для исследования цветковых характеристик объектов с рассеянием света. Приведена его структурная схема, алгоритм калибровки

прибора, даны результаты измерения цветовых параметров тестовых образцов. Экспериментальные данные измерений образцов сопоставлены с данными, полученными из спектров их отражения и пропускания.

Ключевые слова: колориметрия, колориметрические приборы, интегрирующая сфера, цветовые параметры, рассеяние света.

Определение количества красящих пигментов, а также величина прозрачности материалов крайне важны для некоторых областей науки и техники. Так, например, в области эстетической стоматологии важно подобрать нужный по цвету композитный материал [1]; в области нефтехимической промышленности на первых этапах переработки нефти по ее цвету можно определить плотность в соответствии с существующими цветовыми шкалами (Сейболта, ASTM) [2]. Для определения цветовых характеристик образца, как известно, применяются колориметры [3]. В настоящее время наиболее распространены колориметры, измеряющие цветовые характеристики материалов в отраженном свете. Наличие колориметров, работающих в проходящем свете, крайне ограничено, поэтому **цель работы** состояла в разработке и настройке лабораторного фотометра-колориметра на основе интегрирующих сфер и оптоэлектронных RGB-компонентов для определения цветовых и фотометрических характеристик исследуемых объектов в отраженном и проходящем свете.

Внешний вид разработанного прибора представлен на рис. 1, а, его структурная схема на рис. 1, б.

Прибор представляет собой модуль, в состав которого входят:

1. осветитель на основе светодиода;
2. две интегрирующие сферы;
3. блок сбора, обработки данных на основе RGB-фотодиодов для измерения красной, зеленой и синей составляющих исследуемых потоков излучения.

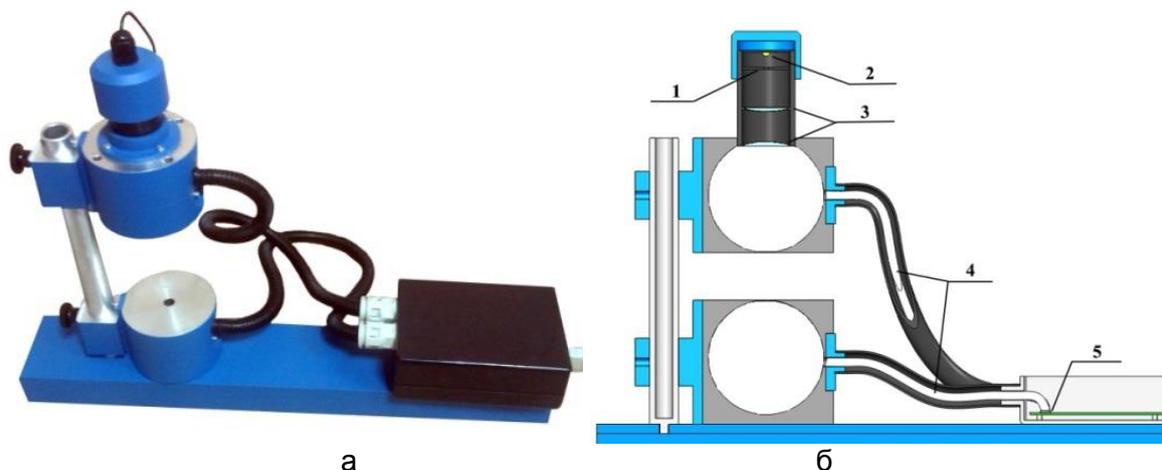


Рис. 1. Оптико-электронный фотометр-колориметр: внешний вид (а); структурная схема: 1 – диафрагма; 2 – светодиод; 3 – линзы; 4 – оптическое волокно; 5 – фотодиод (б)

Интегрирующие сферы были изготовлены в виде двух полусфер из алюминиевого сплава Д16 и имели схожие геометрические размеры:

- диаметр внутренней полости сфер 70 мм,
- диаметр люка для установки образца 10 мм.

Для обеспечения равномерного распределения падающего излучения в интегрирующих сферах, внутренняя поверхность их покрывалась краской на основе сульфата бария. Покрытие наносилось в несколько слоев согласно ГОСТ 55702-2013 [4]. На рис. 2 представлены результаты измерения спектров отражения внутренней поверхности сфер после нанесения каждого слоя. Как видно из рисунка, после покраски коэффициент

отражения внутренней поверхности сфер составляет порядка 95–98% в диапазоне длин волн $\lambda=380\text{--}760$ нм.

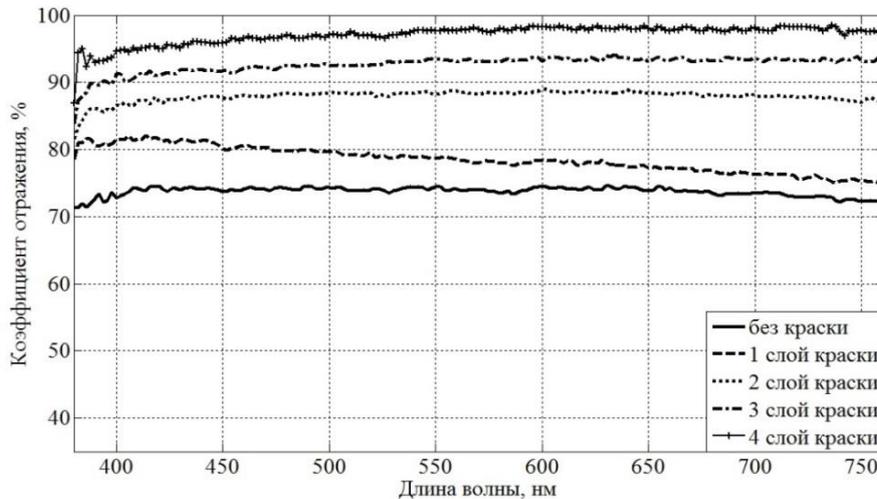


Рис. 2. Спектр отражения внутренней полости сфер после нанесения покрытия

Калибровка прибора предполагает измерение уровней «0%» и «100%» отражения и пропускания, а также сопоставление координат цвета, рассчитанных на основании спектров пропускания и отражения эталонов, с сигналами фотодиода, полученными от каждой интегрирующей сферы.

Для измерения уровней «0%» и «100%» отражения и пропускания предполагается расположение сфер относительно друг друга в 4-х различных положениях:

1. верхняя сфера с открытым портом для установки образца ($R_{0\%}$) – измерение уровня «0%» отражения;
2. верхняя сфера с диффузноотражающим эталоном на основе стекла МС-20 ($R_{100\%}$) – измерение «100%» отражения;
3. две соединенные концентрично сферы при отсутствии освещения без использования образца в зазоре между ними ($T_{0\%}$) – измерение «0%» пропускания;
4. две соединенные сферы с включенным источником излучения без использования образца в зазоре между ними ($T_{100\%}$) – измерение «100%» пропускания.

После измерения уровней «0%» и «100%» становится возможным получить значения коэффициента отражения и коэффициента пропускания исследуемого образца. Расчет результирующих коэффициентов отражения и пропускания производится по формулам:

$$R = r_{\text{std}} \cdot \frac{R_{\text{обр.}} - R_{0\%}}{R_{100\%} - R_{0\%}}, \quad (1)$$

$$T = \frac{T_{\text{обр.}} - T_{0\%}}{T_{100\%} - T_{0\%}}, \quad (2)$$

где r_{std} – коэффициент отражения эталона (молочное стекло МС-20); $R_{\text{обр.}}$, $T_{\text{обр.}}$ – измерение коэффициентов отражения и пропускания образца.

Для сопоставления координат цвета эталона, рассчитанных на основании его спектра отражения и пропускания с сигналами фотодиода, необходимо найти переходную матрицу \mathbf{X} , используя выражение:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}, \quad (3)$$

где \mathbf{A} – матрица сигналов фотодиода; \mathbf{B} – расчетные значения координат цвета эталонов.

Рассчитав переходную матрицу X для эталонов, становится возможным получить значения координат цвета исследуемых образцов. В качестве тестовых образцов для измерения цветовых характеристик была использована цветная бумага. Образцы бумаги устанавливались в зазор между двумя интегрирующими сферами. Полученные экспериментальные значения цветовых характеристик сравнивались со значениями, рассчитанными на основании их спектров отражения и пропускания. Результаты сравнения приведены в таблице.

Таблица. Координаты цвета тестовых образцов

	Экспериментальные значения			Расчетные значения		
	<i>R</i>	<i>G</i>	<i>B</i>	<i>R</i>	<i>G</i>	<i>B</i>
1 образец	66,60	18,04	5,56	64,84	17,14	3,94
2 образец	33,17	61,17	5,36	33,58	62,53	7,52
3 образец	9,54	29,67	14,94	7,28	27,04	13,97
4 образец	74,9	26,6	10,27	75,01	27,72	11,58

Из таблицы видно, что сходимость координат цвета, полученных из спектров отражения, и измеренных при помощи фотометра – колориметра находится в пределах $\Delta R, G, B=2,63$, что удовлетворяет большинству применений колориметрических приборов.

Литература

1. Ryan E.-A., Tam L.E., McComb D. Comparative translucency of esthetic composite resin restorative materials // J. Can. Dent. Assoc. – 2010. – V. 76: a84. – P. 1–6.
2. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: уч. пособие для вузов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.
3. Datacolor, Inc.: Datacolor Elrepho [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://industrial.datacolor.com/products/>, свобод.
4. ГОСТ 55702-2013. Источники света электрические. Методы измерений электрических и световых параметров. – Введен 01.07.2014. – М.: Стандартинформ, 2013. – 27 с.



Орлова Татьяна Романовна

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4205

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: tanni_tanni@inbox.ru

УДК 681.7.055

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ ПЛАНАРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Орлова Т.Р.

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. Тимофеев А.Н.

В современном мире активно идет строительство различных зданий, заводов и станций. Но из-за сжатых сроков, основное внимание не уделяется качеству постройки, и это может стать причиной

обрушения. Именно поэтому на данный момент очень актуальной является разработка опико-электронной системы предупреждения техногенных катастроф для планарных строительных конструкций. Эти системы позволяют контролировать пространственное положение элементов строительных конструкций относительно реперных меток, установленных на критических точках сооружения.

Ключевые слова: градиент температуры, турбулентность атмосферы, СКО.

Была разработана структурная схема прибора, представленная на рис. 1.

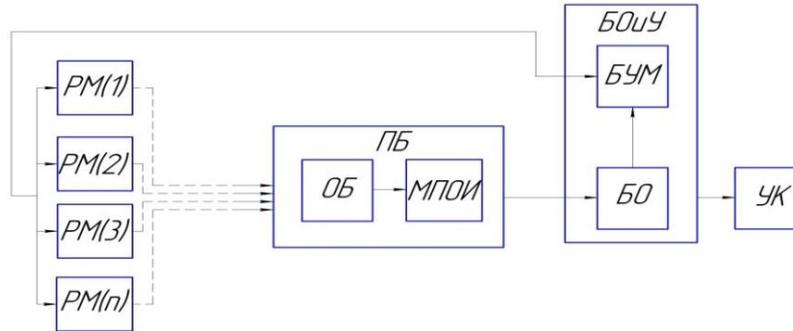


Рис. 1. Структурная схема опико-электронной системы для предотвращения техногенных катастроф планарных строительных конструкций

Она включает в себя блок обработки (БО) и управления, реперные метки (PM) и приемный блок (ПБ), состоящий из объектива и матричного приемника оптического излучения (МПОИ). Принцип работы системы заключается в том, что блок управления метками (БУМ) включает PM, сигнал от них поступает в приемный блок, а оттуда в блок обработки (БО), где фиксируется положение метки, попиксельно сравнивается с эталоном, и в случае изменения положения PM эта информация поступает на УК и информирует о произошедших смещениях [1].

В ходе исследований было выявлено, что наибольшее влияние на работу системы оказывают погрешности турбулентности атмосферы и градиента температур. Был проведен эксперимент, задача которого состояла в том, чтобы изучить зависимость этих погрешностей от частоты кадров.

Эксперимент проводился на установке, состоящей из камеры, подключенной к блоку обработки и RGB-светодиода, все цветовые каналы которого были поочередно измерены. Во второй части эксперимента на пути воздушного тракта был помещен источник теплового воздействия для исследования теплового влияния и влияния турбулентности на результаты определения координаты PM. В ходе эксперимента поочередно производились серии съемок 3х каналов полупроводникового светодиода с различной частотой кадров (от 10 до 1000). Для второй серии производились аналогичные измерения, но в установке присутствовал источник погрешностей. Затем в программе Matlab были найдены энергетические центры изображений и рассчитаны средние квадратичные отклонения (СКО). На рис. 2–4 представлены графики изменения значений СКО от частоты кадров для осей X и Y.



Рис. 2. Графики зависимости значений СКО от частоты кадров для красного канала светодиода

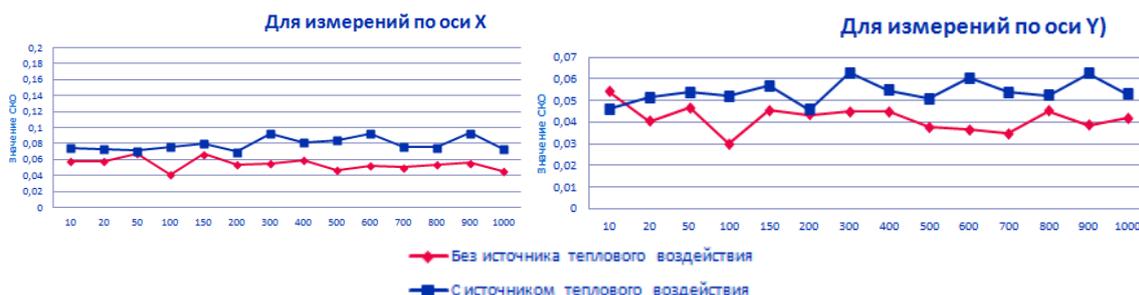


Рис. 3. Графики зависимости значений СКО от частоты кадров для зеленого канала светодиода

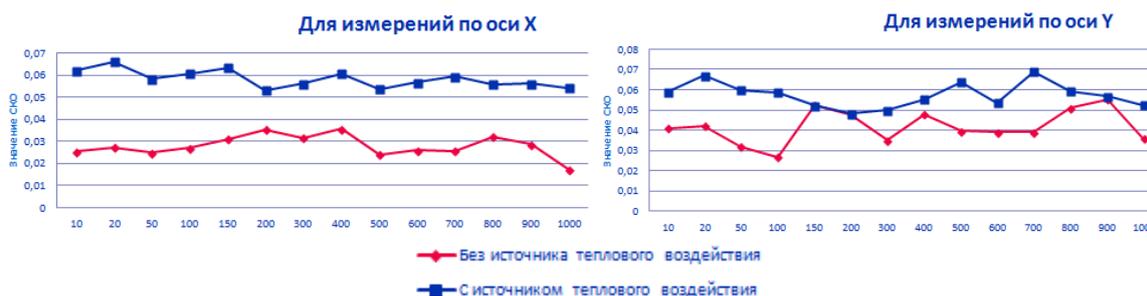


Рис. 4. Графики зависимости значений СКО от частоты кадров для синего канала светодиода

Эксперимент показал, что увеличение частоты кадров позволяет немного уменьшить влияние этих погрешностей при частоте кадров примерно 100–200 в секунду. Дальнейшее увеличение частоты кадров оказывает незначительное влияние на величину погрешностей.

Литература

1. Арефьева Е.А., Тимофеев А.Н. Исследование характеристик оптико-электронных систем контроля пространственного положения элементов инженерных конструкций. Методические указания. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. – 38 с.



Останин Степан Андреевич

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, группа № В3464

Направление подготовки: 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

e-mail: stepan.ostanin1995@gmail.com

УДК 544.23.022

ЭВОЛЮЦИЯ РАЗМЕРОВ ЖЕСТКИХ ДОМЕНОВ И МЕЖФАЗНОЙ ОБЛАСТИ В ПОЛИУРЕТАНАХ-ПОЛИМОЧЕВИНАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ, ИССЛЕДОВАННАЯ МЕТОДОМ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Останин С.А.

Научный руководитель – д.х.н., профессор Зуев В.В.

В работе был использован ^1H протонный спин-диффузионный твердотельный ЯМР, в сочетании с другими методами, для изучения влияния молекулярной архитектуры, параметра растворимости

твердых и мягких сегментов, и их длины на размер доменов, толщину межфазного слоя и степень фазового разделения в полиуретан-мочевинах, состоящих из олигомерных 4,4'-диизоцианат дифенилметана, метилен-бис-(2-хлоранилина) и полиолов на основе полиэтиленоксида, полипропиленоксида и полибутадиена с различной длиной.

Ключевые слова: ^1H спин-диффузионный твердотельный ЯМР; ИК-спектроскопия; полиуретан; размер доменов; межфазная область.

Полиуретан (ПУ) – промышленно важный синтетический каучук, обладающий превосходной гибкостью, эластичностью и способностью амортизировать. Эти свойства в сочетании с его высокоплавкостью и возможностью перестраивать физические свойства делают этот термопластичный эластомер применимым в производстве покрытий, клеев, пенопластов, биомиметических и других материалов в областях современных технологий [1].

ПУ – мульти-блок-сополимер, который состоит из чередующихся жестких и мягких сегментов. Жесткий сегмент (ЖС) состоит из диизоцианата и цепи фрагментов наполнителя, а мягкие сегменты (МС) состоят из гибких полиолов: полипропиленоксида (ППО), полибутадиена (ПБУ) или полиэтиленоксида (ПЭО).

ЖС и МС термодинамически несовместимы при низких температурах, это приводит к микрофазному разделению структуры ПУ [2]. Морфология является доминирующим фактором, определяющим механические и другие свойства ПУ. Однако применение ПУ по-прежнему ограничено их малой жесткостью. Один из путей решения этой проблемы синтез сегментированных поли(уретан-мочевин) (СПУМ) сополимеров. Детальные исследования были проведены для того, чтобы изучить свойства полимера при различных видах мягких блоков, с разной длиной. Также были проведены работы по выяснению изменений свойств содержимого в зависимости от типа жестких блоков и их длины. Жесткие отрезки образуют жесткие домены, которые выступают в качестве эффективного армирующего наполнителя, а также физическим сшивателем сторон для эластомерной матрицы мягкого сегмента, тем самым обеспечивая стабильность. Области мягкой матрицы, в которой взаимодействия с твердыми доменными поверхностями существенно изменяют динамику и свойства цепи, обычно называют «интерфаза» – межфазная область. Интерфаза имеет важнейшее значение для нанокompозитов ввиду чрезвычайно высокой площади поверхности к объему наночастиц. В хорошо дисперсных системах, зона межфазного слоя может просачиваться через весь нанокompозит, и, таким образом, ее свойства становятся доминирующими во всем объеме.

Следовательно, надлежащее изучение микроструктурных физических характеристик, таких как размер доменов и интерфазы является ключом к полиуретановым материалам с желаемыми макроскопическими свойствами.

Авторы использовали ^1H спин-диффузионный твердотельный ядерный магнитный резонанс (ЯМР) для изучения влияния химического строения нескольких СПУМ на размеры их микрофазы, в частности, изучали процессы релаксации в них.

Несмотря на предыдущие исследования, мало экспериментальных работ было направлено на изучение размера твердых доменов и интерфазы в ПУ или СПУМ с различной молекулярной архитектурой. **Целью исследования** являлась оценка влияния состава на микрофазу, методами спин-диффузионного ЯМР.

Основываясь на различиях в молекулярной подвижности в различных фазах (рисунок), протонный спин-диффузионный метод ЯМР широко применяется для исследования структуры микрофазы в твердых полимерах [3]. Для получения различных экспериментальных данных были использованы различные последовательности импульсов и обработки полученных сигналов – так называемые, дипольный (для определения толщины интерфазы) и двойной квантовый (для определения доли жесткой доменов) фильтры [4].

В качестве меры фазового разделения использован параметр, известный как «степень фазового разделения».

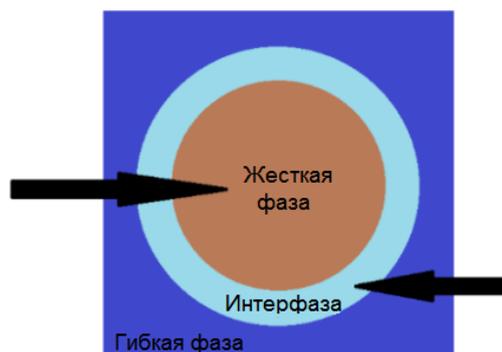


Рисунок. Структура мульти-блок-сополимера

Полученные данные также были пересчитаны и проверены с помощью инфракрасной (ИК) спектроскопии с Фурье-преобразованием. Результаты ИК коррелируют с толщиной интерфазы определенной методом ЯМР.

В ходе работы было выяснено, что полиуретан-мочевины на основе полиэтиленоксидных мягких блоков не образуют жестких доменов в результате отсутствия микрофазного расслоения. Размеры доменов жестких сегментов при исследовании практически не показали зависимости от своего состава, но было выявлено, что толщина интерфазы выше для систем с мягкими блоками на основе полибутадиена. Это означает, что степень разделения фаз сильно зависит не только от бинарного термодинамического взаимодействия между твердыми и мягкими сегментами в полиуретан-мочевинах, но также зависит от их молекулярной архитектуры в экспериментальном диапазоне температур. Полученные данные приведены в таблице.

Таблица. Полученные данные и данные, использованные для расчета

Образцы	Степень фазового разделения	Коэффициент диффузии подвижной фазы, $\text{нм}^2/\text{мс}$	Коэффициент диффузии жесткой фазы, $\text{нм}^2/\text{мс}$	Размер интерфазы, нм	Размер полимерной матрицы, нм
1-ППО	0,82	0,19	0,24	0,28	9,5
2-ППО	0,84	0,30	0,24	0,27	8,3
3-ППО	0,85	0,30	0,23	0,24	7,1
1-ПБУ	0,68	0,30	0,13	0,37	8,1
2-ПБУ	0,73	0,31	0,21	0,42	9,1
3-ПБУ	0,74	0,31	0,21	0,47	9,4

Механические свойства СПУМ сильно зависят от степени разделения фаз между твердым и мягким блоками и высокая степень разделения фаз приводит к повышению склонности жестких доменов, изолироваться в матрице МС. В результате СПУМ становятся сильнее и тверже, в связи с увеличением термодинамической несовместимости между двумя его сегментами.

Литература

1. Chattopadhyay D.K., Raju K.V.S.N. Structural engineering of polyurethane coatings for high performance applications // Prog. Polym. Sci. – 2007. – V. 32. – P. 352–418.
2. Mishra A., Aswal V.K., Maiti P. From nanostructure to microstructure self-assembly of aliphatic polyurethanes: the effect on mechanical properties // J. Phys. Chem. B. – 2010. – V. 114. – P. 5292–5300.

3. Li X.J., Fu W.G., Wang Y.N., Chen T.H., Liu X.H., Lin H., Sun P., Jin Q., Ding D. Solid-State NMR characterization of unsaturated polyester thermoset blends containing PEO-PPO-PEO block copolymers // Polymer. – 2008. – V. 49. – P. 2886–2897.
4. Jack K.S., Wang J.H., Natanson A., Register R.A. Characterization of the microdomain structure in polystyrene-polyisoprene block copolymers by ^1H spin diffusion and small-angle X-ray scattering methods // Macromolecules. – 1998. – V. 31. – P. 3282–3291.



Петренко Артем Александрович

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В3416

Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: mormik95@gmail.com



Поторочин Дмитрий Вячеславович

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, группа № В4216

Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: dm.potorochin@gmail.com



Кудряшов Сергей Иванович

Год рождения: 1969

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: sikudr@sci.lebedev.ru



Агеев Эдуард Игоревич

Год рождения: 1984

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и систем, к.т.н.

e-mail: ageev@lastech.ifmo.ru

УДК 621.373.826

**ГЕНЕРАЦИЯ ПОЛИМОРФНЫХ МОДИФИКАЦИЙ КРЕМНИЯ
ПРИ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ**

Петренко А.А., Поторочин Д.В., Кудряшов С.И., Агеев Э.И.

Научный руководитель – к.т.н. Агеев Э.И.

В работе исследованы морфологические особенности поверхности, структура приповерхностных слоев кремниевых образцов, подвергнутых фемтосекундному лазерному воздействию с постоянной пиковой плотностью энергии и переменным числом импульсов, приходящихся на единицу площади.

Исследована эволюция полиморфных модификаций кремния в зависимости от длительности экспозиции.

Ключевые слова: полиморфные модификации кремния, фемтосекундная лазерная абляция, поверхностные периодические структуры, откольный кратер, фазовый взрыв.

В результате воздействия на кремниевые образцы ультракоротких лазерных импульсов индуцируются сверхбыстрые неравновесные процессы, приводящие к возникновению новых структурно-фазовых состояний кремния, обладающих уникальными свойствами, которые представляют существенный интерес для производства новых оптико-электронных приборов с увеличенной производительностью за счет изменения зонной структуры кремния при переходе от одной пространственной группы решетки к другой. Например, ромбоэдрическая модификация кремния с 8 атомами в элементарной ячейке (Si-XII) является непрямозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны 0,23 эВ [1]. Кремний с объемно-центрированной кубической решеткой с 8 атомами в элементарной ячейке (Si-III) является полуметаллом *p*-типа [2], а кремний с тетрагональной решеткой с 12 атомами в элементарной ячейке потенциально способен обладать свойствами сверхпроводника [3]. Предполагается, что ключевое значение в механизме фазовых преобразований, происходящих в кремнии при фемтосекундном лазерном воздействии, имеют индуцируемые в результате абляции ударные волны высокого давления. Под действием этих волн происходит сжатие вещества в более плотно упакованные структуры. В свою очередь, критически малые временные масштабы охлаждения обеспечиваются высокими скоростями остывания за счет теплоотвода вглубь объема материала, происходит закалка короткоживущих структур.

В настоящей работе при многоимпульсном лазерном воздействии на поверхности кремния образуются поверхностные периодические структуры, которые играют роль концентраторов энергии в бороздках между ними (за счет многократного переотражения излучения [4]), что, в свою очередь, ведет к увеличению амплитуды генерируемой ударной волны.

Облучение атомарно плоских полированных пластин монокристаллического кремния (100) осуществлялось с использованием экспериментальной установки, состоящей из фемтосекундного иттербиевого волоконного лазера Satsuma (центральная длина волны $\lambda=1030$ нм, максимальная энергия в импульсе до 10 мкДж в TEM₀₀ моде, FWHM длительность импульса $\tau=300$ фс, частота следования импульсов $f=0-500$ кГц), гальваносканера АТЕКО™ и моторизованной платформы для точного позиционирования образца в трех пространственных координатах. Лазерные импульсы с энергией ≈ 5 мкДж фокусировались в круглое пятно радиусом $\sigma_{1/e} \approx 15$ мкм на поверхности образца (пиковая плотность энергии $F_0 \approx 0,9$ Дж/см²) с помощью объектива из силикатного стекла (фокусное расстояние ≈ 100 мм). Сканирование осуществлялось по квадратным областям размером 1×1 мм² с заполнением 100 лин/мм по одной пространственной координате и с постоянной скоростью сканирования 24 мм/с по второй координате при переменной частоте следования импульсов $f=1,6, 5, 16, 50, 160, 500$ кГц, что соответствует экспозициям $N=1, 3, 10, 100, 300$ импульсов в точку.

При одноимпульсном воздействии с пиковой плотностью энергии $F_0 \approx 0,9$ Дж/см² на поверхности кремния возникают выраженные откольные кратеры, имеющие микрошероховатую границу из микропузырьков, образованных в результате спонтанного вскипания материала в процессе абляции (рис. 1). На рис. 1, а, представлены поверхностные структуры, возникающие при фемтосекундной лазерной абляции кремниевых образцов. Область за границей кратера визуально более темная (рис. 1, б), что объясняется расплавлением и последующим застыванием, ведущим к частичной аморфизации и структурной модификации кремния. Процессы повторного застывания, аморфизации и фазовых трансформаций индуцируют возникновение механических напряжений, ведущих к разрыву и отслоению естественного оксидного слоя и слоя, образованного в результате лазерного воздействия. При увеличении экспозиции наблюдается формирование поверхностных периодических структур (рис. 1, в). Дальнейшее увеличение числа импульсов, приходящихся на единицу площади материала, приводит к тому, что поверхностные периодические структуры становятся более выраженными

за счет локального увеличения интенсивности лазерного воздействия внутри бороздок, происходящего из-за многократного переотражения падающего излучения на границах боковых поверхностей бороздок. Соответствующая микроструктура быстро развивается и при высоких значениях экспозиции ($N=100-300$) переходит к топографии «черного кремния» [5] с более широкими и высокими микроколоннами за счет развития на поверхности выраженных микроконусов, увеличивающихся в размерах при взаимном сплавлении в результате интенсивной абляции. На поверхности микроколонн наблюдается обширная генерация наночастиц (рис. 1, г), являющихся продуктом парогазовой смеси, выброшенной в результате абляции, что свидетельствует о переходе механизма абляции от откольной к фазовому взрыву. Такое сильное изменение в механизме абляции кремния приводит к сильному локальному нагружению поверхности, изменению в динамике расплавления и повторного затвердевания, а также к изменению рисунка распределения напряжений на поверхности образцов, структурным модификациям кремния.

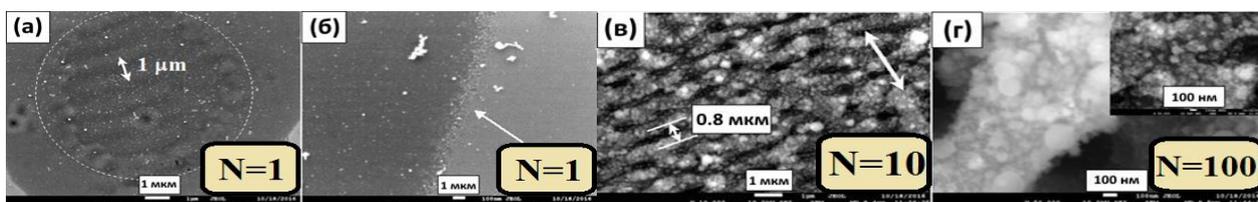


Рис. 1. СЭМ-снимки поверхности кремниевых образцов, модифицированных в результате фемтосекундного лазерного воздействия с различной экспозицией: $N=1$ (а)–(б); $N=10$ (в); $N=100$ (г)

В приповерхностном слое модифицированного кремния можно наблюдать следующие структурные особенности: аморфные области с размерами до 200 нм, окружающие точечные кристаллические включения полиморфных модификаций кремния Si-III и Si-XII с размерами порядка 10–20 нм. На рис. 2 представлена кристаллическая структура приповерхностного слоя кремниевого образца, подвергнутого фемтосекундной лазерной абляции. Модификация кремния происходит на глубину до 2 мкм от пиков периодических структур, при этом наибольшее число структурных особенностей можно обнаружить на глубине до 0,5 мкм. По-видимому, аморфные области и нанокристаллические полиморфные включения являются результатом воздействия сходящихся в данной области волн сжатия, образующихся в результате интенсивной абляции и распространяющихся от канавок периодических структур, что согласуется с эволюцией микрорельефа поверхности. При этом аморфный и поликристаллический кремний, окружающий нанокристаллы фаз кремния высокого давления в приповерхностном слое следует рассматривать как композитную переходную область с постепенно снижающимися остаточными растягивающими напряжениями вокруг кремниевых нанополлиморфов.

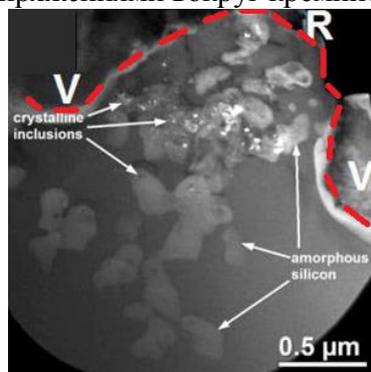


Рис. 2. ПЭМ-снимок поперечного профиля поверхностной периодической структуры, образованной в результате воздействия на кремний 30 фемтосекундных лазерных импульсов. R – пик периодической структуры, V – канавка периодической структуры, штриховая линия дана для наглядности

В данной работе было произведено исследование кремниевых образцов, подвергнутых фемтосекундному лазерному воздействию с постоянной пиковой плотностью энергии и переменным числом импульсов, воздействующих на единицу площади поверхности. Полученные результаты дали непосредственное представление о морфологических особенностях кремниевой поверхности, подвергнутой фемтосекундной лазерной абляции с различной экспозицией, а также о кристаллической структуре приповерхностных слоев, внутри которых на субмикронных глубинах были обнаружены нанокристаллы полиморфных модификаций кремния Si-III и Si-XII, встроенные в наноразмерные аморфизированные области.

Литература

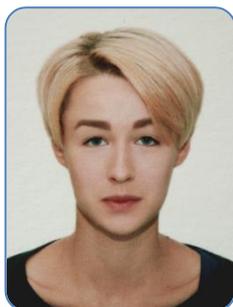
1. Malone B.D., Sau J.D., Cohen M.L. Ab initio study of the optical properties of Si-XII // Physical Review B. – 2008. – V. 78. – № 16. – P. 161202-1–161202-4.
2. Weill G. et al. Characterization of Si-III and Si-IV, metastable forms of silicon at ambient pressure // Semiconductor Science and Technology. – 1989. – V. 4. – № 4. – P. 280–282.
3. Rapp L. et al. Experimental evidence of new tetragonal polymorphs of silicon formed through ultrafast laser-induced confined microexplosion // Nature communications. – 2015. – V. 6. – P. 7555-1–7555-10.
4. Smith M.J. et al. The origins of pressure-induced phase transformations during the surface texturing of silicon using femtosecond laser irradiation // Journal of Applied Physics. – 2012. – V. 112. – № 8. – P. 083518-1–083518-8.
5. Her T.H. et al. Microstructuring of silicon with femtosecond laser pulses // Applied Physics Letters. – 1998. – V. 73. – № 12. – P. 1673–1675.



Плотникова Людмила Валерьевна

Год рождения: 1970

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, аспирант
Направление подготовки: 18.06.01 – Химические технологии
e-mail: ljusta@mail.com



Кобелева Марина Олеговна

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, группа № В4166
Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология
e-mail: holamary7@gmail.com

УДК 681.785.2

РЕФРАКТОМЕТРИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Плотникова Л.В., Кобелева М.О.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Успенская М.В.

В работе рассмотрено применение рефрактометрических методов исследования оптических свойств биологических систем на примере сыворотки крови здоровых людей и больных множественной миеломой до и после прохождения курса противоопухолевой терапии.

Ключевые слова: множественная миелома, рефрактометрия, М-протеин, показатель преломления, протеинемия.

Множественная миелома (ММ) – заболевание кроветворной системы, при котором синтезируются моноклональный (одного типа) белок, относящийся к иммуноглобулинам (М-протеин), и (или) его легкие цепи, которые обнаруживаются в сыворотке крови и (или) моче, редко только в цитоплазме клональных клеток. ММ входит в 1% всех злокачественных опухолей и составляет чуть более 10% от всех гемобластозов, на сегодняшний день считается неизлечимой [1].

В последнее время большое внимание уделяется разработке и использованию различных экспресс-методов определения белкового состава биологических образцов, в том числе для диагностики ММ [2, 3]. В некоторых случаях, как, например, при определении множественной миеломы, необходимо получить достоверную оценку количества тех или иных компонентов в составе биологического материала. Рефрактометрический анализ в такой ситуации обладает рядом преимуществ, таких как простота, малое время и высокая точность анализа. Рефрактометрия с успехом используется как для количественного, так и для качественного анализа биологических жидкостей, таких как сыворотка крови, плазма крови, моча [4].

В работе изучались различия в оптических свойствах сывороток крови здоровых людей и больных множественной миеломой до и после прохождения курса терапии с помощью рефрактометрических методов. Использовались образцы сыворотки крови 14 пациентов обоих полов в возрасте от 42 до 78 лет с диагнозом множественной миеломы II-III стадий, находящихся под наблюдением гематологической клиники Российского научно-исследовательского института гематологии и трансфузиологии, а также контрольные образцы сыворотки крови 55 здоровых доноров крови. Образцы сыворотки крови после прохождения первого курса противоопухолевой терапии были собраны у 8 больных из 14. Каждый образец поочередно помещался на поверхность призмы рефрактометра Abbemat 200 (Anton Paar, Австрия) и освещался светодиодом через интерференционный светофильтр под различными углами. Отраженный пучок регистрировался матрицей датчиков, информация обрабатывалась прибором в автоматическом режиме и выводилась на дисплей.

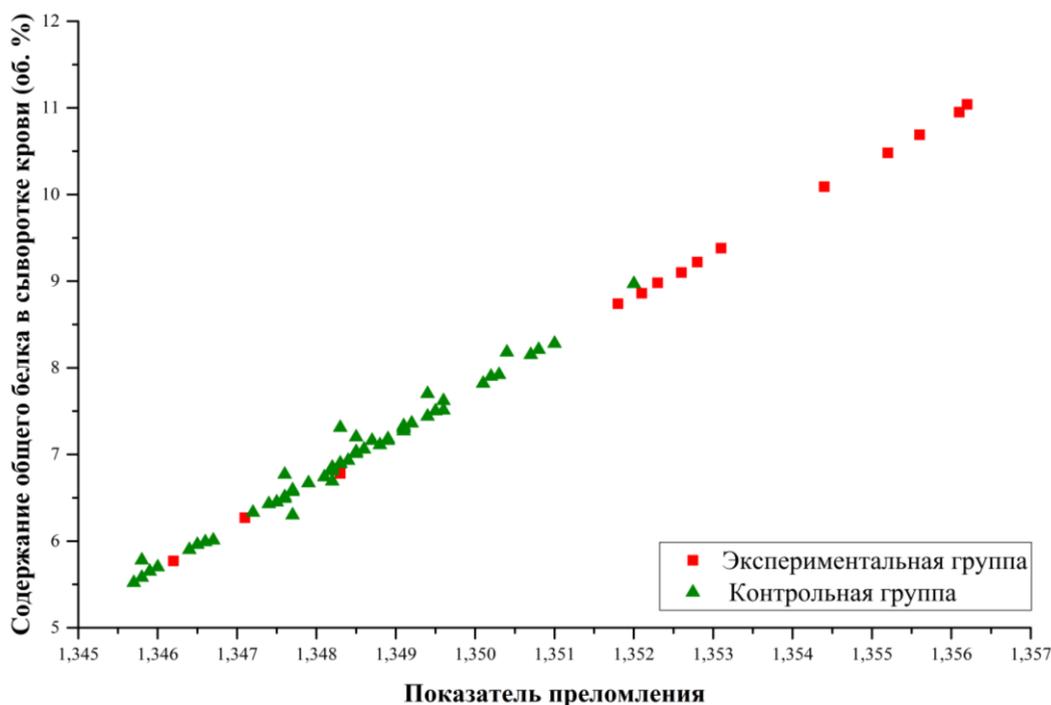


Рис. 1. Зависимость показателя преломления от концентрации белка в сыворотке крови больных ММ (экспериментальная группа) до прохождения курса противоопухолевой терапии и здоровых доноров крови (контрольная группа)

В связи с результатами статистического анализа данных, полученных с помощью рефрактометрии, можно утверждать, что между контрольной и экспериментальной группой до

лечения сохраняются достоверные различия как в концентрациях белка (критерий U – Манна–Уитни для независимых выборок, $U=637$; $p<0,05$), так и в показателях преломления ($U=643,5$; $p<0,05$).

На рис. 1 можно видеть, что пары значений «количество белка – показатель преломления» здоровых людей располагаются ниже, чем пары таких значений больных ММ до лечения, что говорит о том, что, в среднем, показатель преломления и количество белка в сыворотке крови больных ММ выше, чем у здоровых доноров крови. Последнее согласуется с данными исследования образцов методом электрофореза.

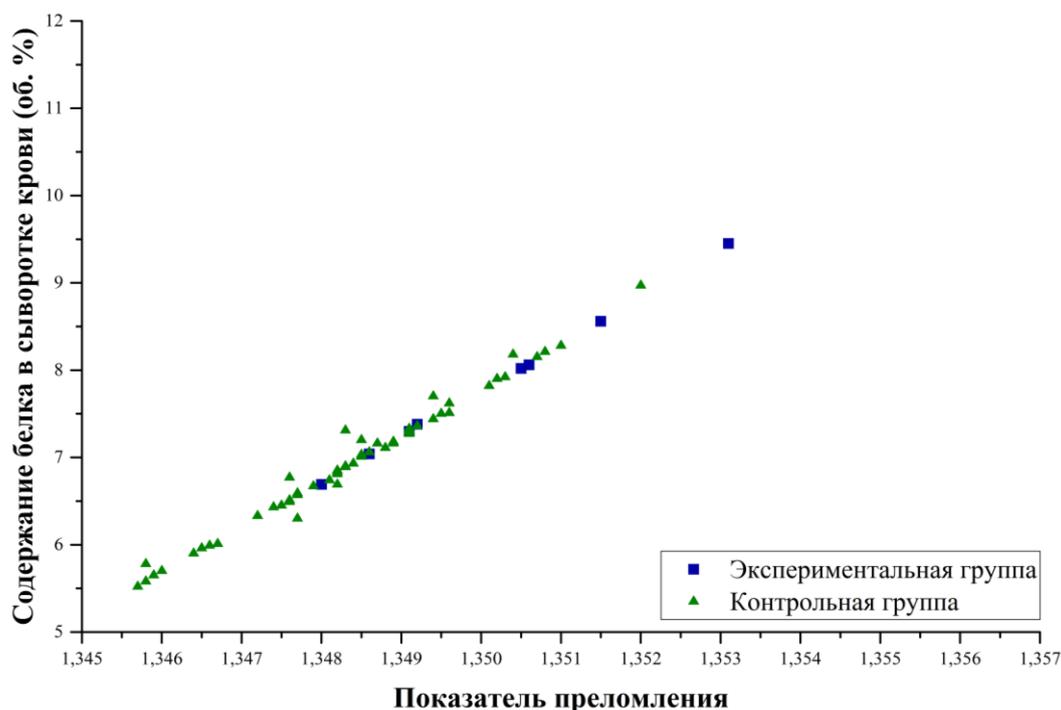


Рис. 2. Зависимость показателя преломления от концентрации белка в сыворотке крови больных ММ (экспериментальная группа) после прохождения курса противоопухолевой терапии и здоровых доноров крови (контрольная группа)

На рис. 2 наблюдается тенденция к снижению количества белка в сыворотке крови и, как следствие, показателя преломления у больных ММ, прошедших первый курс противоопухолевой терапии, несмотря на сохранение достоверных различий между экспериментальной и контрольной группой (для показателей преломления: $U=340,5$; $p<0,05$; для содержания белка: $U=105$; $p<0,05$).

Рефрактометрический анализ позволяет отслеживать изменения концентрации белков и показателя преломления сыворотки крови больных ММ, сочетая простоту, точность и высокую скорость анализа. Исходя из полученных данных, можно считать рефрактометрию подходящим методом исследования биологических систем в целом.

Литература

1. Gertz M., Rajkumar S. Multiple Myeloma. Diagnosis and Treatment. – NY: Springer, 2014. – 311 p.
2. Plotnikova L., Polyanichko A., Nosenko T., Uspenskaya M., Garifullin A., Voloshin S. Characterization of the infrared spectra of serum from patients with multiple myeloma // AIP Conference proceedings. – 2016. – V. 1760. – P. 020052-1–020052-4.
3. Плотникова Л.В., Поляничко А.М., Успенская М.В., Гарифуллин А.Д., Волошин С.В. Особенности инфракрасных спектров сыворотки крови у пациентов с множественной миеломой // Российский биотерапевтический журнал. – 2016. – № 1(15). – С. 87–88.

4. Рефрактометрия: методические указания / Сост.: Б.М. Стифатов, Ю.В. Рублинецкая. Самара: Самарский государственный технический университет, 2013. – 15 с.



Поваров Кирилл Сергеевич

Год рождения: 1993

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, группа № V4220

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: kirillpovarov@yandex.ru



Митрофанов Сергей Сергеевич

Год рождения: 1954

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, к.т.н., ст.н.с.

e-mail: m1990s@mail.ru

УДК 681.7; 535.8

СХЕМА КОМПОНОВКИ ЭНКОДЕРА НА КОЛЬЦЕВОМ «МУЛЬТИСКАНЕ»

Поваров К.С., Митрофанов С.С.

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. Митрофанов С.С.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 610732 «Разработка и исследование методов компьютерной фотоники для бесконтактного контроля объектов различного геометрического масштаба».

Для работы был проведен обзор энкодеров абсолютного (позиционного) типа, а в результате разработана схема компоновки углового энкодера абсолютного типа на базе позиционно-чувствительного фотоприемника «Мультискан». Проведен анализ разработанной схемы компоновки энкодера и оценено влияние основных элементов на его точность.

Ключевые слова: энкодер, мультискан, преобразователь угловых перемещений, абсолютный энкодер.

В роботостроении и приборостроении, а также других отраслях промышленности существует необходимость в решении задач контроля положения объектов в пространстве. Одна из современных тенденций развития этого направления – это уменьшение габаритов при сохранении высоких точностных характеристик.

Для контроля положения объектов в пространстве применяют такие устройства как преобразователи линейных и угловых перемещений, которые также называют энкодерами.

Энкодер – устройство, предназначенное для преобразования угла поворота вращающегося объекта (вала) в электрические сигналы, позволяющие определить угол его поворота [1]. Энкодеры применяют для решения множества задач. Их можно использовать не только для контроля положения, но и для выставления объекта в определенном положении в пространстве.

По способу выдачи информации энкодеры подразделяются на: энкодеры накапливающие (инкрементные) и энкодеры абсолютные (позиционные).

Инкрементальный энкодер – это устройство, которое определяет угол поворота вращающегося объекта, выдавая импульсный цифровой код, который формируется путем суммирования единичных импульсов в процессе поворота [2, 3].

Основным достоинством инкрементальных энкодеров является их простота, а также к достоинствам можно отнести надежность и относительно низкую стоимость.

Энкодер абсолютного типа на выходе выдает цифровой код, различный для каждого положения объекта в пространстве. Абсолютный энкодер применяется в высокоточных системах: робототехники, станков с числовым программным управлением и др.

Наиболее точными являются угловые энкодеры, построенные на кодовых дисках. Конструкция таких энкодеров состоит: из специальных оптических кодовых дисков, излучающего диода и фотодетектора. Диск, с нанесенной оптической шкалой (поверхность диска состоит из прозрачных и непрозрачных участков), жестко закрепляется на валу, а другой соосно и неподвижно закрепляется в корпусе. При вращении объекта (вала или объекта, сопряженного с валом энкодера) фотодетектор считывает информацию о наличии или отсутствии света, а электронный блок преобразует их в импульсы.

В случае, когда необходимо повысить точность функционирования энкодера, обычно существенно увеличиваются и его габариты (это связано с увеличением числа кодовых дорожек). Также угловые энкодеры содержат много деталей, которые необходимо изготавливать и устанавливать с высокой точностью (например, кодовые диски). Одним из вариантов устранения этих недостатков является применение кругового фотоприемника «Мультискан» [4, 5].

Фотоприемник «Мультискан» предназначен для измерений пространственных характеристик оптического излучения и представляет собой кремниевую структуру, сформированную на КСДИ (кремний с диэлектрической изоляцией), которая содержит набор встречно включенных диодов, одни концы которых подключены к распределенному делителю напряжения, а другие – к низкоомной сигнальной шине. На противоположных краях этого слоя нанесены омические контакты (сигнальные электроды), служащие для снятия сигналов. Это, соответственно, сигнальные электроды $U_{\text{вых1}}$, $U_{\text{вых2}}$, и нижний – общий U_0 . Длина же резистивного слоя равна линейному размеру дуги окружности (диаметр фоточувствительного слоя 16 мм) и составляет величину 44 мм [4–7].

На рис. 1, а, представлена структурная схема преобразователя, основанного на кодовых дисках, а на рис. 1, б, преобразователя – на основе кольцевого фотоприемника «Мультискан».

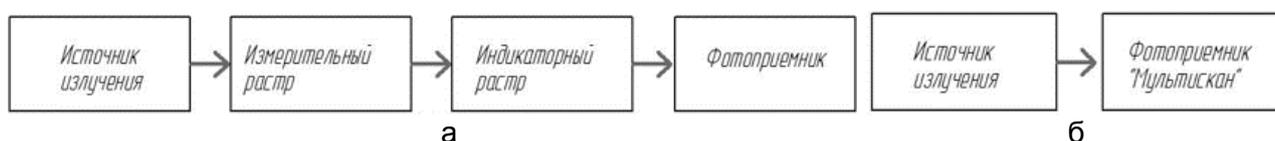


Рис. 1. Структурные схемы преобразователей; на кодовых дисках (а); на основе фотоприемника «Мультискан» (б)

Упрощение структурной схемы позволит уменьшить количество деталей энкодера и, как следствие, его габариты. Точностные характеристики «Мультискана», исследования которого проводились ранее, позволяют ожидать высокой точности работы преобразователя, оцениваемой погрешностью, равной $\pm 10''$.

В связи с этим была разработана схема углового энкодера на его основе, показанная на рис. 2.

Энкодер по этой схеме содержит вал 1, который установлен в опору 2 и вращается в подшипниках. На нижней части вала смонтирован источник излучения 3 с маркой и

элементом питания 4. Опора с валом собрана в корпусе 5, в котором также помещен фотоприемник «Мультискан» 6, светочувствительная поверхность (резистивный слой) которого располагается на одном радиусе с маркой.

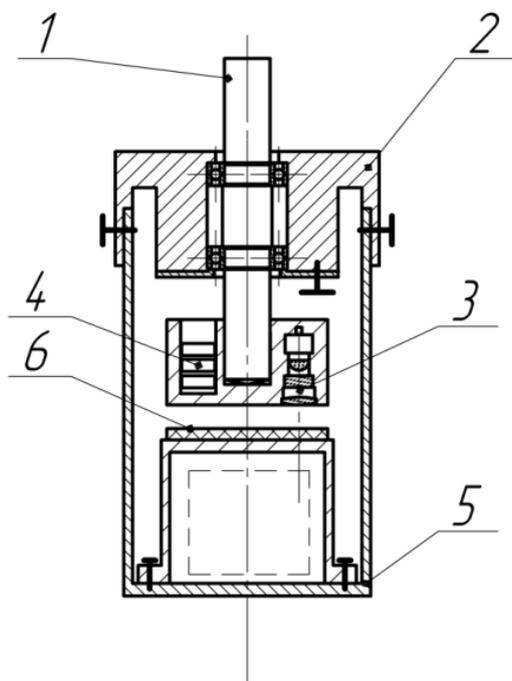


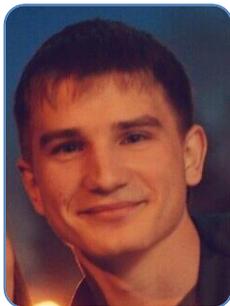
Рис. 2. Компонировочная схема преобразователя

При использовании такого варианта компоновки основное влияние на точность функционирования оказывает эксцентриситет установки «Мультискана», поэтому в конструкции энкодера необходимо предусмотреть юстировку положения фотоприемника либо задавать жесткие допуски на сопрягаемые детали.

На основании изложенного можно сделать следующий вывод. Если использовать круговой «Мультискан», то можно создать малогабаритный угловой энкодер с высокой точностью и хорошей разрешающей способностью, обладающий простой конструкцией, а влияние эксцентриситета устранять посредством жестких допусков на детали.

Литература

1. ЭНКОДЕРЫ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ksistems.ru/stati/enkodery.html>, своб.
2. Что такое абсолютный и инкрементальный энкодер, как работают энкодеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.devicesearch.ru/article/enkodery>, своб.
3. Энкодеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.remcomplekt.ru/articles/?p=55>, своб.
4. Подласкин Б., Гук Е. Позиционно-чувствительный фотодетектор – мультискан // Измерительная техника. – 2005. – № 8. – С. 31–34.
5. Берковская К.Ф., Кириллова Н.В., Подласкин Б.Г., Столовицкий В.М., Суханов В.Л. Многофункциональный приемник – Мультискан // Журнал технической физики. – 1983. – Т. 10. – № 10. – С. 2015–2024.
6. Гук Е., Подласкин Б. Координатно-чувствительный датчик мультискан. 2010. № RU 2399117 С1.
7. Берковская К.Ф., Кириллова Н.В., Подласкин Б.Г., Столовицкий В.М., Токранова Н.А. Многофункциональный приемник – мультискан // Научно-технические достижения. – 1992. – № 2. – С. 22.



Попов Виталий Борисович

Год рождения: 1994

Физико-технический факультет, кафедра нанофотоники и метаматериалов, группа № V4247

Направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение

e-mail: vetalik123-94@mail.ru



Шмыров Дмитрий Владимирович

Год рождения: 1994

Физико-технический факультет, кафедра нанофотоники и метаматериалов, группа № V4145

Направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение

e-mail: shmyrovdmity@gmail.com



Савва Валентин Александрович

Год рождения: 1994

Физико-технический факультет, кафедра нанофотоники и метаматериалов, группа № V4145

Направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение

e-mail: savvarabota@gmail.com



Лукашенко Станислав Юрьевич

Год рождения: 1991

Физико-технический факультет, кафедра нанофотоники и метаматериалов, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: lukashenko13@mail.ru

УДК 531.751.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТЕРЖНЕЙ
В СКАНИРУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОННОМ МИКРОСКОПЕ**

Попов В.Б., Шмыров Д.В., Савва В.А., Лукашенко С.Ю.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., ст.н.с. Голубок А.О.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615893 «Разработка современных микро- и наноструктурированных материалов для задач фотоники и методов их исследования».

Работа посвящена исследованию механических характеристик углеродных наностержней (нановискеров) резонансным методом путем визуализации траектории их колебаний с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Ключевые слова: наноосциллятор, углеродный вискер, масс-детектор.

Развитие нанотехнологий послужило толчком к исследованию различных физических свойств нитевидных нанообъектов, которые применяются в композитных материалах, наноэлектронике, наномеханике и наносенсорике. Например, нанобалки из различных

материалов используют в качестве механических осцилляторов, резонансная частота которых сдвигается в результате приложения к ним малых внешних сил или добавления малого количества материала. Исходя из этого, нанобалки могут рассматриваться в качестве детекторов массы для одиночных бактерий, вирусов или любых одиночных наночастиц сложной формы, массу которых нельзя определить другим способом. На этапе создания наномеханических осцилляторов (НМО) необходимо исследовать их механические характеристики.

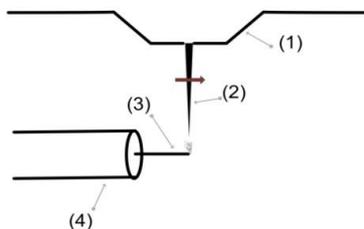


Рис. 1. Схема роста вискера: 1 – электронная пушка; 2 – электронный пучок; 3 – игла; 4 – пьезотрубка

НМО в виде углеродных наностержней были локализованы на вершинах вольфрамовых игл, изготовленных с помощью электрохимического травления в 5% растворе КОН. Углеродные наноструктуры создавались под действием фокусированного электронного пучка в присутствии газа-прекурсора (рис. 1).

При взаимодействии фокусированного электронного пучка с углеводородными молекулами газа-прекурсора углерод послойно осаждается на вершине W иглы [1], в результате чего на ней формируются аморфные углеродные наностержни длиной (2–4 мкм) и диаметром около 100 нм (рис. 2).

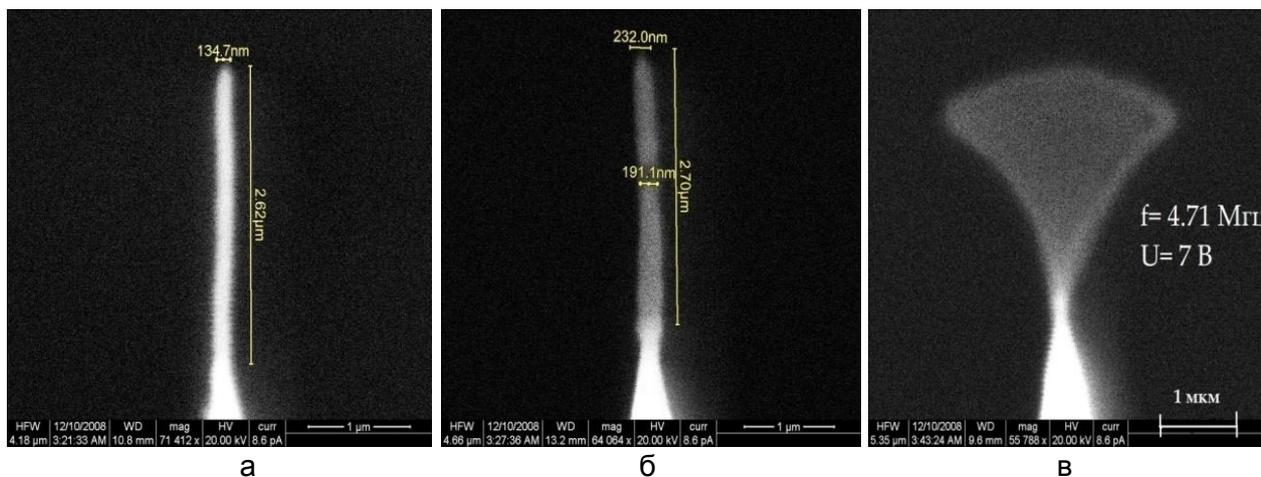


Рис. 2. Углеродный наностержень на вершине вольфрамовой иглы: вид спереди (а), вид сбоку (б), резонанс (в)

Возбуждение механических резонансов НМО осуществлялось при помощи трубчатого пьезоэлектрического преобразователя. Амплитудно-частотные характеристики НМО в вакууме измерялись путем визуализации траектории колебаний НМО с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Для контроля размера и формы создаваемые нановискеры поворачивались на 90° с помощью поворотного модуля, встроенного в рабочую камеру СЭМ.

Контроль формы нановискеров в двух проекциях необходим для создания осесимметричных НМО. Известно, что закрепленный с одного конца симметричный стержень характеризуется одиночным резонансным пиком, в то время как асимметрия в поперечном сечении НМО приводит к возникновению различных резонансных частот, зависящих от направления колебаний [2]. Наличие нескольких резонансных пиков усложняет анализ амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) НМО.

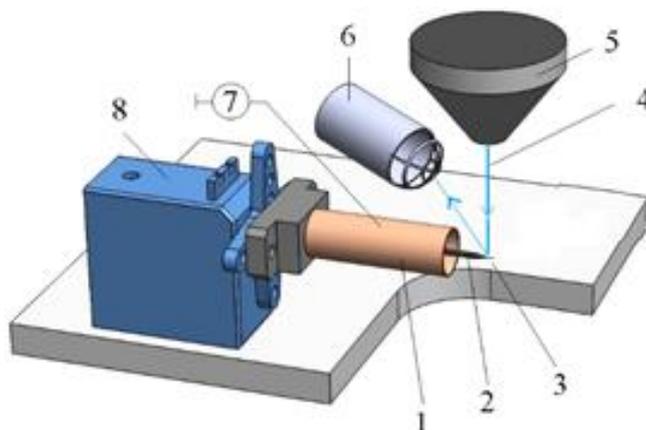


Рис. 3. Экспериментальная схема для создания и исследования наноосцилляторов:
1 – пьезотрубка; 2 – вольфрамовая игла; 3 – нановискер; 4 – электронный пучок;
5 – электронная линза; 6 – детектор вторичных электронов; 7 – ВЧ-генератор;
8 – поворотный модуль

Для автоматизации поиска резонансных частот на первом этапе записывалась видеопоследовательность наблюдений в электронном микроскопе, посредством перехвата изображения с монитора ПК в процессе плавного увеличения частоты напряжения на пьезоэлектрическом преобразователе в диапазоне 4–12 МГц. Видеопоследовательность может быть записана как при сканировании электронным пучком по прямоугольному растру, когда в кадре виден колеблющийся НМО целиком, так и при сканировании по одной линии, пересекающей НМО перпендикулярно его оси в заранее выбранной точке.

Анализ измеренной видеопоследовательности производился с помощью специального программного обеспечения (ПО).

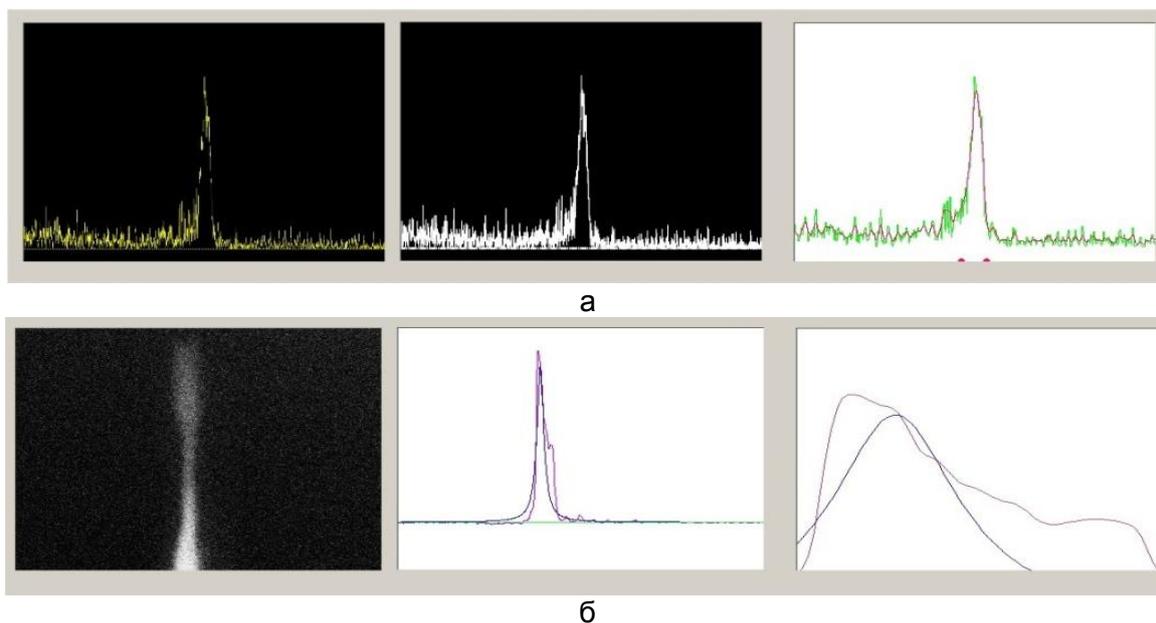


Рис. 4. Анализ видеопоследовательности в ПО: при сканировании по линии (а);
при сканировании полного кадра (кончика иглы и нановискера целиком) (б)

При увеличении амплитуды колебаний наблюдается зона размытия изображения НМО, имеющая форму веера, которая контрастно выделяется на темном фоне. Размытие изображения обусловлено тем, что в данном случае время сканирования много больше времени перемещения свободного конца вискера, поэтому за время формирования изображения в СЭМ вискер совершает многократные колебания, что позволяет визуализировать траекторию перемещения и измерить амплитуду колебаний НМО.

Было установлено, что при последовательном измерении АЧХ одного и того же НМО наблюдается изменение резонансной частоты, причем при сканировании по линии резонансная частота уменьшается, а при сканировании по растру – увеличивается. Это связано с тем, что при сканировании по линии происходит локальное увеличение массы в точке пересечения с электронным пучком вблизи свободного конца вискера. Уменьшение резонансной частоты в этом случае можно объяснить увеличением эффективной массы в соответствии с выражением

$$f = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

При сканировании по растру взаимодействие электронного пучка с вискером происходит на всей его длине, приводя к увеличению его ширины и, в конечном итоге, к увеличению жесткости, что объясняет увеличение резонансной частоты. Кроме того, при сканировании по растру увеличивается жесткость в точке закрепления НМО на вершине W иглы, что также должно приводить к увеличению резонансной частоты.

Следует отметить, что режим сканирования по линии существенно меньше влияет на изменение резонансной частоты в процессе измерения (рис. 5).

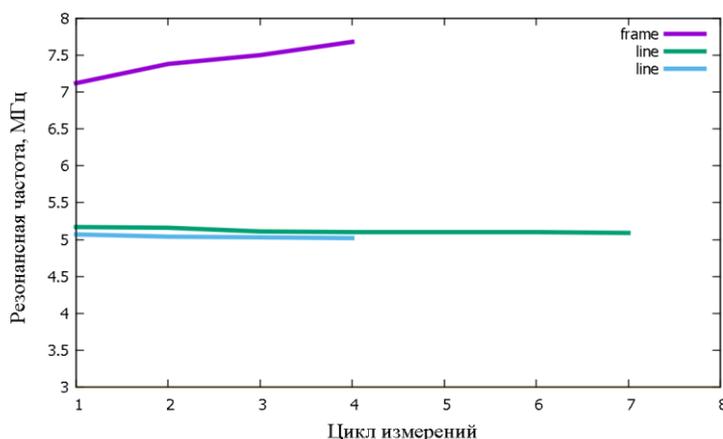


Рис. 5. Изменение резонансной частоты от количества циклов. Фиолетовая кривая – сканирование по всему кадру. Зеленая и голубая – сканирование по линии

За один цикл сканирования по линии осаждается около $1,25 \cdot 10^{-16}$ грамм углерода, что соответствует наночастице углерода диаметром около 50 нм.

Таким образом, автоматизированная обработка видеопоследовательности изображений траектории колебаний в СЭМ является эффективным способом измерения АЧХ НМО. При использовании такого способа измерения АЧХ необходимо учитывать сдвиг резонансной частоты, возникающей в результате взаимодействия электронного пучка с молекулами газа-прекурсора, причем наименьшую погрешность вносит режим измерения при сканировании по линии [3].

Выражаем благодарность Михаилу Леопольдовичу Фельштыну и Ольге Марковне Горбенко за предоставление программы для обработки АЧХ наноосцилляторов.

Литература

1. Jensen K., Kim K., Zettl A. An atomic-resolution nanomechanical mass sensor // Nature nanotechnology. – 2008. – V. 3. – P. 533–537.
2. Gil-Santos E., Ramos D., Martinez J. Nanomechanical mass sensing and stiffness spectrometry based on two-dimensional vibrations of resonant nanowires // Nature nanotechnology. – 2010. – V. 5. – P. 641–645.
3. Zhou J., Shi Lao C., Gao P. Nanowire as pico-gram balance at workplace atmosphere // Solid State Communications. – 2006. – V. 139. – P. 222–226.

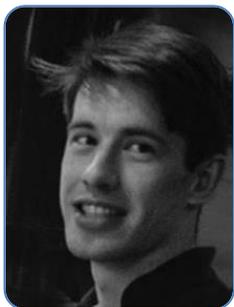


Прокопенко Виктор Трофимович

Год рождения: 1936

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, д.т.н., профессор

e-mail: prokopenko@mail.ifmo.ru



Матвеев Николай Вадимович

Год рождения: 1987

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра Высшая школа светового дизайна, к.т.н., доцент

e-mail: matveev_nv@mail.ru



Сапунова Наталия Петровна

Год рождения: 1981

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра Высшая школа светового дизайна, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: modernns@yandex.ru



Елкина Лилия Сергеевна

Год рождения: 1996

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В3430

Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: lili395@mail.ru



Егорова Елизавета Константиновна

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В3430

Направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии

e-mail: lizavetka.2014@mail.ru

УДК 535.6, 004.421

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Прокопенко В.Т., Матвеев Н.В., Сапунова Н.П., Елкина Л.С., Егорова Е.К.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Прокопенко В.Т.

В работе исследовались методы определения степени самоподобия абстрактных образов лазерной графики с точки зрения оценки влияния их сложности и эстетической привлекательности на

психоэмоциональное состояние человека. Вычисления степени самоподобия в работе с абстрактными образами лазерной графики требуют оригинального решения задачи выделения контуров данных изображений, необходимость которого продиктована сложной природой распределения интенсивности. Алгоритм решения данной задачи предложен в данной работе.

Ключевые слова: самоподобие, гистограмма ориентированных градиентов, фрактальная размерность, выделение контура изображения, машинное зрение, восприятие.

Темп жизни современного человека и постоянный стресс оставляют свой отпечаток на психофизиологическом состоянии человека. Для его коррекции использовались различные методы, например, влияние с помощью определенных зрительных образов, цветотерапии и др. Исследование комбинированного воздействия визуальной и аудиальной составляющей было проведено на базе Университета ИТМО при сотрудничестве с театром Lux Aeterna, специализирующимся на создании лазерных абстрактных светомузыкальных спектаклей [1]. Одним из следующих этапов исследования стало изучение психофизиологического влияния на человека формы наблюдаемых абстрактных образов лазерной графики (АОЛГ) анализируя самоподобие структуры наблюдаемых объектов, т.е. определяя показатель самоподобия в АОЛГ. В качестве методов были выбраны фрактальная размерность и степень самоподобия, рассчитываемая путем построения гистограмм ориентированных градиентов¹ (ГОГ).

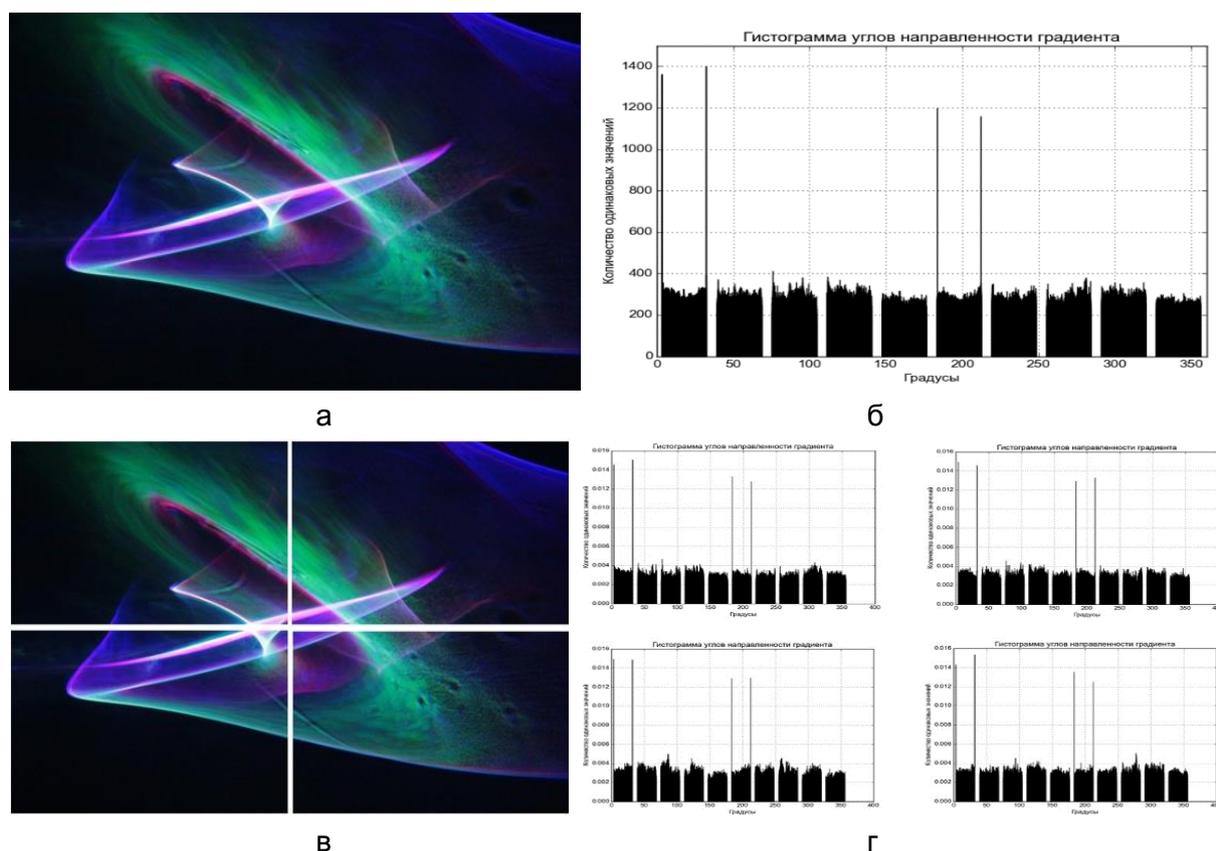


Рис. 1. Построение ГОГ на примере одного из АОЛГ: исходное изображение (а); гистограмма углов направленности градиента (б) и для каждой части АОЛГ: сегментированное исходное изображение (в); ГОГ каждой части исходного изображения (г)

ГОГ как оценка самоподобия введена относительно недавно и заключается в делении изображения на равные части несколько раз, построения гистограмм

¹ Гистограмма ориентированных градиентов – дескриптор особых точек, используется в компьютерном зрении и обработке изображений с целью распознавания объектов. Данная техника основана на подсчете количества направлений градиента в локальных областях изображения.

ориентированных градиентов для каждой из частей и сравнения их с гистограммой исходного изображения. Для сравнения гистограмм рассчитывается значение ядра пересечения гистограмм d по формуле (1) и степени самоподобия S по формуле (2) как среднее значение ядер пересечения гистограмм. При условии, что гистограммы нормированы к единице, чем ближе значение S к единице, тем более самоподобно изображение [2].

$$d(H_1, H_2) = \sum_t \min(H_1(t), H_2(t)), \quad (1)$$

$$S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_i. \quad (2)$$

Данный метод был применен к АОЛГ после его фоторегистрации и оцифровки (рис. 1).

Фрактальная размерность (ФР) позволяет количественно оценить сложность структуры формы объекта, которая определяет восприятие объекта человеком: чем структура сложнее, тем интереснее наблюдать, что при превышении сложностью условного порога – изображение становится неприятным (рис. 2.)

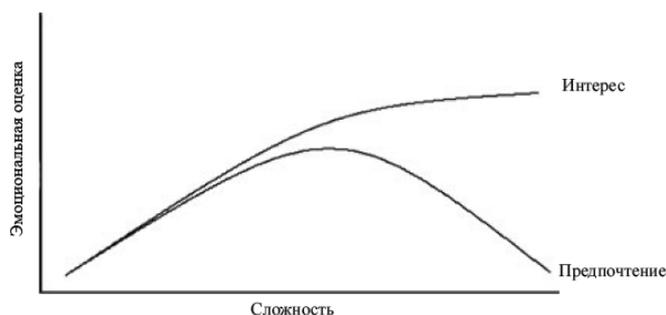


Рис. 2. График зависимости эмоциональной оценки (интереса и предпочтения) от сложности изображения [3]

Формула для расчета фрактальной размерности (3) отражает суть алгоритма ее расчета. Изображение разбивается на крупные структурные элементы, и для покрытия всего объекта будет хватать небольшого их числа. Когда же размер элементов уменьшается, то увеличивается их число. Образуется линейная зависимость количества элементов от их числа, а коэффициент данной прямой будет являться значением фрактальной размерности.

$$D = - \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(N_\epsilon)}{\ln(\epsilon)}, \quad (3)$$

где N_ϵ – минимальное число областей размером ϵ , необходимых для покрытия множества.

Для вычисления ФР в АОЛГ был использован алгоритм box-counting [4] в реализации для MATLAB. В ходе работы был выявлен существенный недостаток – бинарное изображение не соответствует оригиналу из-за потери многочисленных контуров АОЛГ в процессе их распознавания, связанных с распределения интенсивности, что приводит к недостоверным вычислениям.

Авторами был разработан оригинальный алгоритм (рис. 3), способный корректно выделять самые слабовыраженные контуры и получать бинарную маску исходного изображения (рис. 4). Алгоритм состоял из нескольких этапов:

1. предварительная обработка изображения – перевод в градации серого (для универсальной работы с цветными фотографиями); увеличение контраста (для лучшей идентификации границ объекта);
2. использование оператора выделения границ – Канни (Canny), как наиболее достоверно отображающий картину исходного изображения АОЛГ. Из-за неоднозначности выбора порогового значения при бинаризации необходимо обрабатывать отдельно каждый сегмент, используя автоматически подбираемое пороговое значение;

3. очистка каждого сегмента от ложных контуров – шума;
4. восстановление первоначального изображения из обработанных сегментов.

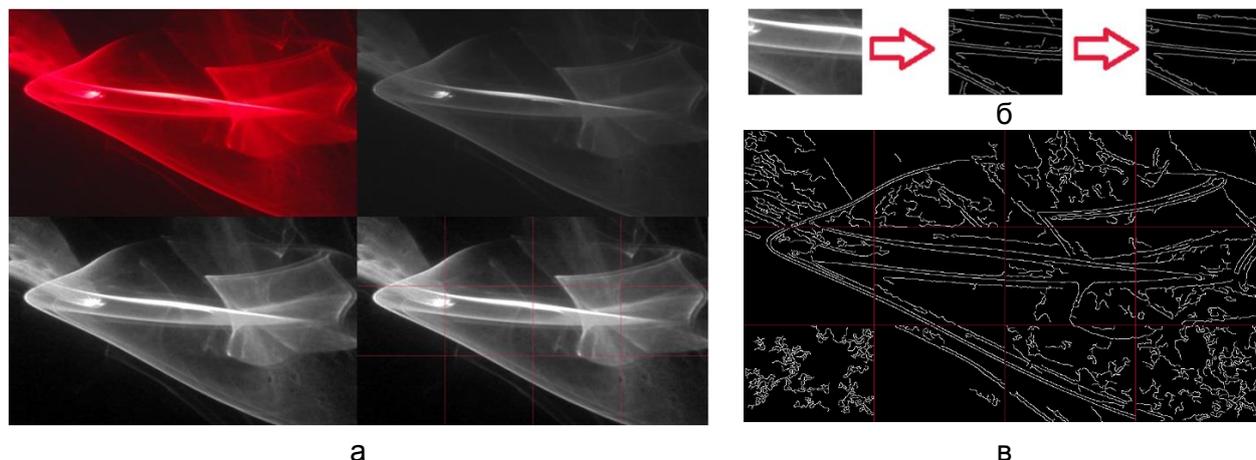


Рис. 3. Этапы выполнения обработки изображения с использованием предложенного алгоритма выделения контуров и получения бинарной маски изображения АОЛГ: исходное изображение и первый этап (а); второй и третий этапы (б); четвертый этап (в)

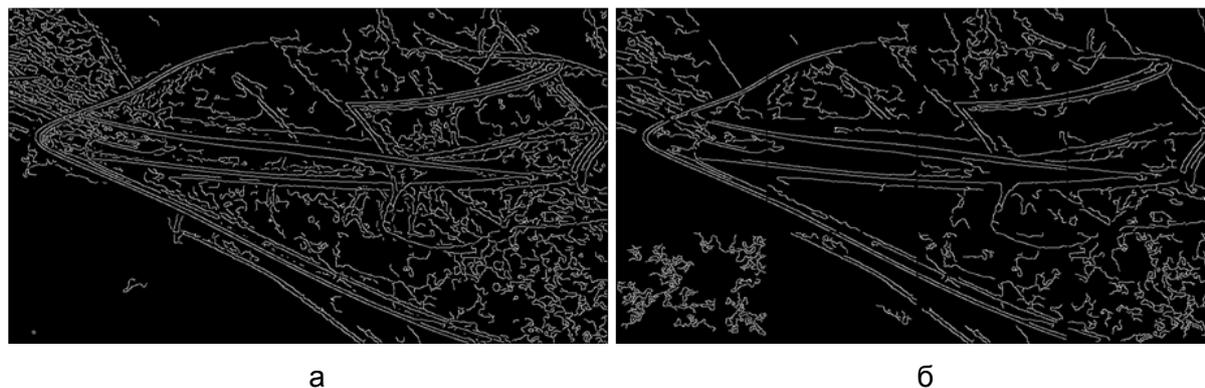


Рис. 4. Бинарная маска исходного изображения АОЛГ: после обработки с использованием стандартного оператора Канни (а); с использованием предложенного авторами алгоритма (б)

В ходе исследования были проанализированы алгоритмы оценки самоподобия объектов по их фотографиям, выявлены недостатки рассмотренных методов в работе с АОЛГ и предложен оригинальный алгоритм их обработки для более эффективного выделения контуров подобных изображений.

Литература

1. Matveev N.V., Prokopenko V.T., Sapunova N.P., Fridman D.A. Research into the influence of light-music performances on psychophysiological states // *Light & Engineering*. – 2016. – V. 24. – № 2. – P. 22–24.
2. Amirshahi S.Ali, Koch M., Denzler J., Redies Ch. PHOG analysis of self-similarity in aesthetic images. – Chair for Computer Vision, Friedrich Schiller University, D-07740, Jena, Germany, 2016. – 10 p.
3. Forsythe A., Nadal M., Sheehy N., Cela-Conde C.J., Sawey M. Predicting beauty: Fractal dimension and visual complexity in art. – *British Journal of Psychology*, 2011. – 102 p.
4. Moisy F. Computing a fractal dimension with Matlab: 1D, 2D and 3D Box-counting, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13063-boxcount/content/boxcount/html/demo.html>, своб.



Репин Владислав Андреевич

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В5408

Направление подготовки: 12.05.01 – Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения

e-mail: vladrepin777@yandex.ru

УДК 53.087

РАЗРАБОТКА МАКЕТА МНОГОКАНАЛЬНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ФАСЕТОЧНОГО ТИПА

Репин В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чертов А.Н.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

В работе представлено изложение промежуточных результатов процесса разработки производительного макета многоканальной оптико-электронной системы фасеточного типа, конструктивно имитирующей зрительный аппарат, характерный для насекомых. Подобные системы могут найти применение в задачах обнаружения объектов в пространстве и контроля их перемещений в широком угловом поле.

Ключевые слова: фасеточное зрение, приемники оптического излучения, угловое поле.

Для решения ряда практических задач, связанных с необходимостью получения информации об объектах в широком поле обзора могут быть использованы так называемые системы фасеточного типа, или системы с дискретным угловым полем. Конструктивно данные устройства напоминают фасеточный зрительный аппарат насекомых [1].

Многоканальные системы с дискретным угловым полем могут представлять собой в общем случае совокупность элементарных фотоприемных ячеек (у насекомых они носят название омматидии), состоящих из фотоприемника в сопряжении фокусирующим компонентом (линзой). Данные фотоприемные ячейки могут располагаться на непланарной поверхности, например, на сферической или цилиндрической.

Такие устройства обладают некоторыми преимуществами, вытекающими из их конструктивных особенностей:

- широкое угловое поле;
- стереоскопичность, так как информация поступает с множества каналов, расположенных на разных позициях относительно объекта;
- возможность реализации конструкции с перекрытием угловых полей смежных каналов, что дает энергетический и информационный выигрыш и исключает возможность пропуска полезного сигнала;
- потенциально высокая чувствительность к перемещениям, так как при малом размере фотоприемников и высокой плотности в их расположении при малом перемещении объекта восприятие переходит к соседним элементам массива фотоприемных датчиков;
- потенциально малые габариты системы, так как в ее составе не предполагается использование сложных оптических компонентов.

Среди недостатков оптико-электронных приборов с дискретным угловым полем можно выделить зависимость пространственного разрешения от плотности в расположении фотоприемных каналов, а также сложность согласования последних.

Описываемые устройства могут найти применение в самых разнообразных технических

задачах, где требуется обзор в большом угле. Они могут использоваться в системах фотограмметрии и аэрофотосъемки, в транспортной сфере в качестве органов ориентации автомобилей, в качестве систем наблюдения беспилотных летательных аппаратов, в эндоскопии для получения исчерпывающей информации о состоянии различных полостей, в качестве координаторов цели.

Таким образом, системы с составным угловым полем фасеточного типа имеют свои преимущества и недостатки и представляют интерес для разработчиков. Они исследованы мало, а существующие аналоги ограничены отдельными экспериментальными образцами (рис. 1).

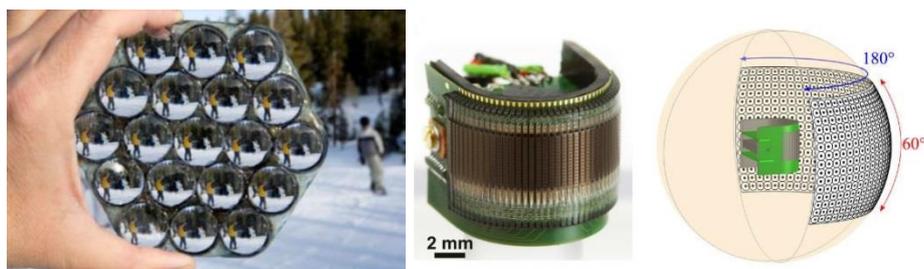


Рис. 1. Примеры устройств фасеточного зрения [2, 3]

Целью работы являлась реализация опытного макета производительной многоканальной оптико-электронной системы фасеточного типа на фотодиодах для измерения координат точечных излучающих объектов, а также реализация алгоритма работы этой системы. Структурная схема разрабатываемого макета представлена на рис. 2.

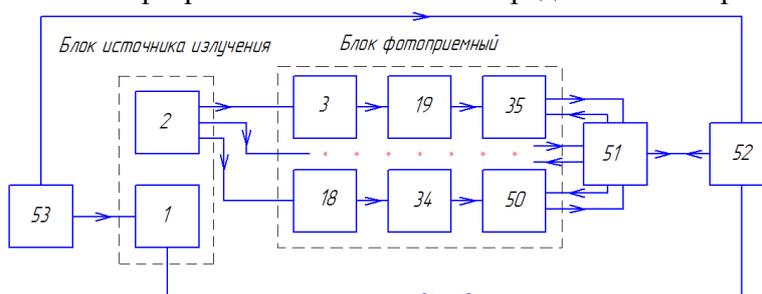


Рис. 2. Структурная схема разрабатываемого макета: 1 – блок питания; 2 – излучающий диод; 3–18 – пластиковые линзы; 19–34 – фотодиоды; 35–50 – преобразователи фототока в напряжение; 51 – микроконтроллер; 52 – персональный компьютер; 53 – блок питания

В качестве приемников оптического излучения (ПОИ) были выбраны фотодиоды SFH203FA производства компании Osram с максимальной чувствительностью на длине волны $\lambda_{\max} = 900$ нм и работающие в диапазоне $\lambda = 750$ –1100 нм (рис. 3).

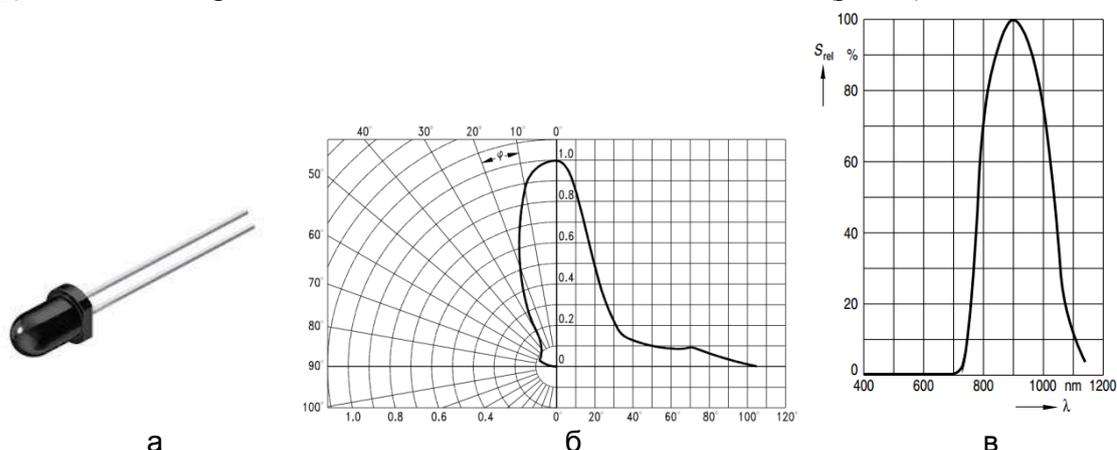


Рис. 3. Фотодиод SFH203FA: внешний вид (а); угловая характеристика (б); спектральное распределение чувствительности (в)

В качестве источника излучения был выбран излучающий диод TSAL5100 с максимумом излучения на длине волны $\lambda_{\max} = 940$ нм (рис. 4).

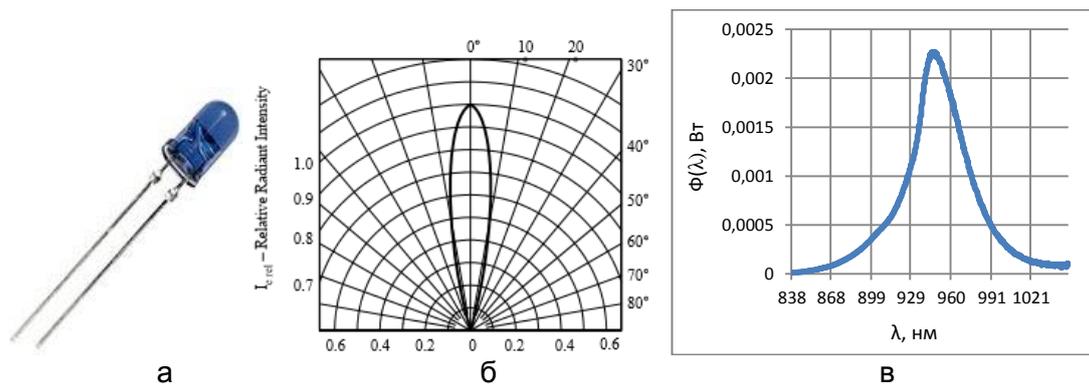


Рис. 4. Излучающий диод TSAL 5100: внешний вид; угловая характеристика (б); спектральное распределение чувствительности (в)

Был проведен энергетический расчет разрабатываемого макета, при этом было задано расстояние от источника до приемника 1 м. В результате расчета были получены следующие значения величин: поток излучения, падающий на ПОИ $\Phi \approx 0,26$ мкВ, интегральная чувствительность ПОИ по рабочему источнику оптического излучения $S_{el, \text{инт}}^{\text{II}} \approx 0,68$ А/Вт, ток на выходе фотоприемника $I \approx 0,18$ А, обнаружительная способность ПОИ по рабочему источнику оптического излучения $D_e^{*(\text{II})} = 1,6 \cdot 10^{13}$ см \cdot Гц $^{\frac{1}{2}}$ /Вт.

Для подключения каждого фотодиода была выбрана схема преобразователя малых токов в напряжения на операционном усилителе, которая позволяет получить линейное преобразование фототока в вольтовый сигнал. На выходе данной схемы стоит пассивный RC-фильтр нижних частот с постоянной времени $\tau = 0,01$ с. Таким образом, учитывая влияние шумов электрической цепи частот 10 Гц, получим значение отношения «сигнал/шум» порядка 98 дБ, т.е. довольно высокое, что позволяет говорить о возможностях работы на значительно больших расстояниях, чем 1 м.

Также на данный момент разработана конструкция сферического каркаса для крепления шестнадцати фотоприемных каналов, представленных фотодиодами (рис. 5).

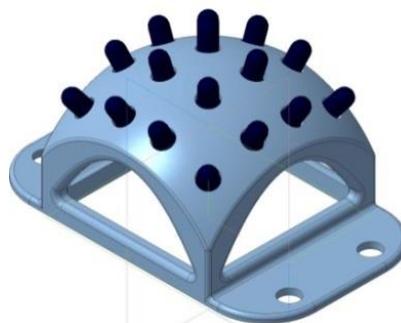


Рис. 5. Конструкция корпуса макета разрабатываемой системы

На данный момент идет процесс монтажа схем включения фотодиодов на печатных платах. В дальнейшем планируется сборка макета и программная реализация алгоритма измерения координат источника излучения.

Литература

1. Соломатин В.А. Дискретизация пространства в оптико-электронных системах с мозаичным угловым полем // Изв. вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53. – № 5. – С. 57–61.

2. Adobe Light Field Camera Prototypes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lightfield-forum.com/light-field-camera-prototypes/adobe-lightfield-camera-prototypes/>, своб.
3. Инженеры создали искусственные фасеточные глаза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=1082021&cid=2161>, своб.

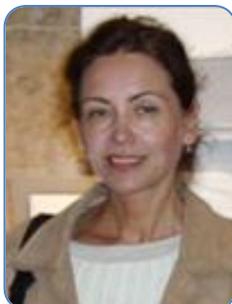
**Рожков Михаил Александрович**

Год рождения: 1991

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: MARozhkov@corp.ifmo.ru

**Колесникова Анна Львовна**

Год рождения: 1956

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, д.ф.-м.н., профессор

e-mail: anna.kolesnikova.physics@gmail.com

**Орлова Татьяна Сергеевна**

Год рождения: 1955

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, д.ф.-м.н., профессор

e-mail: 181397@niuitmo.ru

**Жигилей Леонид Витальевич**

Год рождения: 1964

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, к.ф.-м.н., профессор

e-mail: lz2n@virginia.edu

**Хуссаинова Ирина**

Год рождения: 1961

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, д.т.н., профессор

e-mail: Irina.Hussainova@ttu.ee



Романов Алексей Евгеньевич

Год рождения: 1955

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, д.ф.-м.н., доцент

e-mail: alexey.romanov@niuitmo.ru

УДК 548.4

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПСЕВДОГРАФЕНОВЫХ КРИСТАЛЛОВ

Рожков М.А., Колесникова А.Л., Орлова Т.С., Жигилей Л.В., Хусаинова И., Романов А.Е.

Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент Романов А.Е.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 17601 «Дефекты в 2D- и 3D-кристаллических моно- и гетероструктурах элементов оптоэлектронных устройств».

В работе представлен алгоритм моделирования псевдографеновых кристаллов методом молекулярной динамики.

Ключевые слова: графен, линейные дефекты, границы зерен, МД-моделирование, дисклинация, псевдографеновые материалы, LAMMPS.

Введение. Графен – это двумерный кристалл с гексагональной решеткой, состоящий из атомов углерода и обладающий уникальными механическими и электрическими свойствами [1].

В настоящее время графен является очень востребованным материалом для исследований и различных практических приложений благодаря своим уникальным свойствам: высокой прочности, необычной электропроводности и высокой теплопроводности [2].

К одному из способов управления характеристиками графена относится модифицирование его кристаллической решетки различными дефектами, и в частности, линейными дефектами, например, границами зерен [3–7], состоящими из дисклинированных углеродных колец – квадратов, пентагонов, гептагонов и октагонов [8]. В свою очередь, линейные дефекты могут являться структурными блоками новых псевдографеновых кристаллических решеток, таких как фаграфен [9].

В настоящей работе предложен алгоритм моделирования новых псевдографенов с помощью линейных дефектов методом молекулярной динамики (МД).

Описание модели. Идея моделирования псевдографеновых кристаллических решеток состоит в следующем: с помощью структурных элементов, содержащих дисклинированные углеродные кольца – квадраты, пентагоны, гептагоны и октагоны [8], собираем цепочку. Дисклинированные кольца – это ядра клиновых дисклинаций в решетке графена. Суммарный заряд дисклинаций в структурном элементе равен нулю. Получившаяся цепочка в решетке графена является линейным дефектом, в частности, межзеренной границей [8]. В зависимости от типа колец в структурном элементе и их взаимного расположения цепочки носят название «5-7», «5-8-5A1», «5-8-5A2», «5-8-5B», «5-8-5C», «5-8-5D», «4-8», «7-4-7A1». Из отдельных цепочек составляем периодическую двумерную структуру так, как это показано на рисунке, а.

В работе моделирование проводилось в программном пакете LAMMPS с использованием межатомного потенциала AIREBO [10], который является модифицированной версией потенциала Бреннера второго поколения (REBO). Потенциал AIREBO описывается следующей формулой [10]:

$$E = \frac{1}{2} \sum_i \sum_{j \neq i} \left[E_{ij}^{REBO} + E_{ij}^{LJ} + \sum_{k \neq i,j} \sum_{l \neq i,j,k} E_{ijkl}^{TORSION} \right]. \quad (1)$$

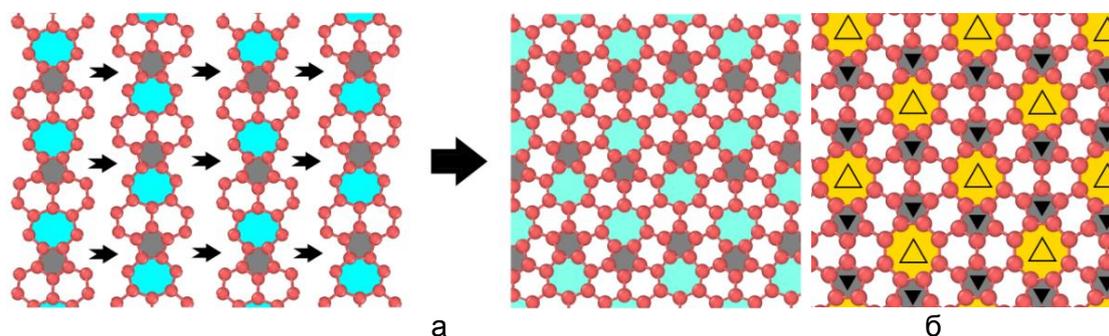


Рисунок. Псевдографеновые кристаллы: сборка фаграфена [9] из межзеренных границ типа «5-7» (а); кристалл «5-8-5 A1» (б). Приведена дислиационная схема кристалла

Энергии псевдографеновых материалов. При вычислении энергии связи атомов периодических структур в МД-моделировании можно идти двумя путями, а именно,

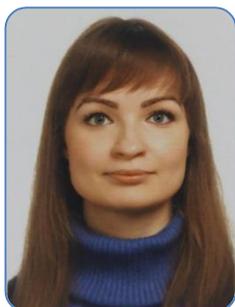
- применить периодические граничные условия;
- исключить энергетический вклад краев [8].

Энергии псевдографеновых кристаллов определялись двумя способами. Расхождение значений энергий при этом не превышало 0,01 эВ/атом. Для кристаллов, изображенных на рисунке, энергии составили величины $-7,14$ эВ/атом и $-7,09$ эВ/атом для фаграфена и кристалла «5-8-5 A1» соответственно. Энергии этих псевдографенов не на много выше энергии графена ($-7,43$ эВ/атом).

Заключение. Представленный в работе алгоритм моделирования псевдографеновых кристаллов с помощью цепочек, состоящих из дисклинированных углеродных колец, является эффективным и возможным для конструирования двумерных кристаллов иной атомной природы.

Литература

1. Warner J.H., Schäffel F., Bachmatiuk A., Rummeli M.H. Graphene: Fundamentals and emergent applications. – Elsevier, 2013. – 470 p.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.graphene.manchester.ac.uk/explore/the-applications/>, своб.
3. Lee G.H. et al. High-strength chemical-vapor-deposited graphene and grain boundaries // Science. – 2013. – V. 340. – № 6136. – P. 1073–1076.
4. Rasool H.I., Ophus C., Klug W.S., Zettl A. & Gimzewski J.K. Measurement of the intrinsic strength of crystalline and polycrystalline graphene // Nature communications. – 2013. – V. 4. – P. 2811.
5. Serov A.Y., Ong Z.Y., Pop E. Effect of grain boundaries on thermal transport in graphene // Applied Physics Letters. – 2013. – V. 102. – № 3. – P. 033104.
6. Grosse K.L. et al. Direct observation of resistive heating at graphene wrinkles and grain boundaries // Applied Physics Letters. – 2014. – V. 105. – № 14. – P. 143109.
7. Yasaei P. et al. Bimodal phonon scattering in graphene grain boundaries // Nano letters. – 2015. – V. 15. – № 7. – P. 4532–4540.
8. Rozhkov M.A. et al. Disclinated rings as structural units in MD simulation of intercrystallite boundaries in graphene // Materials Physics and Mechanics. – 2016. – V. 29. – P. 101–105.
9. Wang Z. et al. Phagraphene: a low-energy graphene allotrope composed of 5–6–7 carbon rings with distorted Dirac cones // Nano letters. – 2015. – V. 15. – № 9. – P. 6182–6186.
10. Stuart S.J., Tutein A.B., Harrison J.A. A reactive potential for hydrocarbons with intermolecular interactions // The Journal of chemical physics. – 2000. – V. 112. – № 14. – P. 6472–6486.



Рожкова Наталья Александровна

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра современных функциональных материалов, аспирант

Направление подготовки: 06.06.01 – Биологические науки

e-mail: rozhkova@corp.ifmo.ru



Соснин Илья Михайлович

Год рождения: 1987

Тольяттинский государственный университет, мл.н.с.

e-mail: sim.nanosci@gmail.com



Ильичева Екатерина Юрьевна

Год рождения: 1988

«Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины»
СЗО РАМН, к.б.н., н.с.

e-mail: ilichevaey@corp.ifmo.ru

УДК 577.1

**АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НОВОХ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА И ИХ
ВМЕШАТЕЛЬСТВО В МЕТАБОЛИЗМ МЕДИ МЫШЕЙ**

Рожкова Н.А. (Университет ИТМО), **Соснин И.М.** (Тольяттинский государственный университет), **Ильичева Е.Ю.** («Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины» СЗО РАМН)

Научный руководитель – к.б.н., н.с. Ильичева Е.Ю. («Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины» СЗО РАМН)

Работа выполнена в рамках темы НИР № 716963 «Разработка перспективных функциональных материалов и исследование их характеристик для применения в фотонике и микроэлектронике».

В работе рассмотрены антибактериальные свойства наночастиц серебра (НЧС) с линейным размером 35 нм и их вмешательство в метаболизм млекопитающих. НЧС были изготовлены методом химического восстановления Ag^{1+} до Ag^0 в водном растворе в присутствии сурфактантных мицелл. Антибактериальные свойства НЧС были оценены по способности клеток *E. coli* K802 образовывать колонии после обработки НЧС. Способность НЧС вмешиваться в метаболизм меди млекопитающих была проверена на мышах линии C57Bl.

Ключевые слова: наночастицы серебра, антибактериальные свойства наночастиц серебра, кишечная палочка *E. coli* K802, метаболизм меди млекопитающих, оксидная активность.

Наночастицы серебра – перспективные функциональные материалы, которые нашли широкое применение в наномедицине в качестве антибактериальных, противовоспалительных препаратов, их используют в адресной доставке лекарственных средств, изготовлении медицинских материалов [1–3].

Ионы серебра по строению внешней электронной оболочки сходны с ионами меди. Медь является незаменимым микроэлементом для всех аэробных организмов. Транспорт меди осуществляют белки метаболической системы, которые переносят медь в состояние окисления (I). Серебро в состоянии Ag(I) способно включаться в транспортную систему меди и переноситься белками этой системы, вытесняя медь из купроэнзимов при попадании серебра в организм.

Вероятность интервенции серебра в организм резко повышается при увеличении его содержания в окружающей среде, что неизбежно в условиях прогрессивного увеличения использования материалов из серебра в различных сферах деятельности человека. Однако данные о влиянии НЧС на высших эукариотов, в том числе человека, отсутствуют. В то же время они необходимы для обоснованного применения наночастиц серебра в фармакологии, медицине и других сферах.

Цель работы заключалась в оценке антибактериальной активности новых, синтезированных в Университете ИТМО, НЧС и исследовании их влияния на метаболизм меди млекопитающих.

Синтез и физико-химические свойства НЧС. НЧС были изготовлены методом химического восстановления ионов Ag^{1+} до Ag^0 в водном растворе в присутствии сурфактантных мицелл. Произведенные НЧС имели сферическую форму со средним линейным размером 35 нм. По данным рентгеновской дифрактометрии НЧС состояли из кристаллического серебра (рис. 1).

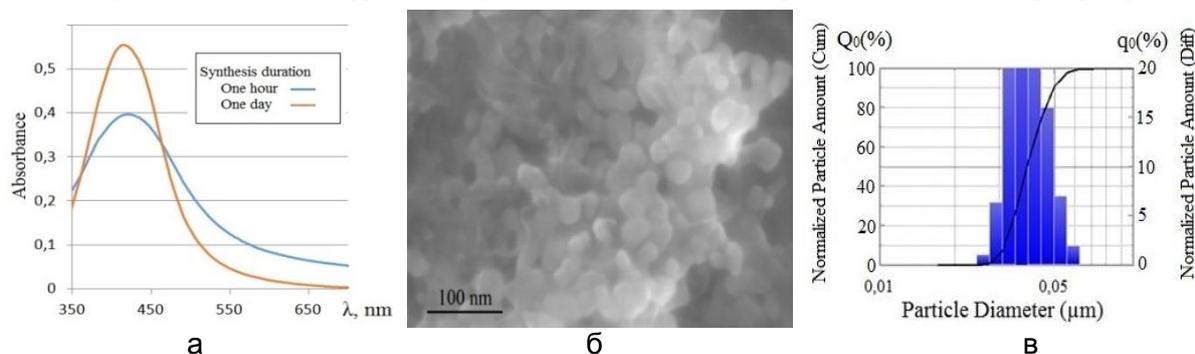


Рис. 1. Характеристика НЧС: спектр поглощения UV/Vis (а); сканирующая электронная микроскопия (б); распределение линейного размера НЧС (в)

Изучение антибактериальных свойств НЧС. Антибактериальные свойства и биодоступность синтезированных НЧС были оценены по влиянию на колониеобразующую активность клеток кишечной палочки.

Бактерии инкубировали с 10 или 100 мкм НЧС. Через различные интервалы времени НЧС отмывали и клетки рассеивали на агарозный газон в последовательных 10-кратных разведениях. Через сутки определяли количество и размер выросших колоний. Результаты выражали в \log КОЕ/мл. Новые НЧС при исследовании показали время- и дозозависимую антибактериальную активность (рис. 2), которая была замедлена по сравнению с нитратом серебра.

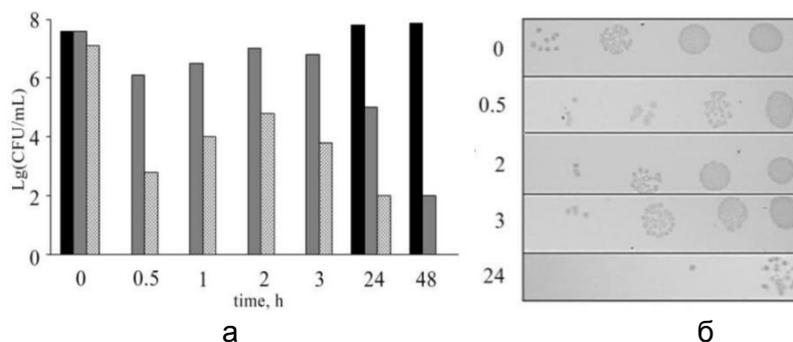


Рис. 2. Действие НЧС на колониеобразующую активность *E. coli*: колониеобразующая активность *E. coli* после обработки (черный – 10 мкм, серый – 100 мкм НЧС, горизонтальная штриховка – 3,5 мкм $AgNO_3$). По оси ординат: концентрация клеток, способных формировать колонии (а); рост *E. coli* K802 на агарозном газоне после 0,5; 2; 3 и 24 ч обработки НЧС (б)

Обработка клеток 10 мкм НЧС в течение 24 ч уменьшала жизнеспособность клеток ниже предела обнаружения [4]. После 48 ч инкубации 35-нм НЧС, обнаруживали достоверно меньшую антибактериальную активность, по сравнению с 20-нм частицами [5].

Данные в совокупности показывают, что новые НЧС обладают антибактериальной активностью и их колониеобразующая активность находится в зависимости размера НЧС – чем меньше диаметр НЧС, тем выше их антибактериальная активность.

Изучение способности серебра интегрироваться в метаболизм меди млекопитающих. Синтезированные НЧС были тестированы на способность вмешиваться в метаболизм меди млекопитающих. Эксперименты проводили на мышах линии C57Bl. Ежедневно мышам внутрибрюшинно вводили НЧС по 1 инъекции (400 мкг/кг массы тела) в течение 7 дней. Через 6 ч после последней инъекции мышей разделяли на две равные группы. У мышей группы 1 были собраны образцы крови, желчь, моча и органы. У мышей группы 2 такие же биологические образцы забирали через 9 дней. В качестве контроля использовали intactных мышей того же возраста.

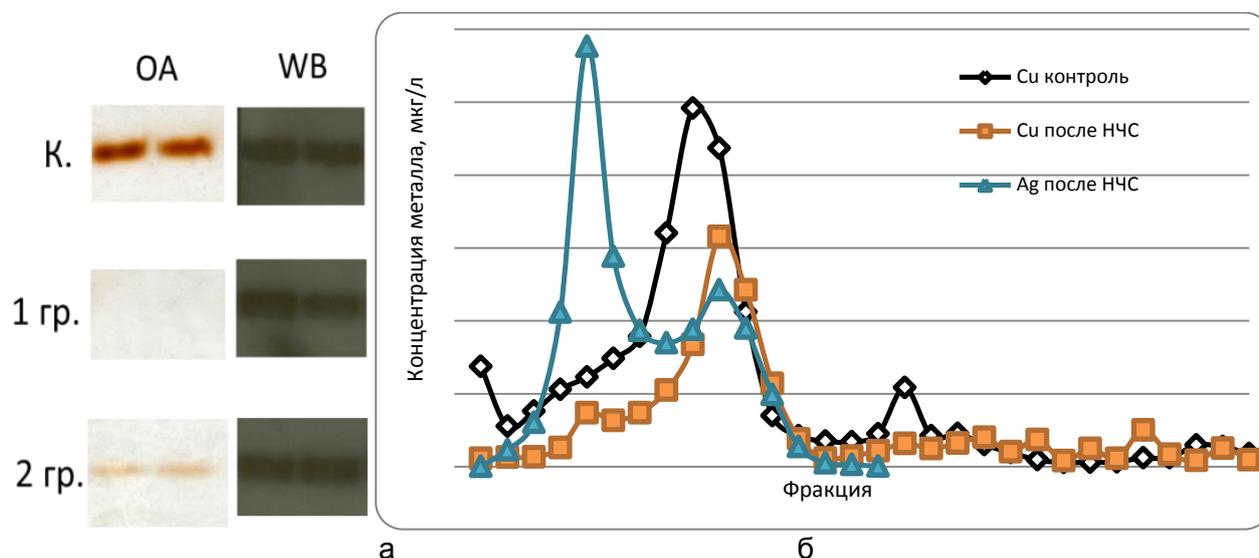


Рис. 3. Оксидазная активность (OA) и иммуноблоттинг (WB) образцов сыворотки крови мышей групп 1 и 2 соответственно (а); хроматографический анализ белков сыворотки крови контрольных мышей и мышей группы 1 (б)

Во всех образцах методом атомно-абсорбционной спектрометрии определяли концентрацию Cu и Ag. В сыворотке крови измеряли оксидазную активность церулоплазмينا (ЦП, мультимедная голубая оксидаза, внеклеточный транспортер меди) в геле с использованием хромогенного субстрата орто-дианизидина и относительное содержание белка ЦП методом иммуноблоттинга.

Включение ионов серебра в метаболизм меди проявляется в снижении активности ЦП, поэтому основным критерием оценки интеграции серебра НЧС служил уровень оксидазной активности в сыворотке крови мышей опытных групп. У мышей группы 1, оксидазная активность падала почти до нуля, при этом уровень иммунореактивного ЦП не менялся (рис. 3). Концентрация меди снижалась на 40% (358 мкг/л против 600 мкг/л). Через 9 дней после отмены НЧС оксидазная активность сыворотки крови увеличилась на 60%. Концентрация меди увеличилась на 13%. В сыворотке крови Ag связан только с ЦП, содержание меди в котором снижено (рис. 3, б).

Заключение. Результаты исследования показывают, что серебро НЧС не влияет на экспрессию гена ЦП, но конкурентно с медью, встраивается в активные центры молекулы ЦП. Комбинация высокой антибактериальной активности и низкой токсичности в отношении млекопитающих позволяет считать созданные НЧС перспективными материалами для биомедицинских целей.

Литература

1. Franci G. et al. Silver nanoparticles as potential antibacterial agents // *Molecules*. – 2015. – V. 20. – № 5. – P. 8856–8874.
2. Couvreur P., Vauthier C. Nanotechnology: intelligent design to treat complex disease // *Pharmaceutical research*. – 2006. – V. 23. – № 7. – P. 1417–1450.
3. Sankova T.P. et al. On the biological activity of silver nanoparticles // *Materials Physics and Mechanics*. – 2015. – V. 24. – P. 289–296.
4. Orlov I.A. et al. New silver nanoparticles induce apoptosis-like process in *E. coli* and interfere with mammalian copper metabolism // *International Journal of Nanomedicine*. – 2016. – V. 11. – P. 6561.
5. Rozhkova N.A. et al. An intervention of silver from nanoparticles in murine copper turnover // *Materials Physics and Mechanics*. – 2016. – V. 29. – P. 172–179.



Ряпов Сергей Александрович

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4207

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: spk1p@mail.ru

УДК 681.78, 697.4

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК НА РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Ряпов С.А.

Научный руководитель – к.т.н., тьютор Васильев А.С.

Системы технического зрения внедряются во многие сферы жизни. Визуальные системы мониторинга могут выполнять различные задачи по обнаружению и распознаванию объектов. Актуален вопрос быстрого комплексирования, исключая человеческий фактор. Настоящая работа посвящена исследованию методов автоматизированного комплексирования разноспектральных изображений для повышения информативности результирующего изображения.

Ключевые слова: комплексирование изображений, разноспектральные изображения, обработка цифровых изображений, дескрипторы изображений.

Многоспектральные оптико-электронные системы могут вести мониторинг в нескольких спектральных диапазонах, но не объединяют в единый видеопоток. На данный момент для комплексирования разноспектральных изображений, оператор вручную отмечает одинаковые точки на двух или более изображениях, по которым происходит геометрическое преобразование и комплексирование. Данный метод занимает много времени и имеет человеческий фактор, это делает задачу автоматизированного комплексирования разноспектральных изображений актуальной. За счет комплексирования разноспектральных изображений, результирующее изображение несет в себе больше информации [1–3].

Целью работы являлось исследование методов обнаружения характерных точек для автоматического комплексирования разноспектральных изображений и разработка методики обнаружения схожих дескрипторов для таких изображений.

Исследование проводилось на примере мониторинга тепловых сетей, ведя съемку с летательного аппарата. Результирующее изображение представляет собой кадр телевизионной камеры с нанесенными на него подземными и наземными тепловыми сетями, что дает

возможность оценки положения тепловых сетей и их состояния. В ходе исследования были рассмотрены пять методов обнаружения характерных точек: SURF, MSER, MinEigen, FAST, Harris. На рис. 1 представлена диаграмма количества обнаруженных точек для двух изображений, каждым из методов. Данные методы отличаются математическими алгоритмами обнаружения характерных точек и построением их дескрипторов.

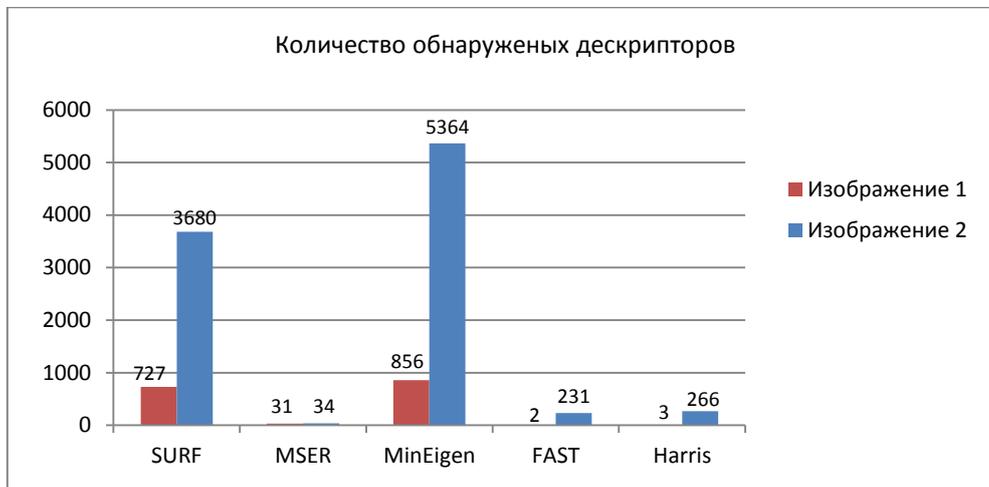


Рис. 1. Диаграмма количества обнаруженных характерных точек для двух изображений

В ходе исследования метод SURF обнаруживал больше характерных точек, чем другие методы. Метод MinEigen также обнаруживал много точек, но основным его недостатком является обнаружение большого количества малозначащих точек, в результате чего формируются неверные пары точек.

Из методов обнаружения пар дескрипторов, метод Match Threshold обнаружил среднее количество пар дескрипторов, из которых половина была верными, данный метод имеет лучшее соотношение общего количества пар дескрипторов к количеству верных пар. У оставшихся методов это соотношение меньше 30%. Диаграмма количества найденных пар дескрипторов различными алгоритмами представлена на рис. 2.

Основной проблемой комплексирования разноспектральных изображений является различное распределение яркости на изображениях разного спектрального диапазона. Для решения этой проблемы необходимо использовать средства предварительной обработки цифровых изображений или проводить сегментацию изображения исходя из «сильнейших» дескрипторов изображения видимого диапазона. В окрестности такой точки выбирается сегмент и рассматривается на изображении ИК-диапазона, такой метод уменьшает влияние яркостного распределения оставшейся части изображения и увеличивает коэффициенты «силы» дескрипторов в данном сегменте.

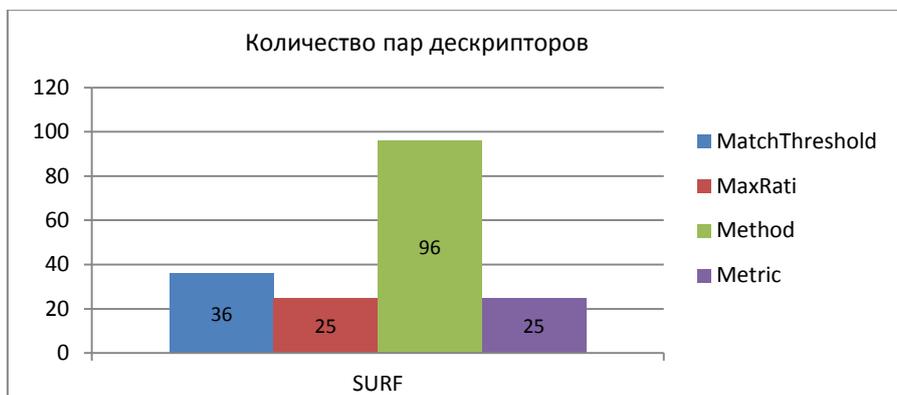


Рис. 2. Диаграмма количества найденных пар схожих дескрипторов, различными алгоритмами для метода SURF

Для исследования использовался набор методов обнаружения характерных точек в среде MATLAB. В ходе исследования проведен обзор математических методов обнаружения характерных точек, а также обнаружена и описана основная проблема автоматического комплексирования разноспектральных изображений, а также предложена методика решения данной проблемы.

Литература

1. Васильев А.С. Исследование методов комплексирования изображений многоспектральных оптико-электронных систем // Сб. работ аспирантов Университета ИТМО. – 2015. – С. 32–36.
2. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: учебное пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2010. – 704 с.
3. Краснопевцев Б.В. Фотограмметрия. – М.: УПП «Репрография» МИИГАиК, 2008. – 160 с.



Самуйлова Евгения Олеговна

Год рождения: 1986

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, аспирант

Направление подготовки: 18.06.01 – Химические технологии

e-mail: evgenia-sm@yandex.ru



Успенская Майя Валерьевна

Год рождения: 1970

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, д.т.н., профессор

e-mail: mv_uspenskaya@mail.ru

УДК 661.742.14

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Самуйлова Е.О., Успенская М.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Успенская М.В.

Представлен краткий обзор производимых в настоящий момент гидрогелей, используемых в сельском хозяйстве Российской Федерации. Применение гидрогелей в сельском хозяйстве позволяет контролировать водно-физические свойства почв для получения более высоких урожаев сельскохозяйственных культур при меньших технологических, а следовательно, экономических затратах. Их применение способствует повышению всхожести семян, увеличению темпов развития растений, их устойчивости к дефициту влаги и действию засухи, улучшает качественные показатели растений.

Ключевые слова: гидрогели, сельское хозяйство, полимеры, акриловая кислота, натурные испытания.

Полимерные гидрогели, способные удерживать большое количество воды, являются актуальными объектами практического интереса в связи с возможностью их использования в качестве эффективных сорбентов при решении ряда экологических и агротехнических задач [1–4].

В сельскохозяйственной практике в качестве средства для улучшения водного режима почвы и влагообеспеченности растений применяются влагонабухающие полимерные

материалы в виде гидрогелей – гидрофильных полимеров сетчатой структуры, которые при контакте с водой быстро поглощают и длительно удерживают ее в своем объеме. При внесении в почву гидрогели способны аккумулировать большой объем влаги, обеспечивая значительный прирост влажности в почве и благоприятные условия для развития растений.

Сферы применения гидрогеля обширны, он применяется:

- при посадке семян, рассады растений, при пересадке кустарников и деревьев;
- при перевозке растений;
- как добавка в почву для оптимального обмена влаги.

Применение гидрогеля в сухом грунте позволяет растениям получать достаточное количество воды. Внесение этого материала в глинистые почвы делает их рыхлыми и защищает саженцы от излишков жидкости, спасая их от загнивания корней.

Использование гидрогеля никак не влияет на структуру грунта. Он обеспечивает водой растения, а не почву. За счет своей главной особенности (впитывание и удерживание большого количества влаги) материал имеет определенные достоинства:

- поддержание оптимального баланса влаги, впитываемой растением;
- экономия воды;
- сохранение вносимых в грунт удобрений;
- улучшение рыхлости почв;
- ускорение наступления плодоносного периода растений;
- предотвращение пересыхания и растрескивания грунта.

Гидрогель и удобрения. В чистом гидрогеле не содержится никаких сторонних примесей или удобрений [5], поэтому, как и при обычной посадке подкармливать растения, посаженные в почву с полимером, необходимо. Лучше всего в этом случае использовать комплексные удобрения, которые полностью растворяются в воде. Обычно на упаковке указывается максимально доступная концентрация вносимого вещества. При подкормке почвы с гидрогелем данное значение нужно уменьшить вдвое.

Удобрение почвы с гидрогелем во впитывании их растением постепенное, вместе с влагой. После полива или дождя удобрение не вымывается из почвы, а остается в шариках полимера. Благодаря этому подкормку можно проводить гораздо реже.

Применение гидрогелей в натуральных условиях. Для сравнения и исследования были выбраны несколько марок гидрогелей для сельского хозяйства, применяемые в настоящий момент на предприятиях агропромышленного комплекса и представленные в розничной продаже.

Гидрогель марки «AQUASORB» от компании SNF SAS. На российском рынке реализуется под торговой маркой «Влагосорб». На сегодняшний день гидрогель-абсорбент «Влагосорб» отлично зарекомендовал себя практически во всех сферах, в цветоводстве, в садоводстве и виноградарстве, в питомниках, в лесном хозяйстве [6, 7].

Гидрогель марки «STOCKOSORB®» от компании «Evonik». Разработан специально для удержания воды и питательных веществ в почве и почвенных смесях, STOCKOSORB® оптимизирует уровень влажности для максимального роста растений [8].

Гидрогель марки «TeraGel» от компании «Terawet Green Technologies.Terawet®» разработан специально для использования на сельскохозяйственных полях. Проведенные исследования по определению фитотоксичности Terawet®, показали, что данный гидрогель не оказывает эффекта фитотоксичности и неблагоприятного влияния на рост растений, безопасен для человека, бактерий, птиц, земляных червяков и прочих живых существ [9].

Гидрогель марки «Аквасин» производства ООО «ПКФ Сингер» совместно с ПАО «Татнефтехиминвест-холдинг» (Республика Татарстан) [10]. Основные достоинства гидрогеля «Аквасин» – это способность не только легко и быстро поглощать огромное количество влаги, но и легко и быстро отдавать ее при необходимости.

В таблице приведены сравнительные характеристики этих гидрогелей. Значение абсорбции в условиях свободного набухания приведено для дистиллированной воды.

Таблица. Сравнение гидрогелей

Название	Химическая основа	Форма выпуска	Размер частиц, мм	pH	Абсорбция в условиях свободного набухания, мг/л
«AQUASORB» («Влагосорб»)	сополимеры акриламида и акрилата калия	белый порошок	0,1–3	8,0–10,0	>200
Stockosorb®	сшитый сополимер акриламида и акрилата калия	сыпучие белые гранулы	0,2–4	7,0–8,0	>250
Terawet®	сшитый сополимер полиакриламида и полиакрилата калия	белые гранулы.	0,07–2	6,0–6,8	>170
«Аквасин»	Пространственно сшитый полимер акриловой кислоты на основе соли калия	белые гранулы	0,1–4	6,0–6,5	>250

Согласно данным, приведенным в таблице, можно сделать заключение о том, что при производстве гидрогелей для сельского хозяйства используются в основном полимеры на основе производных акриловой кислоты. Их физико-химические свойства и форма выпуска не имеют принципиальных различий и не несут в себе уникальных характеристик.

Актуальность применения гидрогеля в сельском хозяйстве в настоящее время очень высока, гидрогели позволяют за счет своих абсорбционных характеристик значительно улучшить показатели урожайности и увлажненности почв, а также при должном контроле не оказывают токсического влияния на продукты и окружающую среду.

Литература

- Olekhovich R.O., Glazacheva E.N., Uspenskii A.B., Slobodov A.A., Uspenskaya M.V. Investigation of hydrogel on the base the phosphorus-containing acrylic copolymer for use in agriculture // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. – 2015. – V. 2. – P. 207–214.
- Nnadi F., Brave Ch. Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands // Journal of Soil Science and Environmental Management. – 2011. – V. 2(7). – P. 206–211.
- Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв. – М.: Изд-во Московского университета, 2012. – 544 с.
- Околелова А.А., Желтобрюхов В.Ф., Егорова Г.С., Рахимова Н.А., Кастерина Н.Г., Заикина В.Н., Щербакова Л.Ф. Применение гидрогеля в почвах. Монография. – Волгоград: ИПК Волгоградский ГАУ «Нива», 2016. – 103 с.
- Применение гидрогеля для растений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sotkiradosti.ru/v-pomoshh-rasteniyam/primenenie-gidrogelya-dlya-rasteniy>, своб.
- Гидрогель для растений ВЛАГОСОРБ! [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fermer.ru/board/sale/gidrogel-dlya-rasteniy-vlagosorb-242084>, своб.

7. AQUASORB™. Гранулы, для удержания воды в почвах и подпочвах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://snf-group.ru/wp-content/uploads/2015/05/AQUASORB-granulyi-dlya-uderzhaniya-vodyi-v-pochvah-i-podpochvah.pdf>, своб.
8. STOCKOSORB® Рациональное использование водных и почвенных ресурсов в земледелии и садоводстве – ключ к высокой урожайности и качеству [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.exs.com.ua/stocksorb.html>, своб.
9. AgraGel® (T-400) crystals absorb and hold hundreds of times their weight in water and then upon demand release the moisture to the plant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.terawet.com/agragel--t-400-.html>, своб.
10. Суперабсорбент «Аквасин» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tdsinger.ru/all/>, своб.



Сахариянова Айганым Мараткызы

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4205

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: s_aiganym93@mail.ru

УДК 681.777.8, 681.786

**РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА
С УВЕЛИЧЕННЫМ ДИАПАЗОНОМ ИЗМЕРЕНИЯ**

Сахариянова А.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Коняхин И.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

В работе проанализированы условия увеличения дистанции измерения по сравнению с серийными автоколлиматорами. Исследована погрешность измерения вследствие ограничения рабочего пучка. Изложена структура алгоритма компенсации систематической погрешности измерения, основанного на полученном аналитическом выражении функции погрешности.

Ключевые слова: автоколлиматор, виньетирование, алгоритм компенсации, компьютерное моделирование.

В настоящее время одной из проблем метрологии является измерение угловых величин, в частности, угловых деформаций в критических точках крупногабаритных объектов. Например, такие измерения необходимы при создании скоростных железнодорожных магистралей, радио- и телескопов, координатных стендов, ускорителей заряженных частиц. Для таких измерений эффективно использовать оптико-электронные автоколлимационные системы. Их преимущество – отсутствие электрической связи с контролируемым объектом, на котором располагается малогабаритный отражатель в виде плоского зеркала. Серийные оптико-электронные автоколлиматоры обеспечивают необходимую точность измерений, но имеют малую во многих практических случаях рабочую дистанцию измерения (до 10 м). Так как при увеличении дистанции измерения погрешность вследствие виньетирования отраженного светового пучка значительно увеличивается, и отсутствуют средства компенсации данного явления [1].

При повороте плоского зеркала на угол β вследствие неодинакового виньетирования происходит несимметричное перераспределение облученности изображения марки в плоскости матричного приемника. В результате энергетическая ось изображения марки смещается относительно геометрической оси. Так как матричный приемник регистрирует смещение энергетического центра изображения марки, а измеряемый угол поворота зеркала пропорционален смещению геометрического центра, явление виньетирования приводит к систематической погрешности измерения [2].

Для начала анализа рассмотрим структуру излучающего пучка автоколлимационных схем (рисунок).

Здесь существуют две области – внутренняя и внешняя. Внутренняя область ограничена конической поверхностью. Дистанция L_ϕ от центра выходного зрачка объектива до точки K – дистанция формирования пучка. Внешняя область снаружи ограничена конической поверхностью, образованной габаритными лучами, а изнутри – внутренней конической поверхностью. Сечение пучка коллиматора плоскостью, перпендикулярной оптической оси объектива имеет, соответственно, круговую I и кольцевую II зоны. Любая точка внутренней области пучка, находящаяся на расстоянии $L < L_\phi$, имеет одинаковую облученность. Это объясняется тем, что облученность этих точек формируется излучением, испускаемым всей поверхностью излучающей марки, т.е. вся марка действующая [3].

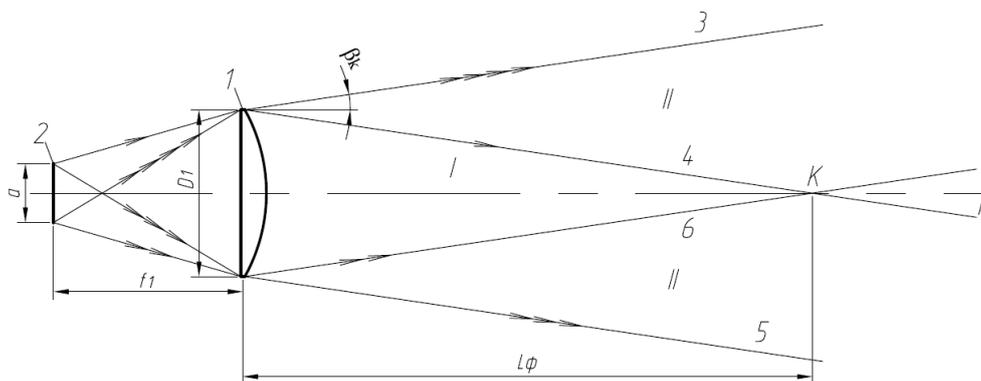


Рисунок. Структура излучающего пучка: 1 – объектив; 2 – излучающая марка; 3–6 – габаритные лучи; I – круговая зона пучка; II – кольцевая зона пучка

Необходимо определить соотношения между световыми диаметрами элементов эквивалентной схемы канала измерения с целью минимизации погрешности вследствие виньетирования пучка лучей.

В типовых автоколлимационных системах зеркальный отражатель расположен на дистанции L , меньшей дистанции формирования пучка L_ϕ ($L < L_\phi$). При этом распределение облученности в изображении марки практически не изменяется в случае малых поворотов зеркала, и погрешность вследствие виньетирования незначительна. Рабочая дистанция значительно увеличится, если зеркальный отражатель автоколлиматора расположить на расстоянии, большем дистанции формирования пучка ($L > L_\phi$). При условии $L > L_\phi$ элементарные пучки от различных точек излучающей марки неизбежно срезаются и, следовательно, при любых габаритных соотношениях присутствует погрешность измерения вследствие ограничения рабочего пучка. Однако эта погрешность является систематической и при наличии аналитического описания может быть скомпенсирована посредством внесения поправки в результат измерения угла поворота зеркального отражателя [4].

На основе полученного аналитического описания систематической погрешности измерения вследствие ограничения рабочего пучка оптико-электронного автоколлиматора строится алгоритм компенсации данной погрешности, включающий следующие шаги.

1. По известным параметрам элементов оптической схемы автоколлиматора необходимо найти радиус изображения R_m .
2. После поворота отражателя измеряется величина x смещения энергетического центра изображения марки.
3. Вычисляется соотношение данных величин $l = x/R_m$ затем определяется величина q относительной погрешности измерения l и находится абсолютная величина погрешности измерения $Q = l \cdot R_m$.
4. После вычисления поправочного значения смещения энергетического центра изображения марки $x' = x - Q$ по выражению $x = f \operatorname{tg}(K\theta)$, при $K=1$ находится значение искомого угла поворота θ зеркального отражателя [5].

При использовании данного алгоритма компенсации, погрешность вследствие виньетирования сводится к пренебрежимо малой величине, это позволяет увеличить диапазон измерения серийно выпускаемых оптико-электронных автоколлиматоров в 1,2–1,5 раза.

Литература

1. Konyakhin I.A., Sakhariyanova A.M., Li R. Design the algorithm compensation of vignetting error at optical-electronic autoreflexion system by modelling vignettted image // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 9889. – P. 988915.
2. Konyakhin I.A., Sakhariyanova A.M., Smekhov A.A. Investigation vignetting beams in optoelectronic autocollimation angle measurement system // Proceedings of SPIE. – 2015. – V. 9526. – P. 95260H.
3. Коныхин И.А., Панков Э.Д. Трёхкоординатные оптические и оптико-электронные угломеры: справочник. – М.: Недра, 1991. – 224 с.
4. Коныхин И.А., Сахариянова А.М. Исследование соотношений между оптическими компонентами автоколлиматора при наличии компенсируемого виньетирования // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2016. – Т. 4. – С. 273–276.
5. Ли Ж., Сахариянова А.М. Исследование оптико-электронного автоколлиматора для измерения угловых деформаций крупногабаритных конструкций при наличии ограничения рабочего пучка // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – № 9-10. – С. 14–20.



Семёнов Андрей Владимирович

Год рождения: 1994

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, группа № V4120

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника

e-mail: drunia147@yandex.ru



Дырдина Вероника Юрьевна

Год рождения: 1994

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, группа № V4120

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника

e-mail: d.nika_9494@mail.ru

Табачков Алексей Геннадьевич

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники
и видеоинформатики, к.т.н., доцент
e-mail: aletab@yandex.ru

УДК 681.7.07

АДАПТАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТИВОВ К РАЗЛИЧНЫМ МИКРОСКОПАМ

Семёнов А.В., Табачков А.Г., Дырдина В.Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Табачков А.Г.

Производители микрообъективов постоянно стремятся унифицировать оптические схемы и механические конструкции объективов. Рассмотрены варианты адаптации новых объективов для работы на старых приборах. Предложены варианты адаптации для совместной работы микрообъективов разных производителей. Рассмотрена унификация оптической схемы и возможность модернизации конструкции микрообъектива с целью адаптации его параметров для работы на нескольких различных микроскопах.

Ключевые слова: объектив, aberrации, унификация, адаптация, микроскоп, юстировка, качество изображения.

В настоящее время выпускается достаточно большое разнообразие моделей микрообъективов. Они имеют различные характеристики и предназначены для проведения разнообразных микроскопических исследований. Существует возможность выбрать микрообъектив практически для всех поставленных задач и целей. Наличие широкой гаммы модельного ряда объективов с различными параметрами необходимо для обеспечения работы на разнообразных микроскопах. С появлением и развитием новых методов контроля, технологий и растущим количеством научных исследований выявляется потребность в разработке новых моделей микроскопов и микрообъективов, отвечающих повышенным требованиям. Ведущие производители постоянно конкурируют друг с другом, вследствие чего микроскопы и микрообъективы регулярно совершенствуются. Однако следует отметить, что наряду с появлением новейших моделей современных микроскопов и объективов, существует огромное количество уже выпущенных приборов, которые находятся в использовании. Из-за улучшения технических характеристик и изменения габаритных параметров, использование новых объективов на ранее выпущенных микроскопах не представляется возможным.

Особенность современных микрообъективов состоит в том, что они стандартизованы по определенным признакам (линейное поле, парфокальная высота, увеличение и др.). Таким образом, несмотря на большое разнообразие, их можно разделить на несколько групп, в зависимости от тех или иных характеристик.

Параметры, по которым можно стандартизировать микрообъективы – это диаметр присоединительной резьбы и рабочая высота объектива. Размеры присоединительной резьбы и высоты имеют несколько значений. При необходимости использовать микрообъектив с меньшей резьбой на приборе, у которого посадочное гнездо имеет больший размер присоединительной резьбы, предполагается использовать «переходные втулки». Данные втулки изготовлены таким образом, что позволяют не только увеличить диаметр резьбы, но и сохранить при этом высоту микрообъектива. На некоторых объективах используются «центрирующие переходные втулки». Такие втулки позволяют достичь высокой соосности оптической оси микрообъектива и присоединительной резьбы самой втулки. В некоторых конструкциях объективов используются «удлиняющие цилиндры». Они предназначены для увеличения рабочей высоты микрообъектива, но при этом сохраняют размер присоединительной резьбы. Иногда встречаются модели объективов, в которых применяются комбинированные втулки, которые позволяют изменить высоту и диаметр резьбы одновременно.

Следующий параметр, по которому стандартизованы микрообъективы – это толщина покровного стекла для совместной работы, с которым они предназначены. Оптическая схема

объектива предполагает совместную работу только с конкретной толщиной покровного стекла. По этой причине приходится выпускать несколько модификаций конструкции микрообъектива под каждый микроскоп или препарат (методику работы). Некоторые производители выпускают микрообъективы, способные производить адаптацию к различной толщине покровных стекол. Данные микрообъективы имеют VAR-коррекцию по покровному стеклу. Такая перенастройка объектива осуществляется за счет перемещения определенных узлов или группы оптических компонентов. Однако данные конструкции являются весьма сложными и трудоемкими при изготовлении, поэтому применение данного варианта адаптации оправдано только в сложных и дорогих микрообъективах.

При разработке микрообъективов большое внимание уделяется принципам стандартизации и унификации механической части изделия [1]. Ведущие производители стремятся разрабатывать более рациональные конструкции микрообъективов и совершенствуют технологии их изготовления, сборки и контроля. Работы в данном направлении позволяют не только улучшить дизайн микрообъектива, но и производить сборку разных моделей объектива, не увеличивая при этом номенклатуру механических деталей [2]. Аналогичное внимание при разработке уделяется стандартизации и унификации оптической части объектива. Унификация конструктивных решений при этом может быть основана на использовании и композиции некоторых базовых оптических компонентов с заранее известными свойствами и аберрациями. Основываясь на работах [3, 4], всю схему микрообъектива можно разделить на несколько составляющих. Каждая из составляющих отвечает за определенные параметры и характеристики (рис. 1).

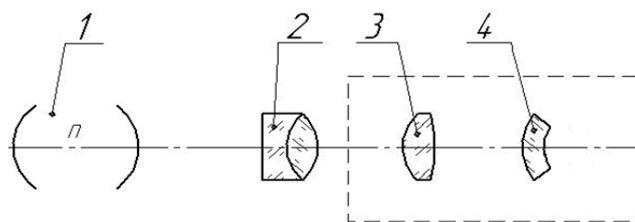


Рис. 1. Унифицированная схема микрообъектива

Фронтальная линза (или система линз) 1 является основной при построении изображения соответствующего качества. Она определяет рабочее расстояние и числовую апертуру микрообъектива. Последующая часть 2 обеспечивает требуемое увеличение и размер поля зрения, а в сочетании с фронтальной, – фокусное расстояние и качество изображения. Последняя часть микрообъектива, состоящая из линз 3 и 4, в основном ориентирована на устранение оставшихся аберраций, а также определяет высоту объектива и длину тубуса. При этом роль последней линзы 4 в форме мениска – это исправление кривизны поля зрения.

Современные микрообъективы выпускаются на тубус «бесконечность» и рассчитаны на совместную работу с тубусной линзой, которая установлена в микроскопе. У разных производителей микроскопы оснащаются тубусными линзами с различным фокусным расстоянием, поэтому при использовании объективов с другого прибора (имеющего другую тубусную линзу) искажаются характеристики микрообъектива. Поскольку оптическая схема микрообъектива условно разбита на отдельные блоки, каждый из которых «отвечает» за определенные параметры, можно изменяя конструктивные параметры определенных блоков, влиять на выходные параметры объектива в целом. Таким образом, упомянутое выше, искажение параметров можно исправить путем введения в оптическую схему дополнительного оптического компонента (или группы компонентов) [5]. На рис. 2 представлен объектив, в конструкцию которого добавлен узел (установленный последним), который позволяет скорректировать работу микрообъектива на конечную длину тубуса.

Изначально все микрообъективы выпускались на конечную длину тубуса. Переход всей микрооптики на тубус «бесконечность» автоматически исключил использование новых микрообъективов на старых микроскопах с конечной длиной тубуса.

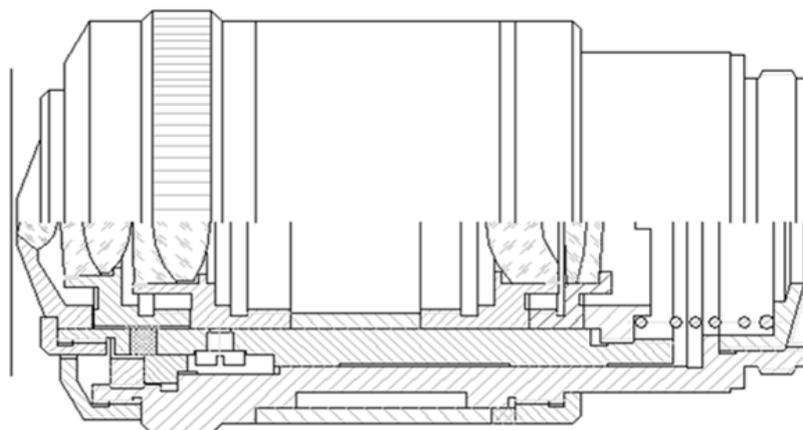


Рис. 2. Конструкция нового микрообъектива

Несмотря на то, что новые микроскопы и микрообъективы позволяют достичь лучших результатов в исследованиях, потребители не торопятся расставаться со старыми работоспособными микроскопами, поскольку стоимость новых приборов довольно высока. Исходя из этого, потребность в адаптации новых микрообъективов к старым микроскопам является довольно актуальной. Приобретая только микрообъективы можно с меньшими финансовыми затратами улучшить качество работы микроскопов. В этой связи при адаптации нового микрообъектива необходимо скорректировать его оптическую схему таким образом, чтобы она работала не на тубус «бесконечность», а на какое-то конкретное расстояние (конечную длину тубуса). Это можно достичь аналогичным способом (который изложен выше) изменяя параметры определенного блока оптической схемы. Сама модернизация в этом случае заключается во введение в конструкцию объектива определенного дополнительного оптического узла. Это позволяет перенастроить оптическую схему нового объектива на конечную длину тубуса. После этого становится возможным использование микрообъективов на старых микроскопах.

Выводы. Работы, связанные с унификацией конструкции и применение способов адаптации микрообъективов, позволяют достичь следующих результатов:

- при наличии фактически одних и тех же деталей изготавливать разных модификации объектива;
- оперативно перенастраивать производственный процесс при выпуске разных моделей микрообъектива;
- упростить процесс изготовления деталей и сборку микрообъективов;
- уменьшить номенклатуру оснастки и деталей;
- обеспечить взаимозаменяемость групп узлов и деталей;
- снизить себестоимость выпускаемой продукции;
- появляется возможность автоматизации сборки и контроля.

Литература

1. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов. – СПб.: Лань, 2015. – 560 с.
2. Табачков А.Г. Конструкторско-технологическая унификация микрообъективов с учетом автоматизации их сборки: дис. канд. техн. наук. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. – 142 с.
3. Фролов Д.Н. Синтез оптических систем линзовых микрообъективов // Оптический журнал. – 2002. – Т. 69. – № 9. – С. 16–20.
4. Frolov D.N., Vinogradova O.A. Ease of Manufacturing and Definition of the Tolerances for Fabrication and Assemblies of Microobjectives / 50 Internationales Wissenschaftliches Kolloquium; Technische Universität Ilmenau. – 2005. – P. 93–94.
5. Labor-Microscopes [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.labor-microscopes.ru>, свобод.



Соловей Алексей Анатольевич

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4107

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: solovei_94@mail.ru



Алехин Артём Андреевич

Год рождения: 1989

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, к.т.н., тьютор

e-mail: alekhin.a.a@mail.ru

УДК 535.247.4, 666.1.002.68

РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ СЕПАРАЦИИ СТЕКЛОБОЯ

Соловей А.А., Алехин А.А.

Научный руководитель – к.т.н., тьютор Алехин А.А.

В работе рассмотрен способ построения, а также требования системы, предназначенной для сепарации стеклобоя. На основе проведенного анализа предложено использовать оптико-электронную систему. В работе рассмотрена схема построения системы, представлена схема облучения зоны контроля. Затронуты вопросы обработки изображения.

Ключевые слова: оптико-электронная системы, сепарация, стеклобой, битое стекло, привозной стеклобой, обработка изображения.

Стеклобой – битое стекло, образующееся при производстве и использовании стеклянных изделий. Одним из способов утилизации стеклобоя является производство тепло- и звукоизоляционных и композитных строительных материалов [1].

В стекольной промышленности стеклобой разделяют на обратный и привозной. Обратный стеклобой представляет собой отходы производства непосредственно стекольного завода, которые возвращаются в производственный процесс. Привозной стеклобой – это бывшее в употреблении стекло, собранное и переработанное определенным образом, предназначенное для дальнейшего использования в изготовлении стекла [2].

Привозной стеклобой всегда имеет загрязнения, приводящие к появлению дефектов стекла при производстве из-за наличия различных примесей: неорганические огнеупорные примеси (корунд, муллит, кварц, фарфор и пр.), примеси магнитных и немагнитных металлов (консервные банки, металлические пробки, кольца и др.), а также органические примеси (бумага, картон, пластик). Исходя из этого, контролю чистоты привозного стеклобоя стоит уделять большое внимание.

Существующие системы сепарации стеклобоя имеют типовые виды конструкции, в основном происходит очистка металлических примесей с помощью различных магнитов, а для извлечения огнеупорных примесей требуется ручная сортировка на завершающих этапах. Оптико-электронные сепараторы позволяют исключить участие человека.

Существует несколько компаний, производящих такие системы для сепарации стеклобоя.

Фирма «Mogensen GmbH» является лидером в области машинного зрения. Компания предлагает систему «Mogensen-Microsort», которая позволяет распознавать сыпучие материалы по цвету, форме и размеру [3].

Система «Sortex» компании Buhler Sortex Ltd. содержит черно-белые камеры, имеющие повышенную чувствительность в ближней инфракрасной зоне. Разделение отдельных частиц боя стекла выполняется по изменяющейся плотности стекла, что характерно для материалов разной толщины [4].

В ходе анализа особенностей сепарации сыпучих фракций стеклобоя сформированы основные требования к системе регистрации, которая должна: обладать высокой чувствительностью и разрешающей способностью (для различения фрагментов стекла с размерами от 1 мм); обеспечивать разделение по цвету; обладать высокой скоростью сканирования (для обеспечения высокой производительности).

Схема построения разрабатываемой оптико-электронной системы (ОЭС) сепарации стеклобоя представлена на рисунке, а.

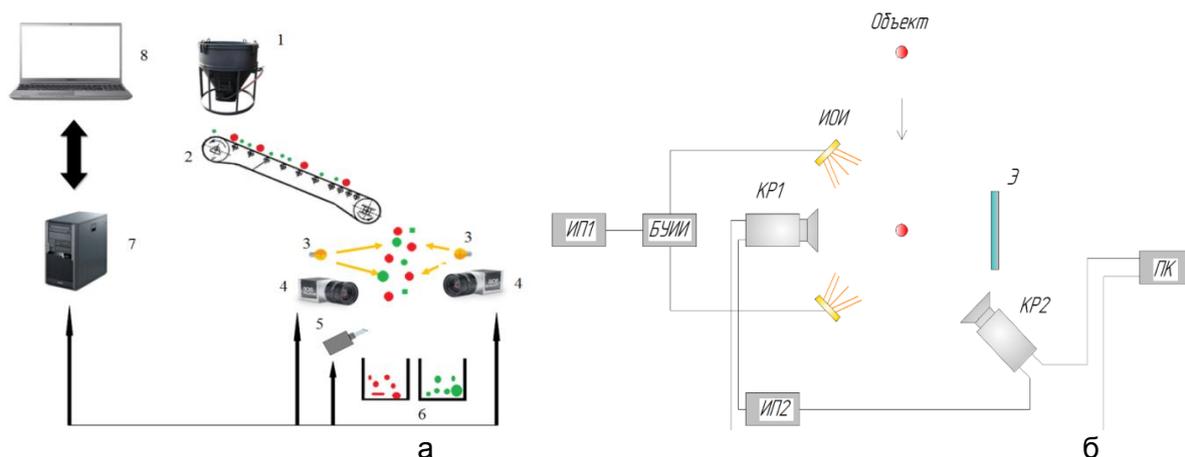


Рисунок. Схема построения системы сепарации стеклобоя (а) и схема облучения зоны контроля (б)

Принцип работы системы поясняется следующим образом: сырье из бункера 1 попадает на конвейерную ленту 2, по которой поступает в зону анализа. В ней с помощью источников освещения 3 и камер 4 производится регистрация изображений, после чего данные с камер поступают в блок обработки информации 7. Блок обработки посылает сигналы на систему пневмо-отсечки 5, которая разделяет сырье по загрузочным камерам 6. Система управляется с помощью персонального компьютера 8.

На основе данной схемы и с учетом требований к системе регистрации для анализа сыпучих фракций стеклобоя предлагается схема облучения зоны контроля (рисунок, б).

В разрабатываемой системе присутствует два канала регистрации: KP1 работает на отражение для анализа цвета объекта, а KP2 работает на просвет с целью определения прозрачности объекта. В схеме по обе стороны от KP1 стоят источники освещения (ИОИ) (они освещают рабочую зону), которые управляются блоком управления источником излучения (БУИИ), питание подается от источника питания ИП1. Два канала регистрации (KP) представляют собой цифровые телевизионные камеры с объективами. Информация, полученная с каналов регистрации, обрабатывается в персональном компьютере (ПК) при помощи программного обеспечения (ПО).

Отличать примеси от полезного сырья планируется при помощи обработки изображения с камеры. Полноцветное изображение – это изображение, пиксели которого описываются тремя значениями. Рассмотрим несколько цветовых моделей полноцветного изображения (RGB, HSI).

В RGB-модели каждый цвет представляется красным, зеленым и синим первичными основными цветами. Представляемые в цветовой модели RGB-изображения состоят из трех отдельных изображений-компонент, по одному для каждого первичного основного цвета.

Модель HSI хорошо соответствует цветовосприятию человека. В модели HSI яркостная информация (интенсивность) отделена от цветовой информации (цветовой тон, насыщенность) [5].

Основным функциональным требованием к системе обработки изображения для правильной идентификации фракций стеклобоя является необходимость различения близких по цвету объектов. Данное требование возможно реализовать при помощи цветовой сегментации. Под сегментацией понимается процесс разделения изображения на несколько сегментов. Она используется для выделения объектов и границ.

Для сегментации изображения на основе цвета подходит использование пространства HSI, поскольку в этом пространстве основная информация о цвете содержится в компоненте цветового тона. Компонента насыщенности используется для формирования маски, позволяющая выделить область интереса в компоненте цветового тона [5].

В дальнейшем планируется разработка исследовательского макета ОЭС для сепарации стекла, создание ПО для обработки изображения, а также проведение экспериментальных исследований выделения объектов разного класса крупности и цветности на различных образцах.

Литература

1. Кетова Г.Б., Пузанов А.И., Пузанов И.С. и др. Проблемы вторичного использования стеклобоя и путей их решения // Сборник. Промышленная экология на рубеже веков. – 2001. – С. 247–252.
2. Розенталь Й. Подготовка возвратного и привозного стеклобоя // Стеклобоя. – 2008. – № 4. – С. 4–8.
3. Функциональный принцип оптической сортировки Mogensen MSort [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mogensen.de/ru>, своб.
4. Фотосепараторы: оперативная сортировка боя стекла [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.xlom.ru>, своб.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.



Сысунов Никита Дмитриевич

Год рождения: 1996

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В3355

Направление подготовки: 12.03.01 – Приборостроение

e-mail: mr.belorussianin@gmail.com



Сизиков Валерий Сергеевич

Год рождения: 1939

Факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, д.т.н., профессор

e-mail: sizikov2000@mail.ru

УДК 621.397.3, 519.642.3

МУЛЬТИПОЛЯРНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ШУМ И ЕГО ФИЛЬТРАЦИЯ

Сысунов Н.Д., Сизиков В.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Сизиков В.С.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 33481 «Устойчивые технологии восстановления спектров в технических системах спектроскопии» под грант РФФИ № 13-08-00442.

Рассмотрен вопрос об адекватности существующих моделей шумов на изображениях и об их фильтрации. Предложен новый тип импульсного шума, более приближенный к реальному, – мультиполярный импульсный шум. Затронут также вопрос о последовательности фильтрации шумов на смазанных или дефокусированных изображениях – до устранения смазывания/дефокусирования или после него. В качестве примера выполнена фильтрация шума на смазанном изображении винеровским и медианным фильтрами, а затем устранено смазывание методом регуляризации Тихонова.

Ключевые слова: биполярный и мультиполярный импульсные шумы на изображениях, винеровский фильтр, медианный фильтр Тьюки, фильтр Гонсалеса, предшествующая и последующая фильтрация шума, устранение смазывания и дефокусирования, MATLAB.

Введение. Искаженные (смазанные, дефокусированные) изображения, как правило, зашумлены [1–5]. **Цель работы** – анализ используемых моделей шумов (например, биполярного импульсного шума) и рассмотрение нового типа шума – мультиполярного импульсного шума и метода его фильтрации.

Модели шумов. Часто используются следующие модели шумов на изображениях [1–5]: гауссов, биполярный импульсный, внешний (атмосферный), внутренний (инструментальный), в пространственной или в частотной области и т.д. Гауссов шум обычно вызван непрерывным случайным процессом, например, дымкой или туманом в атмосфере, а импульсный шум обусловлен пылью, каплями дождя (внешними причинами), а также выходом из строя сенсоров матрицы ПЗС, в результате чего возникают так называемые «битые пиксели» (внутренние причины). Импульсный шум обычно имитируется черными и белыми точками на изображении. Это так называемый биполярный импульсный шум, называемый также «salt & pepper» («соль и перец»).

В данной работе в основном рассмотрены шумы гауссов и импульсный (внешний и внутренний, в пространственной и частотной областях).

Гауссов шум, как установлено [5], лучше фильтруется адаптивным фильтром Винера [1–3], а биполярный импульсный шум – медианным фильтром Тьюки [1–3], а также адаптивным медианным фильтром Гонсалеса [3].

Во всех фильтрах используется скользящее окно размером $m \times n$ (рис. 1).

В адаптивном фильтре Винера центральной точке (x, y) окна присваивается среднеарифметическое значение, а в медианном фильтре Тьюки – медианное значение из m, n интенсивностей точек, попавших в окно.

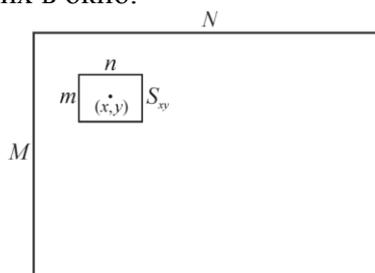


Рис. 1. Изображение $M \times N$ и скользящее окно $m \times n$

Медианный фильтр Тьюки обладает тем (возможным) недостатком, что он, фильтруя импульсный шум, может исказить само изображение. Поясним это. В медианном фильтре Тьюки центральная точка (x, y) окна всегда замещается медианным отсчетом интенсивностей. Однако интенсивность центральной точки $g(x, y)$ может не равняться 0 или 255, т.е. точка (x, y) может не являться импульсом, а быть изображением и, тем не менее, точка (x, y) будет замещена, что означает некоторое искажение самого изображения.

В адаптивном медианном фильтре Гонсалеса [3, С. 361] предложено использовать условие: замещать точку (x, y) медианным отсчетом лишь в случае, когда она является импульсом, т.е. ее интенсивность $g(x, y) = 0$ или 255.

Однако биполярный импульсный шум является слишком простой моделью для имитации атмосферной пыли, капель влаги, снежинок, «битых пикселей» и т.д. Упрощенность связана с тем, что интенсивности импульсного шума в этой модели принимают лишь два значения, обычно 0 и 255, т.е. такой шум имеет лишь два полюса. Однако на практике интенсивности импульсного шума (пыли, капель, снежинок) могут принимать более двух значений, причем с разбросом значений. В данной работе предложена более адекватная модель импульсного шума – мультиполярный импульсный шум и модифицированный адаптивный медианный фильтр для его фильтрации.

Данный шум предлагалось обрабатывать в три этапа.

На первом этапе нужно иметь изображение (шаблон шума) (рис. 2, а), в котором присутствует лишь импульсный шум. По этому изображению можно определить, что интенсивности импульсов сосредоточены, например, вокруг трех значений (полюсов) $z_1=49$, $z_2=119$ и $z_3=238$ с разбросом значений относительно полюсов (так как импульсы имеют размеры более одной пиксели). Это можно отобразить в виде плотности вероятности значений импульсов z (гистограммы), например, в виде трех гауссиан (рис. 2, б).

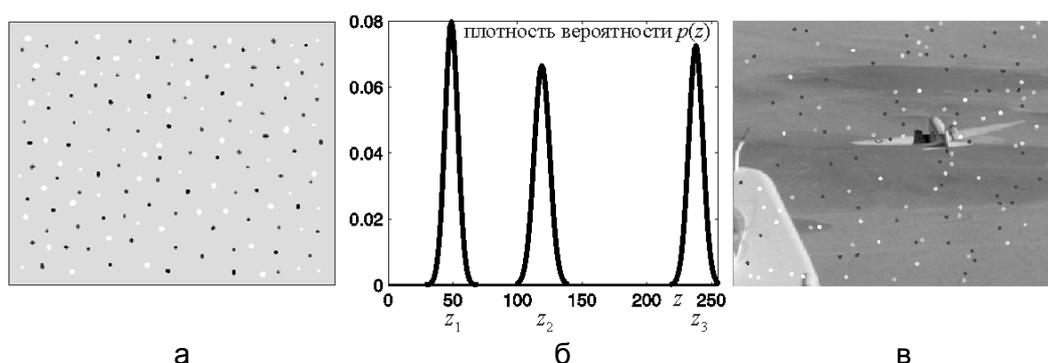


Рис. 2. Изображение с мультиполярным импульсным шумом, но без объекта (а); гистограмма шума (б); объект и мультиполярный импульсный шум (в)

На втором этапе имеем изображение объекта (рис. 2, в), зашумленное мультиполярным импульсным шумом, имеющим такую же гистограмму, как на рис. 2, б (но не обязательно такую же реализацию шума, как на рис. 2, а).

На третьем этапе выполняем медианную фильтрацию мультиполярного импульсного шума на изображении, представленном на рис. 2, в. При этом используем следующее условие: замещаем центральную точку (x, y) скользящего окна (рис. 1) на медианное значение лишь в случае, когда эта точка является мультиполярным импульсом, т.е. ее интенсивность

$$z(x, y) = z_i \pm \delta z_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где δz_i – среднее квадратичное отклонение, или разброс значений импульса относительно полюса z_i , а n – число полюсов (в нашем примере $n=3$). Такую обработку (согласно (1)) изображения, зашумленного мультиполярным импульсным шумом, назовем модифицированным адаптивным медианным фильтром.

Для мультиполярного импульсного шума разработана MATLAB-программа.

Последовательность устранения шумов на искаженных изображениях. Рассмотрим также кратко вопрос о последовательности (очередности) фильтрации шумов на смазанных или дефокусированных изображениях – до устранения смазывания/дефокусирования или после него. В работе [5] этот вопрос уже рассмотрен и сделаны следующие выводы:

- гауссов шум хорошо фильтруется адаптивным фильтром Винера, а биполярный импульсный шум – медианным фильтром Тьюки или Гонсалеса;
- погрешность восстановления изображения зависит от последовательности выполнения фильтрации шума и устранения смазывания/дефокусирования.

В данной работе проиллюстрирован пример изображения kids.tif 400×318 (рис. 3). На рис. 3, а – изображение 400×338, горизонтально смазанное на 20 пкс и зашумленное 3%-ным

гауссовым шумом, а также с размытием краев (для понижения эффекта Гиббса). На рис. 3, б – аналогично, только шум импульсный. На рис. 3, в, г – изображение после фильтрации шума винеровским (рис. 3, в) и медианным (рис. 3, г) фильтром. На рис. 3, д, е – изображения (в) и (г) после устранения смаза методом регуляризации Тихонова [5].

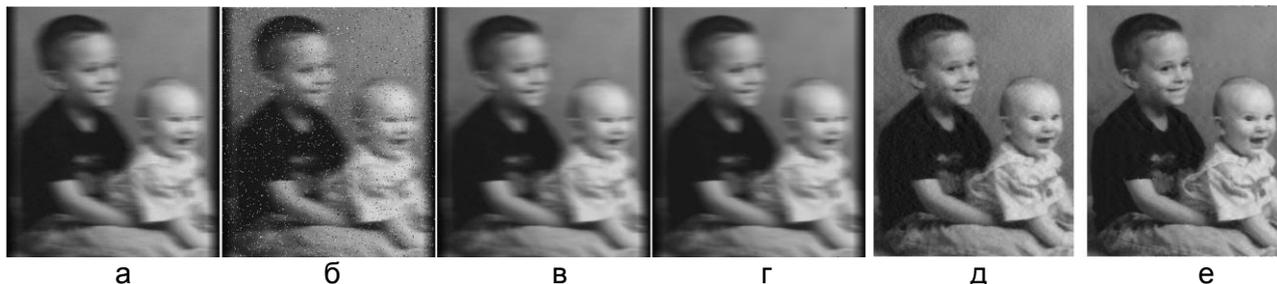


Рис. 3. Иллюстрация примера изображения kids.tif 400×318

Заключение. Можно сделать следующие выводы.

1. Введенный мультиполярный импульсный шум более адекватно, чем биполярный импульсный шум описывает шум, имитирующий атмосферную пыль, капли влаги, снежинки, «битые пиксели» и т.д.
2. Импульсный шум фильтруется медианными фильтрами (Тьюки, Гонсалеса и др. [2–4]), а гауссовый шум – адаптивным винеровским фильтром [1, 2].
3. Если шум – импульсный, то последовательность устранения шума и смаза/дефокуса важна, а если шум – гауссовый, то она не существенна.

Данная работа подтверждает результаты работы [5].

Литература

1. Lim J.S. Two-dimensional signal and image processing. – New Jersey: Prentice Hall, 1990. – 694 p.
2. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
4. Сизиков В.С. Обратные прикладные задачи и MatLab. – СПб.: Лань, 2011. – 256 с.
5. Сизиков В.С., Экземпляров Р.А. Последовательность операций при фильтрации шумов на искаженных изображениях // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80. – № 1. – С. 39–48.



Тарасов Иван Петрович

Год рождения: 1993

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4102

Направление подготовки: 12.04.02 – Оплотехника

e-mail: iptarasov@gmail.com

УДК 535.8; 535.31

ПАНКРАТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЕ НАСАДКИ ДЛЯ ПРИБОРОВ, РАБОТАЮЩИХ В РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНАХ

Тарасов И.П.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Цыганок Е.А.

Работа посвящена анализу оптических схем телескопических систем с плавным переменным увеличением. В сложных оптических системах преобразование их характеристик, таких как: увеличение,

фокусное расстояние, поле зрения и др., без внесения каких-либо изменений в схему прибора, осуществляется применением различного рода насадок. Чаще всего в качестве таковых используются отдельно рассчитанные телескопические системы с постоянным или переменным увеличением.

Ключевые слова: системы с переменным увеличением, телескопические насадки, панкратические системы, расчет оптических систем.

В последние годы актуализирован вопрос создания многоканальных приборов. Необходимость таких приборов состоит в том, что ни один отдельный прибор не может решить одновременно несколько обнаружительно-измерительных задач. Таких как обнаружение и распознавание объектов наблюдения круглосуточно и в широком диапазоне изменения внешних условий: при нормальной и при пониженной прозрачности атмосферы в условиях дымки, тумана, дождя, снегопада и пр. По этой причине возникает необходимость создания системы круглосуточного и всепогодного действия, работоспособной при воздействии разнообразных световых помех. Многоканальные приборы видения позволяют решать задачи повышенной сложности в разнообразных внешних условиях, где возможности одноканальных приборов ограничены, недостатки одного канала компенсируются достоинствами другого [1].

Системы переменного увеличения можно разделить на два типа.

Системы со скачкообразным изменением увеличения, они, в свою очередь, подразделяются на системы: в которых увеличение достигается сменой одного из компонентов; поворотом телескопической системы на 180° вокруг оси; перемещением одного или нескольких компонентов вдоль оптической оси.

Второй тип систем переменного увеличения – это панкратические оптические системы с плавным изменением увеличения в заданных пределах, дающие возможность остановиться на любом промежуточном значении увеличения [2].

Целью работы являлось исследование и анализ оптических схем панкратических насадок с высоким относительным отверстием, работающих в широком спектральном диапазоне. Были поставлены следующие задачи: исследование и анализ существующих схем панкратических систем; обзор схем телескопических систем с переменным увеличением; выбор оптимальной схемы для панкратической насадки для дальнейшего исследования.

Для данной работы к телескопической системе были предъявлены следующие требования:

- видимое увеличение $\Gamma=0,34-2,4^\times$;
- относительное отверстие 1:1,4;
- габаритные размеры 130 мм;
- рабочие длины волн 450–680 мкм, 710–2000 мкм;
- относительные оптические силы компонентов должны не превышать значение 2 по модулю;
- входной и выходной зрачки системы должны быть реальными;
- положения входного и выходного зрачков не должны изменяться с изменением увеличения панкратической насадки.

Исходя из требований технического задания, системы со скачкообразным изменением увеличения не подходят для реализации, так как требуется обеспечение плавного увеличения.

Блок-схема прибора, в составе которой находится разрабатываемая телескопическая система с плавным изменением увеличения, представлена на рисунке.

Панкратическая насадка располагается после призмы и должна обеспечивать высокое качество изображения в двух спектральных диапазонах, на которые разделено излучение спектроразделительной призмой.

Важной частью работы является выбор оптических материалов для линз, при выборе материалов нужно учесть, что система должна работать в ближнем инфракрасном диапазоне.

Для работы подходит большая часть оптических стекол ГОСТ 3514-94, но некоторые стекла групп: К, ТК, БК, СТК, ЛК, КФ, ФК, Ф, БФ, СТФ, ОФ в настоящее время отсутствуют в номенклатуре Лыткаринского завода оптических стекол и могут быть изготовлены только по специальному заказу. Из-за отсутствия особых кронов, работающих в двух заявленных спектральных диапазонах, система будет состоять из оптических материалов с нормальным ходом дисперсии. Согласно требованиям, система должна обладать высоким относительным отверстием, это может привести к сложностям в ее ахроматизации в широком спектральном диапазоне.



Рисунок. Блок-схема прибора

Панкратические оптические системы, в свою очередь, подразделяются на: однокомпонентные, двухкомпонентные, n -компонентные. Однокомпонентная система не дает возможности стабилизации двух пар сопряженных плоскостей [3].

Двухкомпонентная панкратическая схема не подходит для дальнейшего рассмотрения, смещение двух компонентов нежелательно, так как существует вероятность, что компоненты, столкнувшись со стоящими в системе призмами, также при движении двух компонентов поверхности не будут зафиксированы, что недопустимо.

Трехкомпонентная панкратическая схема наиболее интересна для дальнейшего рассмотрения, схема позволяет избежать столкновения компонентов внутри системы, остаться в требуемых габаритах и получить стабилизацию положения предмета и изображения, а также плоскости входного и выходного зрачков при изменении увеличения панкратической насадки.

В ходе работы были рассмотрены различные схемные решения трехкомпонентных систем с переменным увеличением. Наиболее приближенной к требуемой системе, согласно техническому заданию, оказалась трехкомпонентная система с подвижным центральным компонентом, в которой первый и третий компоненты имеют положительные оптические силы. Композиция оптических панкратических насадок нуждается в исследованиях, с применением пакета прикладных программ. Введется обзор и анализ четырехкомпонентных систем переменного увеличения с возможностью стабилизации зрачков [4, 5].

Литература

1. Петраков А.В., Баскакова Е.С., Федяев Л.С. К вопросу создания многоканальных приборов видения // Спецтехника и связь. – 2013. – № 6. – С. 12–15.
2. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов. – Л.: Машиностроение, 1966. – 312 с.
3. Пахомов И.И. Панкратические системы. – Л.: Машиностроение, 1976. – 162 с.

4. Острун А.Б. Разработка методов автоматизированного синтеза оптических систем переменного увеличения в гауссовой области: автореферат. дис. канд. техн. наук. – СПб., 2014. – 17 с.
5. Нгуен В.Л. Анализ аберрационных свойств оптических систем переменного увеличения: автореферат. дис. канд. техн. наук. – СПб., 2014. – 19 с.



Тертычная Ксения Владимировна

Год рождения: 1994

Факультет технологического менеджмента и инноваций,
кафедра экономики и стратегического менеджмента, группа № U4247

Направление подготовки: 38.04.01 – Экономика

e-mail: ter1994ksu@yandex.ru



Цуканова Ольга Анатольевна

Год рождения: 1980

Факультет технологического менеджмента и инноваций,
кафедра экономики и стратегического менеджмента, д.э.н., доцент

e-mail: zoa1999@mail.ru

УДК 338.24.01

**ПРОБЛЕМЫ И РИСКИ СОЗДАНИЯ И КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ
ПРОДУКЦИИ В РОССИИ**

Тертычная К.В., Цуканова О.А.

Научный руководитель – д.э.н., доцент Цуканова О.А.

В работе рассмотрены примеры оптических научных разработок, представляющих интерес для коммерциализации, выявлены основные проблемы создания оптической продукции в России, проанализированы риски на этапе создания и коммерциализации отечественных оптических разработок с рекомендуемыми мероприятиями по их управлению, сформулированы условия успешной коммерциализации научной продукции в России.

Ключевые слова: риск, управление рисками, оптические разработки, коммерциализация научно-технической продукции.

Цель работы: определить основные проблемы и риски создания и коммерциализации оптической продукции в России, предложить мероприятия по управлению данными рисками.

Еще не так давно Россия была одной из немногих стран в мире, имеющих полный замкнутый цикл разработки и производства оптических приборов и систем – от фундаментальных исследований до массового производства.

Однако к началу XXI века отношение к оптической промышленности существенно изменилось. В основных целевых программах развития страны оптика уже не встречается [1].

Российский бизнес все чаще на современном этапе прибегает к импорту оптического оборудования.

В ходе исследования были выделены основные проблемы на этапе создания и коммерциализации оптической продукции в России:

- слабая поддержка со стороны государства, недостаточное финансирование научных оптических разработок;
- несоответствие интересов и целей разработчиков оптической продукции в силу чрезвычайно обширных возможностей применений этой техники;
- слабое участие и интерес со стороны бизнеса в поддержке научно-оптических исследований;
- недостаточная информированность российского бизнеса о существовании сегодняшних возможностей и направлений использования оптической продукции;
- слабая подготовка кадров различного уровня, требуемых для разработки оптической продукции.

Длительное функционирование приведенных проблем может в результате сказаться на понижении конкурентоспособности оптической продукции на мировом рынке. Основной тенденцией является незаинтересованность предприятий-разработчиков в коммерциализации оптической продукции.

При конструировании оптических систем разрабатываются оптические приборы различного назначения, среди них можно выделить: космические телескопы, видеоискатели для авиационной промышленности, офтальмологические и медицинские приборы (мультифокальные линзы для очков), разработки новых осветительных систем (лампы дорожного освещения, автомобильные фары). Перечисленные разработки могут быть предложены рынку для коммерческих целей.

Наибольший интерес для дальнейшей коммерциализации представляет собой разработка оптических систем для светодиодов, так как светодиодное освещение обладает высоким рыночным потенциалом.

Идентификация рисков создания оптической продукции в России. В ходе исследования вопроса по созданию оптических разработок в России были идентифицированы основные риски, которым подвержено создание отечественной оптической продукции на мировом рынке. Результаты выявления рисков отражены в карте рисков (таблица) [2, 3].

Таблица. Карта рисков создания оптической продукции в России

Риск	Описание	Рекомендуемые мероприятия по управлению
1. Риск прекращения поставок из-за рубежа материалов и комплектующих, требуемых в обязательном порядке для оптической продукции	На данный момент оптические разработки изготавливают в основном из отечественных материалов. Исключениями могут быть полупроводниковые пластины для разработки оптических светодиодов, которые закупаются в Китае, на Тайване и других странах, а также микроэлектроника, требующаяся в системах контроля и управления, которую можно приобрести в Германии и Японии [4]	Этот риск нужно минимизировать путем оснащения российских научных центров современным технологическим оборудованием
2. Риск уменьшения спроса на оптическую продукцию отечественного производства в России	В России спрос на оптическую продукцию велик из-за низкой стоимости по сравнению с зарубежными странами. Прогнозируется дальнейший рост спроса в среднесрочном периоде	Создание специальной технологической платформы, решающей проблему экспорта при кооперации усилий государства и бизнеса [4]

Риск	Описание	Рекомендуемые мероприятия по управлению
3. Риск вытеснения некоторых видов оптической продукции с рынка товарами-заменителями	Процесс вытеснения одних видов оптической продукции другими происходит постоянно, это считается нормальным в продвижении технологий. Риск вытеснения не является высоким	Риск можно снизить, уделяя повышенное внимание качеству разрабатываемой продукции
4. Риск предпочтения потребителями оптической продукции зарубежного производства	Этот риск уже существует и проявляется в желании российских организаций покупать оптическое оборудование зарубежного производства (в том числе бывшее в употреблении) для своих разработок	Требуется обязательная поддержка отечественного производителя со стороны государства [4]
5. Риск недостаточного уровня кадрового обеспечения создания и продвижения оптической продукции	Существенный риск нехватки персонала, наделенного необходимыми знаниями и опытом работы в данной отрасли	Формирование мероприятий по повышению привлекательности обучения и трудоустройства по оптическим специальностям
6. Риск недостаточного инвестирования новых проектов	Риск велик, так как оптическая отрасль в России не является одной из самых востребованных в перечне важнейших технологий страны – в противоречии с мировым опытом	Риск можно минимизировать, активно привлекая бизнес к формированию заказа на разработки, расширяя перечень возможных инвесторов

Успешная разработка и дальнейшая коммерциализация оптической продукции в России возможна, по мнению авторов, при соблюдении следующих условий:

1. ежегодное увеличение государственных инвестиций в НИОКР в таких отраслях, к которым относится научная и прикладная оптика (фотоника, оптотехника);
2. стимулирование внутреннего спроса на высокотехнологичную продукцию, а также станки, оборудование и материалы отечественного производства;
3. осуществление активной подготовки высококвалифицированных научных и инженерно-технических кадров;
4. проведение реконструкции и переоснащения научных центров и лабораторий современным оборудованием и приборами.

Преодолению рисков могут способствовать рациональный подход к осуществлению расходов, интенсивное государственное и частное финансирование оптических научно-технических проектов и высокотехнологичного оборудования, определение новой модели развития оптической промышленности, обеспечивающей выпуск конкурентоспособной продукции, как на отечественном рынке, так и за рубежом.

Литература

1. Мирошников М.М., Судьбы оптики и государственного оптического института (ГОИ) в России // Оптический журнал. – 2012. – Т. 79. – № 5. – С. 77–91.
2. Ашихмина Е.Р. Оценка рисков наукоемкого предприятия (на примере ОАО «Композит») // Молодежный научно-технический вестник. – 2014. – № 3. – С. 46.

3. Цуканова О.А. Анализ и оценка рисков при коммерциализации инновационной научно-технической продукции // Журнал правовых и экономических исследований. – 2016. – № 4. – С. 202–205.
4. Технологическая платформа «Инновационные лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии – фотоника» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://innovation.gov.ru/sites/default/files/documents/2016/5913/1614.pdf>, своб.



Тимофеева Эльвира Олеговна

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В5508

Направление подготовки: 12.05.01 – Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения

e-mail: elyatimofeeva@gmail.com

УДК 616-073.584

ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ НА ПРИМЕРЕ РАСТВОРОВ УБИХИНОНА

Тимофеева Э.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чертов А.Н.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

Антиоксиданты, используемые для лечения окислительного стресса организма человека, обладают высокой биологической активностью в борьбе с этой болезнью. **Цель работы** состояла в изучении спектрального метода флуоресценции убихинона, применяемого для лечения больных. Результаты работы показали, что метод может быть применим в фармацевтической промышленности для контроля качества лекарств, содержащих убихинон.

Ключевые слова: убихинон, флуоресценция, спектрофотометрический метод, контроль качества, антиоксидант.

Антиоксиданты, активные формы кислорода и другие радикалы вовлечены в явление оксидативного стресса. Организм человека подвержен такому фактору окружающей среды, как радикальное окисление мембран клеток, который провоцирует окислительный стресс организма человека. Антиоксиданты – основные защитники от разрушения тканей и органов радикалами и преждевременного старения организма. Но каждый антиоксидант имеет про-оксидантную природу, и этот факт следует иметь в виду для коррекции окислительно-восстановительного потенциала [1].

Существует много доступных методов для измерения прогресса процесса и доказательств его существования для каждой стадии развития разрушительного процесса окисления. Общая классификация подходов, важных для ученых таких сфер, как токсикология и фармакология, содержат методики определения оксидативного стресса через измерение окислительно-восстановительного потенциала, количественное определение радикалов, маркеров окислительного разрушения и количественной оценки антиоксидантной защитной системы. Все эти методы служат определенным целям и могут быть классифицированы как прямые и косвенные подходы, которые имеют свои преимущества и недостатки, которые подробно описаны и распространены в литературе [2, 3]. Но лишь

непосредственный анализ антиоксидантной активности на основе комплекса факторов, позволит диагностировать заболевания, связанные с повреждением структуры тканей и органов и наследственного материала, и является актуальным вопросом клинической диагностики.

Кофермент Q10, или убихинон, является одним из антиоксидантов, регенерируемых организмом в митохондриях клеток. Убихинон широко распространен в виде биологически активной добавки и в качестве компонента косметологической продукции. По причине высокой активности этого кофермента возникает вопрос о его стабильности, так как любой антиоксидант имеет двуличную природу и может являться прооксидантом – активным разрушителем целостности клеток. Существующие методы изучения антиоксидантов не дают оценку их стабильности во времени и ограничены узким спектральным диапазоном анализа оптических свойств. Спектрофотометрический метод изучения растворов убихинона позволяет получить информацию о возможном взаимодействии излучения с веществом в широком диапазоне длин волн, а предложенный метод анализа позволяет получить данные о стабильности антиоксиданта от времени его хранения в виде растворов и об особенностях изменения его свойств под влиянием излучения различного спектрального состава.

Целью работы являлось изучение спектрального состава флуоресценции растворов убихинона в масле и спирте. Учитывая особенности работы с биологическими образцами и химическими реактивами, были поставлены следующие задачи:

- измерение спектров флуоресценции растворов (под действием ультрафиолетового (УФ) излучения узкого спектрального состава с максимумами на длинах волн в 287 и 330 нм) в зависимости от их концентрации и типа растворителя;
- анализ полученных данных с целью выявления характерных зависимостей между формой спектров флуоресценции, мощностью флуоресценции, концентрацией растворов и типами растворителей.

Объектами исследования являются растворы в масле и спирте с различными концентрациями убихинона. Концентрации растворов, используемые в данном исследовании, представлены в таблице.

Таблица. Концентрации растворов убихинона

Номер раствора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Концентрация, ммоль/л	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5

Структурная схема макета оптико-электронной системы (ОЭС) для изучения флуоресценции растворов представлена на рис. 1.

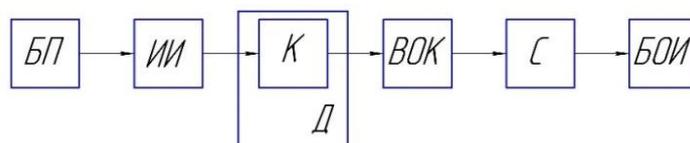


Рис. 1. Структурная схема макета ОЭС

Излучение источника УФ-диапазона (ИИ), работающий от блока питания (БП), подсвечивает объект анализа в кювете (К), закрепленный в держатель (Д). Излучение из волоконно-оптического кабеля (ВОК) регистрируется спектрометром (С). Данные с чувствительного элемента спектрометра попадают в блок обработки информации (БОИ) – персональный компьютер. ИИ закреплен с помощью пластикового держателя так, что излучение ИИ полностью попадает на объект анализа, исключая ситуацию травмирования зрительного аппарата человека УФ-излучением. Фиксация остальных оптических элементов производится стандартными разъемами и не требует дополнительной настройки и юстировки.

Измерения спектра флуоресценции объекта были произведены с помощью спектрометра модели USB4000 фирмы Ocean Optics. Программное обеспечение для регистрации данных и обработки результатов эксперимента было разработано на базе пакета программ LabVIEW и MATLAB. На рис. 2 показаны карты распределения интенсивности флуоресценции для растворов в спирте и масле под действием вынуждающего флуоресценцию источника УФ-излучения с максимумом на 287 нм. Визуализация спектров в виде карты распределения интенсивности является более удобным средством для восприятия и анализа полученных данных.

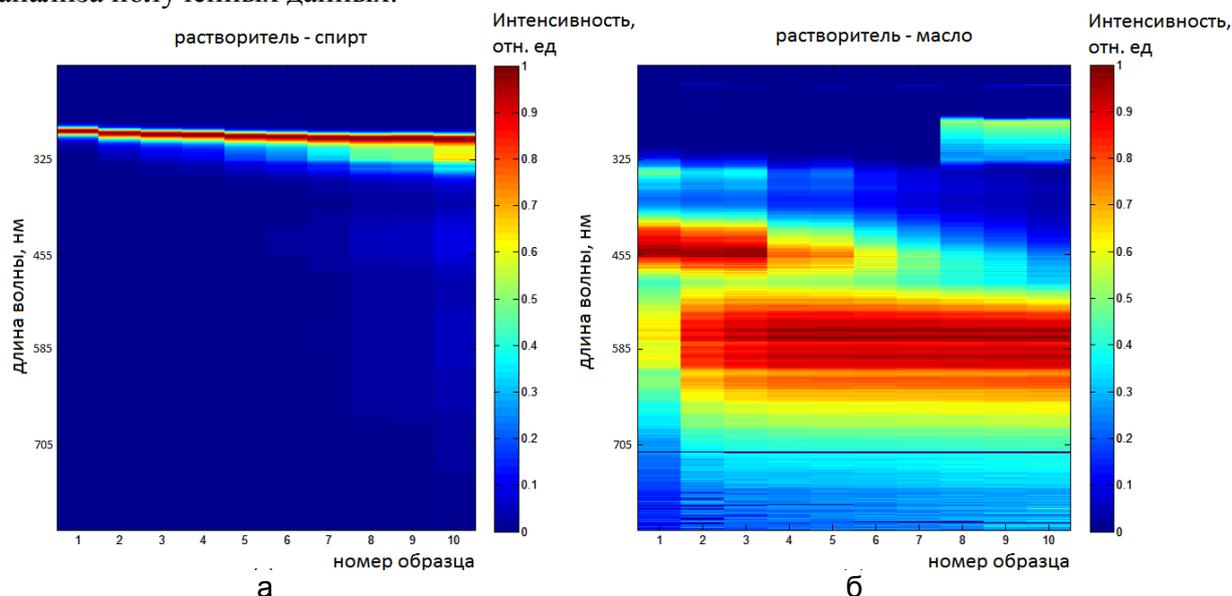


Рис. 2. Распределение интенсивность флуоресценции для растворов убихинона в спирте (а) и масле (б)

Полученные спектральные распределения флуоресценции убихинона показали, что масло имеет ярко выраженную флуоресценцию, которая уменьшается с увеличением концентрации убихинона – изменение формы спектров характерно для изменения химического состава вещества. Этот эффект называется «тушением» флуоресценции и является частью дальнейшего изучения оптических и химических свойств убихинона методами химического анализа совместно с изучением методами спектроскопии. На основании полученных данных можно сказать, что спектр флуоресценции имеет характерные зависимости от типа растворителя и концентрации вещества. Представленный в данной работе метод предположительно способен различать более малые концентрации убихинона, опыты по изучению которых планируются в продолжении работы с растворами антиоксиданта.

Флуоресцентный метод широко распространен для контроля качества медицинских препаратов, и техника, представленная в данной работе, также может быть применима с целью контроля качества лекарств и биологических добавок, содержащих убихинон, используя полученные практические результаты.

Результаты исследования флуоресценции растворов убихинона показали, что:

- изучение антиоксидантов методом спектроскопии может быть осуществлено для исследования поведения флуоресценции растворов антиоксидантов различных концентраций;
- метод может быть применим в фармацевтической промышленности для контроля качества лекарств, содержащих коэнзим;
- проведение параллельных исследований с существующими методами химического анализа антиоксидантов поможет достичь лучшего понимания особенностей поведения антиоксидантов.

Литература

1. Биохимия: учебник / Под ред. Е.С. Северина – 2-е изд., испр. – М.: ГЕОТАР-МЕД, 2004. – 784 с.
2. Cao G., Prior R.L. Comparison of different analytical methods for assessing total antioxidant capacity of human serum / Clin. Chem. – 1998. – № 44. – P. 1309–1315.
3. Llesuy S., Evelson P., Campos A.M., Lissi E. Methodologies for evaluation of total antioxidant activities in complex mixtures. A critical review / Biol. Res. – 2001. – № 34. – P. 51–73.



Титов Александр Борисович

Год рождения: 1985

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4110

Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика

e-mail: Alejanro@yandex.ru

УДК 550.8.054

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕДИНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГРУППЫ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Титов А.Б.

Научный руководитель – д.т.н., доцент Денисов В.М.

Работа выполнена в рамках темы «Разработка прототипа высокочувствительного полевого гамма-спектрометра на базе твердотельных кремниевых ФЭУ».

В работе рассмотрен новый подход к созданию приборов для полевых геофизических измерений, предполагающий использование универсального блока в составе каждого прибора, используемого в отрасли. Представлена оценка экономической целесообразности инвестиционного проекта. Поскольку данный подход может быть использован в различных отраслях, определена необходимость построения комплексной модели для экономического обоснования его применения.

Ключевые слова: единая архитектура, единая платформа, универсальный блок, полевые геофизические измерения, экономическое обоснование.

Экономика России традиционно ориентирована на экспорт полезных ископаемых. Очевидно, что с течением времени условия проведения поисковых работ усложняются, исчерпывается фонд месторождений, возникает необходимость перехода от экстенсивного способа геологоразведки к интенсивному. А это, в свою очередь, определяет требования к приборному и технологическому обеспечению геологоразведочных работ. Тем не менее, современная технология и приборная база отечественных геологических организаций значительно отстают от развитых зарубежных стран. Эти обстоятельства определили выбор объекта исследования.

Целью исследования являлось обоснование целесообразности вывода на рынок группы полевых геофизических приборов на базе единой платформы. Выбор данной цели определил круг задач, решение которых было направлено на ее достижение:

- определение принципа единой архитектуры, иерархии понятий, с ней связанных;
- обзор предлагаемой единой платформы и ее практической реализации в конкретных устройствах;

- оценка целесообразности инвестиционного проекта по созданию единой платформы;
- обоснование необходимости в построении комплексной модели оценки целесообразности с точки зрения всех участников рынка.

В основе единой платформы для полевых геофизических приборов лежит принцип единой архитектуры. Архитектура системы определяется, как фундаментальная организация системы, реализованная в ее компонентах, их взаимоотношениях друг с другом и средой и принципах, определяющих ее конструкцию [1]. Термин «система» в этом определении используется в наиболее общем случае: «набор компонентов, образованный для выполнения специализированных функций или набора функций».

Основные требования к системе определяют факторы, влияющие на архитектуру, которая, таким образом, логически расположена между полным анализом проекта и физическим проектированием и реализацией. Кроме удовлетворения требованиям анализа предметной области архитектура должна позволять реализовывать такие свойства системы как расширяемость, гибкость, настраиваемость и интероперабельность.

Важным обобщающим свойством архитектуры является способность удовлетворять требованиям будущих проектов: архитектура должна содержать набор компонентов и пакетов, пригодных для повторного использования в дальнейшем в других проектах.

На рис. 1 изображена схема, отражающая иерархию понятий и системную связь в рамках предлагаемой единой платформы приборов для полевых геофизических измерений. Отметим, что не во всех приборах из предлагаемого перечня используются оптические схемы. Это говорит о том, что предлагаемый подход на самом деле гораздо шире.

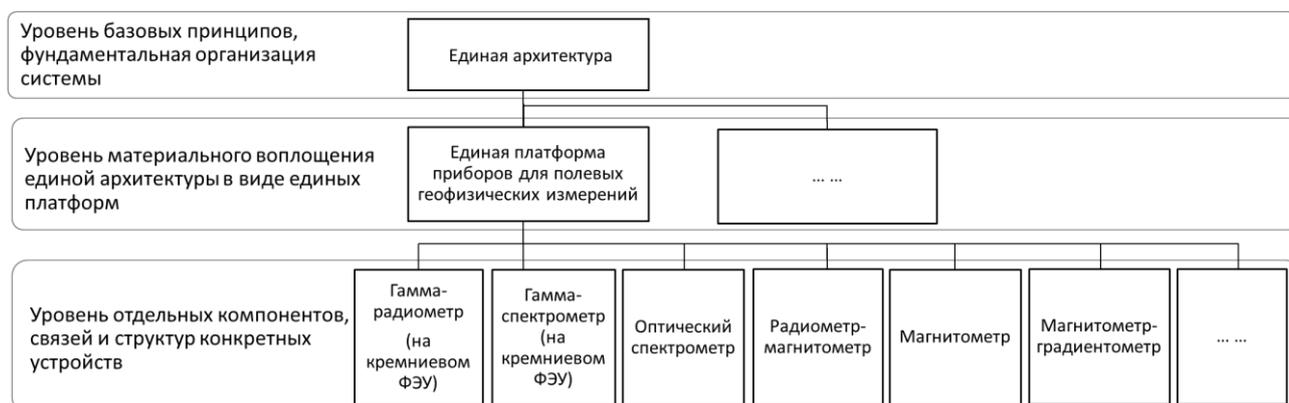


Рис. 1. Единая архитектура и единая платформа

Геофизические измерения могут рассматриваться как один из наиболее консервативных видов измерений. Тем не менее, сложившаяся номенклатура геофизических приборов с учетом использования современных технологий, в том числе глобального позиционирования, облачных вычислений, речевого управления и беспроводного управления, может быть сгруппирована следующим образом: пешеходные приборы, стационарные приборы, сети стационарных датчиков.

Создание сетей стационарных приборов обусловлено появлением новых технологий и элементной базы. В эту группу входят стационарно установленные приборы, включая, как многоканальные приборы с набором датчиков, так и функционально законченные приборы, объединенные внешним интерфейсом в единую сеть. Их основное назначение: оценка изменений геофизических параметров поля в зависимости от времени. В рамках технологии WSN большинство геофизических приборов может создаваться по технологии интеграции функционально-структурных компонентов, выбираемых из одного и того же набора.

Таким образом, на функциональном уровне фактически исчезают различия между пешеходными и стационарными приборами, с одной стороны, и сетью стационарных

датчиков, с другой стороны. Это дает возможность синтезировать универсальную архитектуру геофизического измерительного прибора или сети приборов [2].

Развитие этого подхода далее позволит перейти к использованию единой приборной платформы, на базе которых можно создавать геофизические приборы (пешеходные, стационарные, сенсорные, сетевые). При этом естественным способом решается ряд дополнительных важных задач:

- обеспечиваются требования электромагнитной совместимости за счет уменьшения помех для работы чувствительных элементов;
- улучшаются условия работы оператора: при проведении пешеходной съемки обеспечивается возможность относительно свободного взаимного размещения блока датчика и блока управления;
- управление сетью датчиков концентрируется в одном месте;
- обеспечивается своевременная передача информации в центры обработки.

Анализ функциональных компонент, входящих в состав типовых геофизических приборов, позволяет синтезировать некоторую универсальную архитектуру современного измерительного прибора или сети приборов, предназначенных для измерения геофизических полей. Такая архитектура включает универсальную измерительную подсистему и универсальную подсистему контроля и отображения, реализованных в виде отдельных устройств, объединенных между собой проводным или радиоканалом (рис. 2).



Рис. 2. Универсальная архитектура полевого геофизического прибора

Едиными свойствами, определяющими универсальную архитектуру полевого прибора, являются: наличие в составе универсальной подсистемы контроля и отображения блока обработки данных, облачного интерфейса, Bluetooth-интерфейса, GPS-модуля. Создаваемый продукт позволит поднять производительность полевых работ, уменьшить удельную стоимость измерений. Потребитель сможет самостоятельно формировать конфигурацию полевых приборов, используя универсальную подсистему контроля и отображения, подключая к ней различные модули датчиков.

Приведенные рассуждения определяют потребность в экономическом обосновании использования единой платформы приборов для полевых геофизических измерений. При этом экономическое обоснование понимается в двух его аспектах: во-первых, в части оценки целесообразности конкретного инвестиционного проекта по созданию группы приборов; во-вторых, в части определения потенциальной общественной эффективности использования предлагаемого подхода [3].

В рамках оценки экономической целесообразности инвестиционного проекта по созданию единой платформы приборов для полевых геофизических измерений были определены:

1. основной принцип выхода на целевой рынок, особенность которого заключается в так называемой «горизонтальной» экспансии, предполагающей производство приборов для целой отрасли, а не одного типа прибора для разных отраслей;
2. структура капитальных затрат (первоначальных инвестиций) на создание группы полевых приборов на базе единой платформы на период 2017–2018 гг. в сумме 80 млн руб.;

3. оценочная полная плановая себестоимость и цена на базовую универсальную комплектацию прибора для геофизических измерений в условиях серийного производства (цена 310 тыс. руб. без НДС при рентабельности продаж 20%);
4. прогнозная выручка от реализации продукции проекта с учетом ее роста в период 2017–2021 гг. до 95,3 млн руб. в год;
5. основные параметры инвестиционного проекта по созданию группы приборов, в том числе ставка дисконтирования, оцененная методом кумулятивного построения и учитывающая основные риски будущего проекта – на уровне 15,2%;
6. соответствие критериям эффективности инвестиционного проекта, а именно:
 - дисконтированный срок окупаемости составил 6 лет;
 - текущая приведенная стоимость, $NPV=16,3$ млн руб. (в 2022 г.);
 - внутренняя норма рентабельности, $IRR=22,25\%$ ($IRR>15,2\%$), что в совокупности говорит о имеющемся запасе финансовой прочности и перспективах реализации инвестиционного проекта на заданном временном горизонте (6 лет).

Экономическая целесообразность использования единой платформы в долгосрочной перспективе (общественная эффективность) базируется на следующем положении: с учетом того, что 50% рабочего времени геолога уходит на полевые работы и камеральную обработку данных, представляется возможным снизить общие издержки на полевые исследования как минимум в 2 раза. Это, в свою очередь, может сократить штат геологов в условиях использования единой приборной платформы.

Подобный сценарий может быть реализован в результате того, что:

- геолог будет тратить значительно меньше времени на проведения полевых работ;
- у геолога высвобождается больше времени для камеральной интерпретации полученных результатов;
- открываются новые возможности в части повышения эффективности измерений, поиска новых месторождений, что может найти отражение во вновь разработанных разделах проектной документации по вопросам инженерной геологии.

Объективная оценка экономического эффекта для конкретной компании в сфере геологоразведки может быть определена с учетом информации о количестве сотрудников компании, объемов выполняемых работ и прочих переменных параметров.

Таким образом, очевидно, что потенциальный экономический эффект от использования единой приборной платформы многокритериальный и не ограничивается оценкой инвестиционного проекта, а это, свою очередь, определяет необходимость построения комплексной экономической модели, с помощью которой можно будет оценить целесообразность использования единой приборной платформы в сфере геофизических измерений. Предложенный подход может быть опробован и в других подотраслях приборостроения и машиностроения. Долгосрочный же синергетический эффект от использования единых платформ в практической деятельности можно оценить только после начала их использования.

Литература

1. IEEE Std 1471-2000. Recommended Practice for Architectural Description of Software Intensive Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cabibbo.dia.uniroma3.it/ids/altrui/ieee1471.pdf>, своб.
2. Денисов В.М., Радиков А.В. Разработка принципов функциональной организации группы полевых геофизических приборов нового поколения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 6 (88). – С. 98–105.
3. Холодкова В.В. Определение оптимального периода использования инвестиций // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 5. Экономика. – 2001. – № 3. – С. 131–135.



Тихомиров Константин Сергеевич

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра технологий интроскопии, группа № В4252

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: tixkost@gmail.com



Алексеев Сергей Александрович

Год рождения: 1978

ОАО «Авангард», к.хим.н.

e-mail: alexergey@ya.ru

УДК 621.3.019.3

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА**

Тихомиров К.С. (Университет ИТМО), **Алексеев С.А.** (ОАО «Авангард»)

Научный руководитель – к.хим.н. Алексеев С.А. (ОАО «Авангард»)

В работе рассмотрена актуальная проблема расчета надежности паяных соединений поверхностного монтажа с точки зрения физической теории надежности с целью создания отечественной нормативно-технической документации.

Ключевые слова: надежность, паяные соединения, физика отказов, поверхностный монтаж, физическая теория надежности.

В наши дни монтаж высококачественных электронных модулей с повышенной и повторяющейся от экземпляра к экземпляру надежностью может обеспечить только автоматизированная сборка. Хотя надежность паяных соединений (ПС) поверхностного монтажа обеспечивается технологией изготовления, закладывается она на стадии проектирования [1]. И если методы обеспечения высокого уровня надежности РЭА на этапах производства и эксплуатации общеизвестны, то обеспечение высокого уровня надежности на этапе разработки радиоэлектронной аппаратуры зачастую остается без должного внимания [1].

В связи с отсутствием в Российской Федерации нормативно-технической документации (НТД) и большой актуальностью в мире, принято решение разработать методику прогнозирования надежности паяных соединений поверхностного монтажа (ПС ПМ), основываясь на физике отказов (физической теории надежности).

Большинство усталостных отказов могут быть отнесены на счет термомеханических напряжений, возникающих в основном из-за различия коэффициентов термического расширения (КТР) компонента, припоя и подложки или печатной платы (ПП) [2]. Однако следует отметить, что причина отказа (разрушения ПС) может происходить из-за других факторов, действующих как по отдельности, так и совместно. Типы прикладываемых нагрузок и возникающих из-за них процессов в ПС приведены на рис. 1.

Накопление в ПС повреждений, вызванных термомеханической усталостью, происходит вследствие сильно выраженной неоднородности распределения напряжений, обусловленных различием коэффициентов температурного расширения между разными

элементами, формирующими ПС. Значение имеют все параметры температурного режима: рабочие уровни температуры, скорость нагрева и охлаждения, разница температур в соседних локациях, время задержки на максимальном и минимальном экстремуме и т.п.

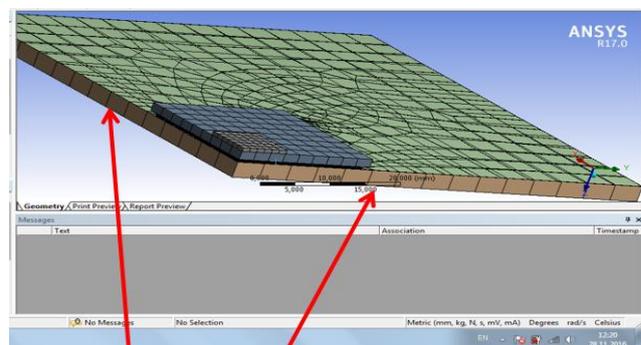
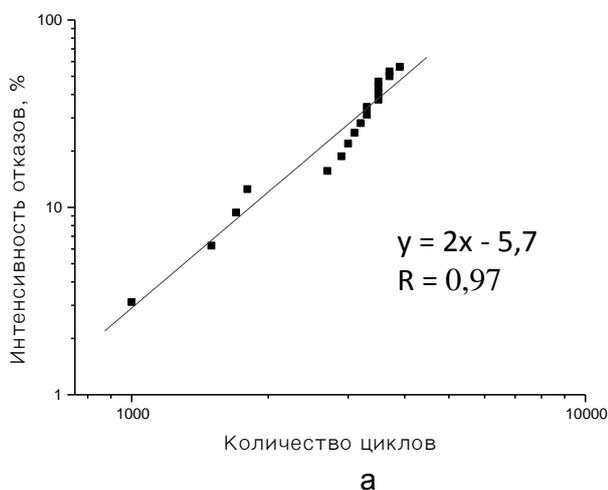


Рис. 1. Факторы, приводящие к повреждениям ПС

Для разработки методики прогнозирования надежности ПС ПМ, был поставлен следующий эксперимент:

- испытывались 8 электронных модулей до получения 50% отказов ПС для применения модели;
- температурный диапазон от 0°C до плюс 100°C;
- скорость изменения температуры в камере не более 10°C/мин;
- время выдержки 15 мин при минимальном и максимальном значении температур.

По результатам испытаний был составлен график Вейбулла отказов компонента LPGA1225T1.27 (рис. 2, а), также был проведен КЭ-анализ условий эксперимента (рис. 2, б).



б

Рис. 2. Статистика отказов паяных соединений по компоненту LPGA1225T1.27 (а);
¼ компонента LPGA1225 (б)

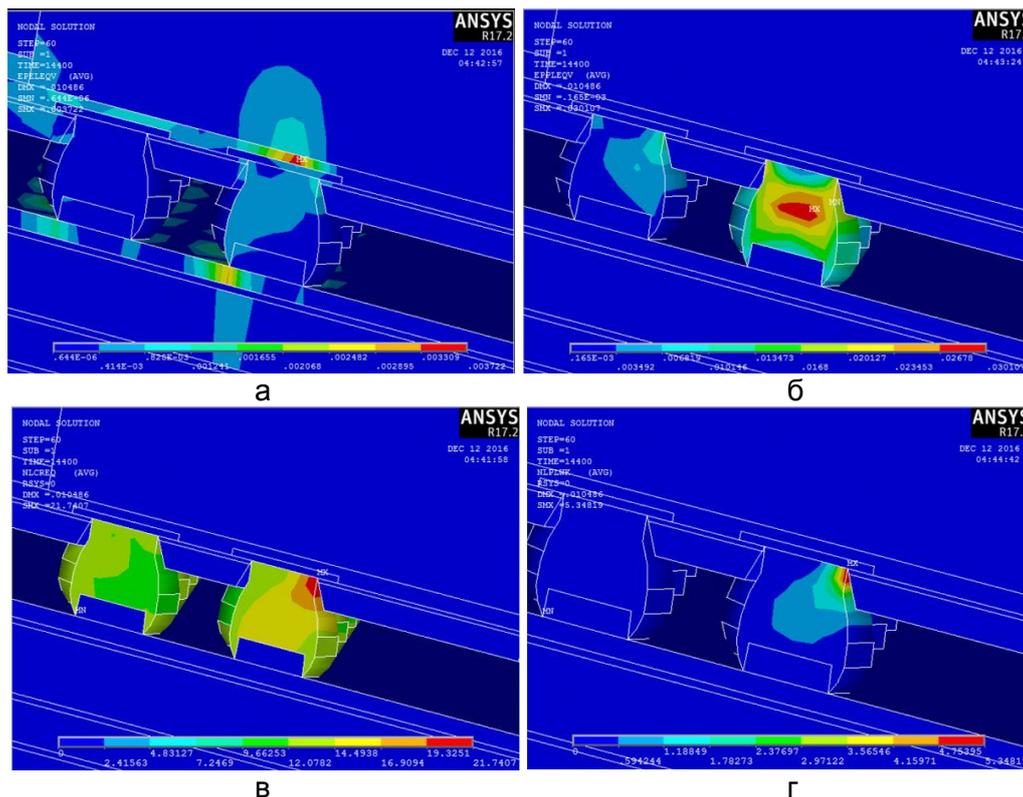


Рис. 3. Деформации: упругая (а); пластическая (б); ползучести (в) и вязкопластическая работа (г)

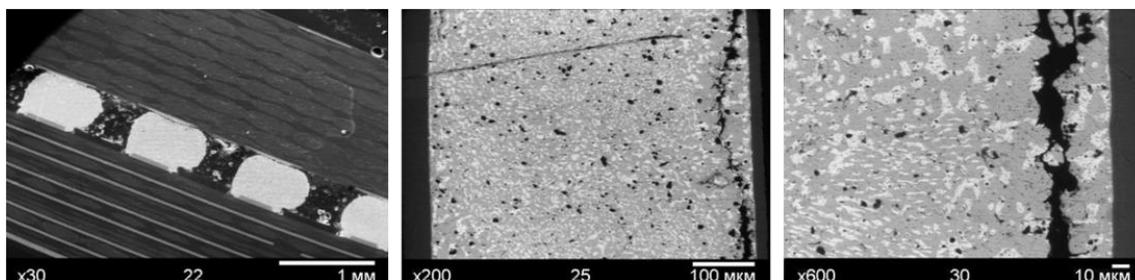


Рис. 4. Металлографическое исследование разрушенного шарика

Для прогнозирования надежности была использована модель Дарве [3]

$$N_0 = K_1 \Delta W_{ave}^{K_2}, \frac{da}{dN} = K_3 \Delta W_{ave}^{K_4}; N(50\%) = N_0 + \frac{a}{da/dN},$$

$$N(50\%) = 3469.$$

Относительная погрешность между экспериментом и расчетом составила всего 6,3%.

По итогам выполненной работы можно говорить, что авторами получена методика, способная спрогнозировать надежность ПС при термических воздействиях (рис. 3 и 4).

Литература

1. Тихомиров К.С., Алексеев С.А. Прогнозирование надежности паяных соединений: факторы, приводящие к повреждениям // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2016. – № 6 (156). – С. 172–181.
2. Тихомиров К.С., Алексеев С.А. Прогнозирование надежности паяных соединений. Термомеханическая усталость: критерий отказа, классификация моделей // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2016. – № 10 (160). – С. 136–142.
3. Syed. A.R. Creep Crack Growth Prediction of Solder Joints During Temperature Cycling – An Engineering Approach // Transactions of the ASXIE. – 1995. – V. 117. – P. 116–122.



Тоимбек Динара Кайраткызы

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий интроскопии, группа № В4159

Направление подготовки: 24.04.01 – Ракетные комплексы и космонавтика

e-mail: dinarat94@mail.ru

УДК 654.16

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Тоимбек Д.К.

Научный реководитель – д.т.н. Федоров А.В.

Работа выполнена в рамках договоров с фирмами о совместной деятельности по подготовке специалистов.

В работе рассмотрены методы передачи телеметрической информации о состоянии системы энергообеспечения космического аппарата. Кратко описаны физические основы методов передачи информации через каналы космической связи, и на основе анализа полученных данных поставлены задачи, решаемые в ходе выполнения работы. Работа направлена на дальнейшее исследование в области передачи данных в космическом пространстве и решения ее проблем.

Ключевые слова: космический аппарат, передача данных, система энергоснабжения, методы передачи информации, каналы связи.

Цель работы – исследовать и разработать методы передачи телеметрической информации о состоянии системы энергоснабжения космического аппарата (КА). Актуальность темы обуславливается увеличением срока активного существования КА с целью минимизации затрат.

Система передачи информации космического аппарата – совокупность программных и аппаратных средств, позволяющих передавать информацию между КА и центром управления полетом этого КА. Передаваемую информацию можно разделить на три основных типа:

- научная информация (КА–Земля);
- служебная и телеметрическая информация (КА–Земля);
- командно-программная информация (Земля–КА).

Современные КА в зависимости от их целевого назначения имеют разнообразный набор аппаратных средств. Тем не менее, основной состав систем, обеспечивающих жизнедеятельность КА, остается общим. К нему относятся:

- система энергоснабжения;
- командная радиолиния;
- исполнительные органы (двигатели-маховики, реактивные двигатели, магнитные катушки, гравитационные штанги и т.п.) системы ориентации;
- чувствительные органы системы ориентации (солнечные датчики, звездные датчики, датчики угловой скорости, инфракрасная вертикаль и т.п.);
- система обеспечения температурного режима.

Система энергоснабжения КА выполняет функции по преобразованию солнечной энергии в электрическую, ее накопление и обеспечение ей абонентов электрической сети КА. Данная система должна включать в себя защиты от коротких замыканий, а также обеспечивать контроль заряда батареи, не допуская ее перезаряда и, как следствие, выхода из строя. Систему энергоснабжения строят таким образом, чтобы была предусмотрена возможность управления

ключами питания, как с использованием бортовой вычислительной системы, так и напрямую, с использованием разовых команд. Это позволяет производить работы по аварийному снятию и подаче питания на выбранные устройства в обход бортовой вычислительной системы, например, в случае ее выхода из строя.

Управление полетом КА осуществляется автоматизированной системой управления, состоящей из двух основных частей: бортовой и наземной. Бортовой комплекс управления КА состоит из двух главных систем: управления движением и управления ориентацией. Наземный автоматизированный комплекс управления объединяет наземные командно-измерительные пункты, центры управления полетом КА и баллистические центры [1].

Основной задачей системы управления КА является управление ориентацией космического аппарата и движением его центра масс. Для этого необходимы системы передачи командно-программной информации на КА и телеметрической информации от него.

Бортовой комплекс управления (БКУ) КА представляет собой совокупность приборов и устройств с информационным и программным обеспечением, предназначенным для управления движением центра масс КА и управления функционированием бортового оборудования, а также для взаимодействия с наземным комплексом управления.

Основными задачами БКУ являются:

- управление движением центра масс КА;
- получение и обработка навигационной информации;
- командно-логическое управление служебными системами и целевым оборудованием;
- сбор, обработка и анализ контрольно-диагностической информации, принятие решения о парировании возникающих нештатных ситуаций, в том числе автоматическое управление выбором резервного комплекта оборудования, выбор наиболее безопасных режимов функционирования с учетом конкретного технического состояния бортовых систем КА.

Условиями работы радиолинии систем передачи командно-программной и телеметрической информации дальних КА являются:

- большой диапазон изменения расстояния между КА и Землей в процессе осуществления проекта;
- большое доплеровское смещение частоты принимаемого сигнала за счет взаимного движения КА и движения станции;
- сильное влияние среды распространения (атмосфер Земли и исследуемой планеты, межпланетного пространства и околосолнечной плазмы) на изменение амплитуды, фазы и частоты сигнала;
- ограничение массы, габаритов и энергопотребления бортовой аппаратуры;
- высокая надежность бортовой аппаратуры, вытекающая из высокой стоимости проекта и жестких астрономических сроков осуществления проекта [2].

Главный параметр любой системы связи – скорость передачи информации (1). Она определяется не столько мощностью сигнала, сколько соотношением его амплитуды с шумами, которые мешают приему. Шум возникает в аппаратуре приемника и передатчика из-за теплового движения атомов. А в космическом радиозфире «шумит» реликтовое микроволновое излучение, оставшееся от Большого взрыва. Шум отфильтровывается статистически за счет его случайного характера. Сегодня космическая информация передается в цифровом виде, т.е. последовательностями нулей и единиц – битов. Чем хуже отношение сигнал/шум, тем больше времени уходит на передачу каждого бита. Если попытаться форсировать передачу, сообщения станут приниматься с ошибками. В связи с этим, чем дальше от нас находится аппарат, чем слабее его сигнал, тем медленнее идет с ним обмен информацией (рисунок).

Скорость передачи информации (теорема Шеннона–Хартли):

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right), \quad (1)$$

где C – емкость канала, бит/с; B – полоса пропускания канала, Гц; S – полная мощность сигнала над полосой пропускания, Вт; N – полная шумовая мощность над полосой пропускания, Вт; $\frac{S}{N}$ – отношение сигнала к гауссовскому шуму, выраженное как отношение мощностей.



Рисунок. Отношение сигнал/шум

Энергетический потенциал радиолинии КА–Земля всегда на порядок выше, чем радиолиния Земля–КА, из-за возможности использования на Земле в 100–1000 раз более мощного передатчика, в то время как чувствительность наземного приемника выше, чем у бортового приемника, всего в 10 раз. Это означает, что при одинаковой скорости передачи информации по этим радиолиниям для передачи командно-программной информации можно использовать неоптимальные (асинхронные) методы приема сигналов ради исключения системы синхронизации и повышения тем самым надежности вхождения в связь, а также ради уменьшения массы аппаратуры на космическом аппарате.

В ходе выполнения работы были поставлены следующие задачи:

1. анализ методов передачи телеметрической информации о состоянии системы энергоснабжения КА с учетом условий функционирования КА;
2. анализ факторов, влияющих на качество передаваемой информации;
3. выбор рационального метода передачи.

Литература

1. Гуцин В.Н. Основы устройства космических аппаратов. Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. – С. 217–241.
2. Федоров А.В. Математическая постановка и решение задачи идентификации технического состояния агрегатов и систем ракетно-космических комплексов // Технология машиностроения. – 2009. – № 85(7). – С. 45–49.



Торопова Александра Петровна

Год рождения: 1991

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, группа № V4212

Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика

e-mail: toropa@list.ru



Санталиная Ирина Юрьевна

Год рождения: 1983

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, к.т.н., доцент

e-mail: irina.santalina@yandex.ru



Фокина Мария Ивановна

Год рождения: 1983

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, к.ф.-м.н., доцент
e-mail: mfokina@niuitmo.ru

УДК 664.144, 535.421

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ РАДУЖНЫХ ГОЛОГРАММ НА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

**Торопова А.П., Санталини И.Ю., Фокина М.И.
Научный руководитель – к.т.н., доцент Санталини И.Ю.**

В работе рассмотрена возможность нанесения радужных голограмм на поверхности пищевых продуктов для создания визуально интересных пищевых продуктов без использования красителей. В основе любой радужной голограммы лежит дифракционная решетка, поэтому для проведения исследования была сделана силиконовая форма дифракционной решетки, приготовлены образцы из карамели, шоколада, желатина, проанализировано время деградации дифракционного рельефа.

Ключевые слова: радужная голограмма, съедобная голограмма, карамель, шоколад, желатин, дифракционная решетка.

Предметом настоящего исследования являлась технология нанесения радужных голограмм на поверхность пищевых продуктов. Эта технология позволяет повысить эстетические свойства продуктов и сформировать на их поверхности цветные изображения за счет рельефа, без использования пищевых красителей.

Идея изготовления съедобных радужных голограмм впервые была запатентована в 1987 [1] в США, и предполагала следующие шаги: заливку пищевого материала в форму с рельефом дифракционной решетки, сушку, извлечение из формы. Критерием выбора материала стала его способность передавать и сохранять рельеф дифракционной решетки с периодом 400 лин/мм. К таким материалам были отнесены: экстракт целлюлозы, экстракт пектина, агар-агар, альгин, каррагинин, камедь рожкового дерева, гуммиарабик, сахароза, фруктоза, мальтоза, декстроза, аспартам, мальтодекстрин, сахарин, желатин, альбумин, казеин, фибрин, коллаген. Изготовление пресс-формы для голограмм предполагалось из металла или пластика, в зависимости от того, в каких температурных режимах производилась работа с биополимером.

Свое развитие технология изготовления радужных голограмм получила в патенте [2]. Создание рельефа стало возможным не только путем заливки пищевого материала в форму, но и путем горячего тиснения пресс-формой, а также методом лазерной абляции при облучении поверхности интерференционной картиной. Список материалов пополнился парафином, карнаубским и пчелиным восками, крахмалом, модифицированной целлюлозой, камедью трагаканта и лиственницы, экстрактом корня айвы. Для создания голографических узоров использовались дифракционные решетки с разрешением от 1000 до 7000 лин/мм, а глубина рифления решетки – от 0,5 мкм до 1 мкм.

В патенте [3] носителем голограммы выступила карамель, сваренная из сахара, крахмального сиропа и воды при температурах 140–170°C, и залитая в форму с дифракционной решеткой. В этом случае высота рельефа принимала значения от 1 мкм до 5 мкм, а период решетки составлял 200–1000 лин/мм.

В патенте [4] предложено в качестве материала, передающего голографический рельеф, использовать шоколад. Его расплавляли, темперировали, заливали в форму. После застывания на его поверхности образовывался рельеф, глубина которого составляла 40 мкм–0,5 мм, а шаг решетки – 100~500 мкм. Форма для литья шоколада изготавливалась из металла или пластика, например, из поликарбонатной смолы.

Согласно вышеупомянутым источникам, идея создания съедобной голограммы не нова, исследования по развитию данной технологии проводились в разных странах мира, однако удалось найти только один факт коммерческого применения технологии – это шоколад с радужными голограммами «Holographic chocolate», выпущенный швейцарской фирмой «Morphotonix» в 2012 году [5].

Таким образом, проведение исследований, разработка технологии нанесения радужных голограмм на поверхности пищевых продуктов для повышения их эстетической привлекательности, разработка визуально интересных продуктов без использования красителей представляется актуальной.

В данной работе в качестве основы для создания радужной голограммы рассматривались карамель, шоколад, желатин. В качестве матрицы использовалась силиконовая форма с дифракционной решеткой с периодом 600 лин/мм. В зависимости от материала использовалась либо технология заливки в форму, либо технология горячего теснения.

Для исследования карамели были выбраны три разных основы: фруктоза, изомальт, и смесь сахара, патоки и воды. Из рассмотренных вариантов карамели наименее стабильной оказалась карамель из фруктозы, поскольку дифракционная решетка на ней держалась примерно 5 мин. Образцы из изомальта сохраняли рельеф 24 ч, образцы из сахара, патоки и воды – 27 ч.

Образцы из шоколада были получены следующим способом – шоколад был расплавлен, темперирован, залит в форму с дифракционной решеткой, после отверждения извлечен из формы. Для исследования было выбрано 7 видов шоколада одного производителя. Время сохранности дифракционной структуры различалось в зависимости от процентного содержания какао-продуктов в образце, все образцы находились при комнатной температуре. Так, в образцах с 39% и 49% какао-продуктов решетка сохранялась 5 дней, с 72% – 7 недель, с 75% и 77,7% – 8 недель, с 80% – 11 недель, с 97,7% – 12 недель.

Образцы из желатина были изготовлены следующим способом – кристаллы желатина замочены в воде, растоплены на паровой бане, состав налит на стеклянную поверхность, прижат силиконовой формой. Время выдержки первого образца – 30 мин. В результате получена мягкая, гибкая пленка с видимым радужным эффектом по всей площади образца, однако, спустя 12 ч началась деградация поверхностной решетки, через 24 ч решетка деградировала полностью. Время выдержки для второго образца 24 ч, в результате получена тонкая, твердая, колкая пленка с дифракционной решеткой, время жизни которой составляет более 1 месяца.

Фотографии образцов из карамели, шоколада и желатина приведены на рисунке.

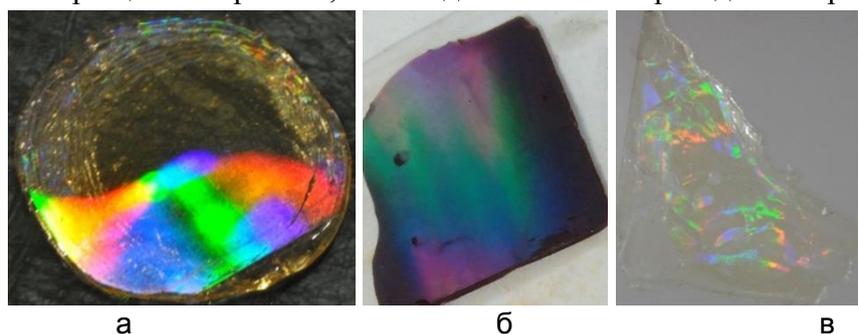


Рисунок. Образцы: из карамели (а); из шоколада (б); из желатина (в)

Для всех рассмотренных материалов причины исчезновения дифракционных решеток различны. Образцы из карамели разрушаются по двум причинам. Во-первых, из-за гигроскопичности материала, т.е. его способности поглощать влагу из воздуха, во-вторых, из-за влаги, содержащейся внутри структуры самой карамели и поднимающейся на поверхность. Структура карамели аморфна. Можно предположить, что добавив в состав карамели структурирующее вещество, получим трехмерную сетку, где все молекулы воды будут находиться в жесткой связке, и не смогут подниматься на поверхность, разрушать дифракционную структуру.

Одной из причин разрушения дифракционного рельефа на поверхности шоколада является его поседение. Проблема поседения – это следствие неправильного темперирования шоколада.

Для того чтобы образцы хранились дольше, необходимо подобрать точный режим темперирования для каждого вида шоколада. Другая особенность шоколада – низкая температура плавления, что несомненно отрицательно сказывается на времени жизни дифракционной решетки. Следует отметить, что увеличение процентного содержания какао – один из путей продления жизни изделия.

На сохранность дифракционной решетки на поверхности желатина оказывает влияние время и условия сушки – образец должен находиться в плотном контакте с силиконовой формой до полного его высыхания.

Таким образом, все рассмотренные материалы могут быть использованы для создания съедобных голограмм. Однако необходимо проведение дополнительных исследований каждого материала для поиска способов повышения времени жизни дифракционной структуры.

Литература

1. Пат. 4668523 США, МПК A23G3/00, A23G3/12. Holographic products / Заявитель и патентообладатель Begleiter E. – № US 4668523; завл. 06.03.1985; опубл. 26.05.1987.
2. Пат. 4668523 США, МПК A23G3/34, A23G1/00. Edible articles that include edible optical elements and methods for producing same / Заявитель и патентообладатель Begleiter E. – № US 2004/0170725A1; заявл. 8.07.2002; опубл. 2.09.2004.
3. Пат. 2005003102A Кореи, МПК A23G3/50. The hologram candy / Заявитель и патентообладатель Kim Si Nan. – № KR 2005003102A; заявл. 03.12.2003; опубл. 01.04.2005.
4. Пат. 2005253340 Японии, МПК A23G3/50. Chocolate with hologram pattern, method for producing the same and mold used for the method / Narasaki Shuichiro, Tamura Kiriko; заявитель и патентообладатель Morinaga & Co Ltd. – № JP 2005253340; заявл. 01.03.2004; опубл. 22.09.2005.
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.morphotonix.com/chocolate>, своб.



Трушкина Анна Владимировна

Год рождения: 1992

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: avtrushkina@corp.ifmo.ru



Рыжова Виктория Александровна

Год рождения: 1966

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, к.т.н., доцент

e-mail: victoria_ryz@mail.ru

УДК 539.16.07

ОБЗОР ПРИБОРОВ И СПОСОБОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ РАДИОНУКЛИДНОГО СОСТАВА ИСТОЧНИКОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Трушкина А.В., Рыжова В.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рыжова В.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов».

В работе проведен обзор существующих типов детекторов частиц для поиска аномалий гамма-излучения в полевых условиях. Выполнен анализ детекторов различных типов с точки зрения производительности и эксплуатационных параметров. Доказана эффективность Si-ФЭУ для решения задачи регистрации радиоактивного излучения.

Ключевые слова: радиоактивное излучение, гамма-спектрометрия, детекторы частиц, счетчики частиц, Si-ФЭУ.

Эффективность оценки радиометрического загрязнения определяется возможностями используемых детекторов, которые фиксируют частицы, идентифицируют их и определяют их характеристики. **Целью работы** являлся обзор и сравнительный анализ детекторов частиц, а также выбор детектора, обладающего наилучшими параметрами производительности и удовлетворяющего эксплуатационным требованиям.

Детекторы частиц различают по методу регистрации, выделяя три группы: ионизационные, твердотельные и сцинтилляционные. При оценке будет использоваться термин энергетическое разрешение – точность определения энергии частицы.

К ионизационным детекторам принято относить только газонаполненные детекторы, простейший из которых – ионизационная камера, представляющая собой систему из двух электродов в объеме, заполненном газом (рис. 1, а).

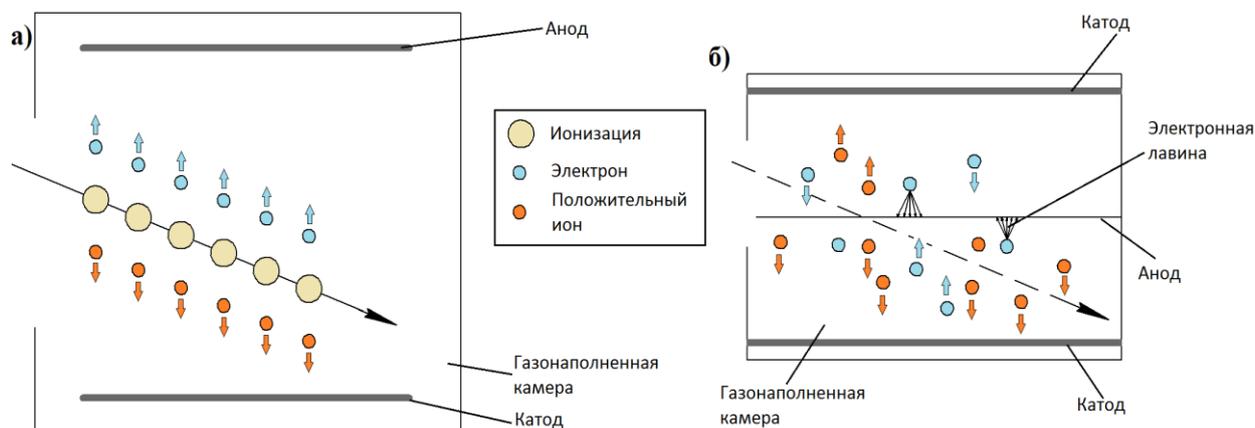


Рис. 1. Принцип работы ионизационных детекторов: ионизационной камеры (а); пропорционального счетчика и счетчика Гейгера–Мюллера (б)

При взаимодействии с частицей молекула среды в электрическом поле ионизируется, и полученная ионная пара составляет электрический сигнал. Недостаток ионизационной камеры – слабые регистрируемые токи, поэтому необходимо использовать высокочувствительное приемное устройство [1].

Пропорциональный счетчик позволяет регистрировать частицы меньших энергий за счет лавинного усиления заряда. Он представляет собой цилиндрический конденсатор, по оси которого располагается анод в виде тонкой металлической нити (рис. 1, б). Регистрируемый сигнал пропорционален энергии, затраченной заряженной частицей на первичную ионизацию среды.

Счетчик Гейгера–Мюллера отличается более высокой разностью потенциалов между анодом и катодом. Он несет информацию о наличии частицы, но не о ее энергии, поскольку при газовом разряде величина тока всегда достигает предельного значения. Гашение счетчика после разряда занимает большое время, делая невозможной регистрацию следующих частиц.

Недостаток ионизационных детекторов – низкая эффективность регистрации высокоэнергичных частиц и невысокое энергетическое разрешение, поскольку для образования ионной пары в газе необходима высокая энергия (30–40 эВ).

Принцип действия полупроводниковых детекторов основан на ионизационных эффектах, однако рабочей средой является твердое тело, которому необходима меньшая энергия для образования пары электрон-дырка (3,72 эВ для кремния [1]). Таким образом, при прочих равных условиях амплитуда сигнала и энергетическое разрешение полупроводникового детектора в 10 раз выше, чем ионизационного [2]. Однако в них накапливаются радиационные дефекты, поэтому их время жизни конечно.

Сцинтилляторы – это вещества с самопроизвольным переходом атомов из возбужденного состояния в основное, сопровождающимся короткой световой вспышкой – сцинтилляцией [3]. Идеальный сцинтиллятор должен удовлетворять следующим критериям:

1. высокая эффективность и линейность преобразования кинетической энергии заряженных частиц в детектируемый свет;
2. среда прозрачна для длины волны собственного излучения;
3. малое время между возбуждением электрона и испусканием фотона;
4. показатель преломления близок к показателю преломления стекла.

Сцинтилляционный метод регистрации частиц заключается в использовании сцинтиллятора, оптически соединенного с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ), усиливающим поток электронов за счет вторичной электронной эмиссии (рис. 2).

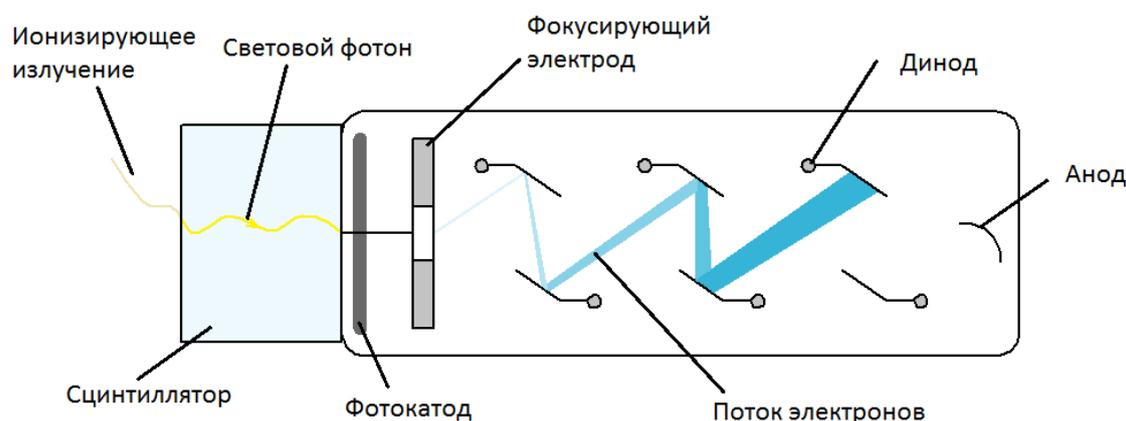


Рис. 2. Регистрация частиц сцинтилляционным методом

Сегодня твердотельные детекторы открывают новые возможности сцинтилляционного метода, будучи компактнее, легче, прочнее, устойчивее к магнитным полям и зачастую дешевле. Их легко объединять в массивы, они обладают низким энергопотреблением, в то же время критерии эффективности у них не ниже или выше, чем у традиционных устройств. Кремниевые лавинные фотодиоды, сопряженные со сцинтиллятором, широко используются как детекторы частиц. Сигнал с одиночного детектора такого типа является двоичным. Объединение их в микропиксельную структуру позволяет достигнуть линейности относительно числа фотонов путем суммирования сигналов с каждой сработавшей ячейки. Такие структуры называют кремниевыми ФЭУ (Si-ФЭУ) [4]. Они обнаруживают единичные фотоны, регистрируют наносекундные вспышки света, обладают высоким усилением, низким уровнем шума, хорошим временным разрешением.

Сравнительный анализ детекторов. Рассмотрев различные типы детекторов, оценим численные параметры их производительности по следующим параметрам:

- эффективность – вероятность регистрации частицы;
- временное разрешение – минимальное время, в течение которого регистрация двух частиц фиксируются как отдельные события;
- «мертвое время», в течение которого детектор после регистрации частицы теряет способность к регистрации следующей частицы.

Указанные параметры приведены в табл. 1 [4].

Таблица 1. Показатели производительности детекторов

Тип детектора	Эффективность	Временное разрешение	Мертвое время
Ионизационная камера	Низкая	1 мкс	10 мкс
Пропорционный счетчик	Средняя	100 нс	100 мкс
Счетчик Гейгера	Высокая	1 мкс	10 мкс
Сцинтиллятор	Высокая	1 нс	10 нс
Твердотельный детектор	Высокая	1 нс	1 нс

Очевидно, что ионизационные детекторы существенно уступают в производительности сцинтилляционным и твердотельным. Продолжим анализ, рассмотрев эксплуатационные параметры детекторов (табл. 2).

Таблица 2. Эксплуатационные параметры детекторов

Параметр	Ионизационный	Полупроводниковый	Сцинтилляционный	
			ФЭУ	Si-ФЭУ
Размеры, мм	~137×33×15	~105×43×19	~20×80	от 1×1
Вес, г	~60	~60	~30	~1
Термоустойчивость	Высокая	Низкая	Высокая	
Радиационная устойчивость	Высокая	Низкая	Высокая	
Стоимость, у.е.	~590	~85	~250	от 80

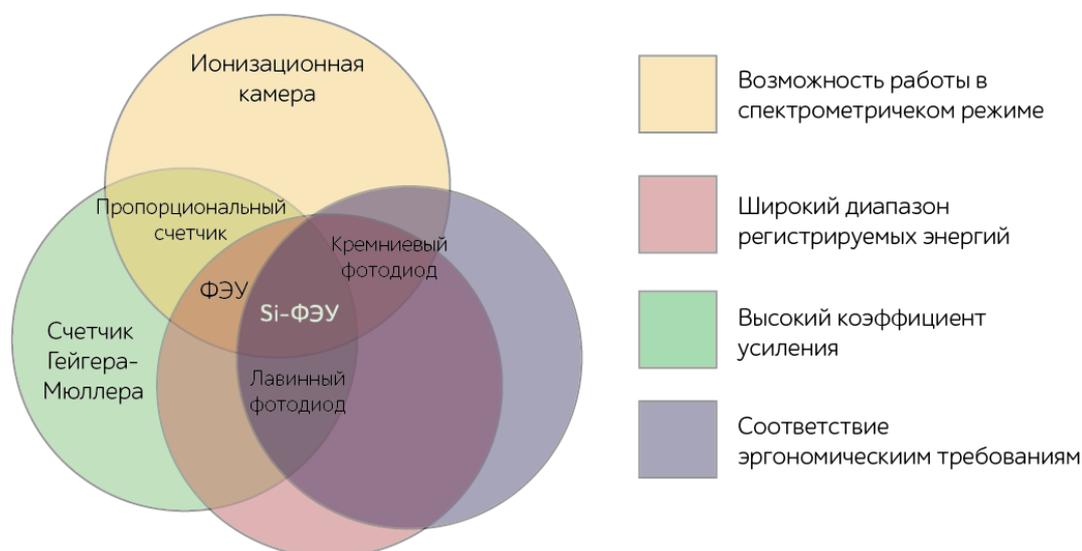


Рис. 3. Сочетание возможностей Si-ФЭУ делает его наиболее эффективным для задачи детектирования ионизирующих частиц

Из приведенного анализа, очевидно, что наиболее широкие возможности при регистрации радиоактивного излучения позволяет реализовать Si-ФЭУ (рис. 3), который обладает высокой производительностью и удовлетворительными эксплуатационными параметрами. Таким образом, Si-ФЭУ является наиболее перспективным типом детектора радиоактивных частиц.

Литература

1. Блументаль Г., Энгельс З., Фиц И., Хабердитцль В. и др. Аноганикум. В 2 т. – Т. 2 / Под ред. Кольдеца. – М.: Мир, 1984. – 632 с.
2. Голодных Е.В. Обзор детекторов гамма-излучения для контроля положения ствола горизонтальной скважины // Вестник науки Сибири. – 2013. – № 1(7). – С. 129–138.
3. Knoll G.F. Radiation Detection and Measurement. – 4th Ed. – Wiley, 2010. – 860 p.
4. Акимов Ю.К. Фотонные методы регистрации излучений. – Дубна: ОИЯИ, 2014. – 323 с.



Хорошева Екатерина Александровна

Год рождения: 1991

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: katja_met@mail.ru



Толстоба Надежда Дмитриевна

Год рождения: 1975

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., доцент

e-mail: nadinet@mail.ru

УДК 681.7

ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ КРУПНОГАБАРИТНАЯ ОСВЕТИТЕЛЬНАЯ ОПТИКА ДЛЯ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

Хорошева Е.А., Толстоба Н.Д.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Толстоба Н.Д.

В работе рассмотрен аналитический обзор существующих осветительных фонарей Российской Федерации, приведены их технические характеристики.

Ключевые слова: маяки, осветительная оптика, фонари, световые огни.

Россия начала строить маяки со времени основания регулярного Российского флота, т.е. с конца XVII века. К моменту распада СССР на его берегах насчитывалось 554 световых маяка, 228 радиомаяков и 2156 светящих знаков [1, 2].

В 1993–1995 годах образовавшимся в результате распада СССР самостоятельным республикам был передан 151 световой маяк, 8 ремонтно-восстановительных баз, а также большое число радиомаяков и других средств навигационного оборудования.

Всеми вопросами маячного строительства в России, а затем в СССР занималась Гидрографическая служба ВМФ, которой в 1997 году исполнилось 170 лет. Это ей в первую очередь принадлежит заслуга в создании системы навигационного ограждения опасностей на побережье морей некогда огромной Российской империи, а затем Советского Союза.

Гидрографическая служба планировала возведение маяков, разрабатывала и осуществляла экспертизу проектов маячных сооружений, контролировала строительство и, наконец, руководила эксплуатацией всей системы средств навигационного оборудования.

Большинство маяков сохранили свою работоспособность по настоящее время и служат нам по сей день.

После анализа литературных источников и открытых научных данных, были найдены:

- на побережье Каспийского моря 18 рабочих маяков;
- Северного и Восточного побережья Черного моря и побережья Азовского моря 55 маяков;
- Финского залива и Восточного побережья Балтийского моря 49 маяков;
- Тихоокеанского побережья России 25 маяков;
- Белого и Баренцева морей 25 маяков;
- Scotland & England 42 маяка;
- Estonia, Latvia 36 маяков;
- побережья San Francisco 12 маяков;
- South ERN lake Michigan в США 23 маяка.

Осветительные фонари различают по месту установки:

- береговые;
- морские или плавучие.

По своему назначению маяки подразделяются на опознавательные и створные (обозначающий на местности узкую зону или полосу для прохождения по ней судов).

Основной частью каждого маяка является фонарь диаметром от 1,5 до 4 м. Маячные фонари обычно имеют цилиндрическую форму. Внутри фонаря устанавливается осветительный аппарат, состоящий из оптического устройства и источника света.

Высота башни береговых маяков Черного моря в среднем составляет 21 м, наибольшая высота у Херсонесского маяка (рисунок, а) – 36 м. Он был основан в 1816 году, дальность действия белого огня маяка составляет 16 миль, что составляет 25,7 км. Маяк снабжен радиомаяком КРМ-300.



а



б

Рисунок. Херсонесский маяк (а); Геленджикский створный маяк (б)

Наименьшая высота башни у Геленджикского створного маяка (рисунок, б) – 13 м, свет виден на расстоянии 15 км.

В ходе исследования было установлено, что дальность действия огня осветительных фонарей опознавательных маяков Черного моря составляет от 15 миль (24 км) до 22 миль (36 км), а створных маяков составляет не более 15 миль (24 км).

Известно, что дальность видимости является важным критерием распознавания сигнала маяка для морского транспорта в любые погодные условия. Данная работа посвящена исследованию недостатков оптической системы маяка с дальнейшей возможностью оптимизации. Исследования показывают, что маяки нужны и в настоящее время, так как средства связи являются новыми средствами и до конца не изучены.

Около половины оптических маяков являются автоматизированными и оснащены радиомаяками.

Оптическая крупногабаритная конструкция маячного фонаря является надежной. На протяжении ста лет конструкция маячной линзы не претерпевала изменений.

После анализов были найдены предприятия, занимающиеся изготовлением, обслуживанием навигационных огней, знаков и маяков такие как: ООО «Производственная организация ЭДМ» г. Североморск, ОАО НПГ «Навидал» в г. Санкт-Петербург, ООО «МАРО Лайтинг» (Maro Lighting Ltd) в г. Санкт-Петербурге, ремонтный завод технических средств кораблевождения в г. Ломоносов и 12 предприятий по всему миру.

Таким образом, было выявлено, что в настоящее время маяки широко используются как в России, так и по всему миру. Каждый маяк находится под наблюдением военно-морского флота или других военно-морских организаций.

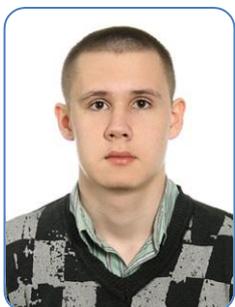
Литература

1. Комарицын А.А., Корякин В.И., Романов В.Г. Маяки России. Исторические очерки. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 2001. – 518 с.
2. Митин Л.И., Орлова Г.И. Маяки Черноморья. – Севастополь, 1997. – 163 с.



Черкасова Дина Николаевна

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., доцент
e-mail: cherkasovarjev@gmail.com



Дмитрик Сергей Владимирович

Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4201
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника
e-mail: dmitrik.sergei@mail.ru

УДК 621.383.7

КОМПОЗИЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИБОРА ОБНАРУЖЕНИЯ НАБЛЮДАТЕЛЯ ПО СВЕТОВОМУ БЛИКУ

Черкасова Д.Н., Дмитрик С.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Черкасова Д.Н.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 610749 «Проектирование и экономическое обоснование оптических систем для фундаментальных и прикладных исследований».

В ходе работы разработаны варианты композиции патентоспособных приборов и составной системы для обнаружения скрытого наблюдателя по световым бликам, как от его прибора, так и от его глаза. Обоснованы теоретические основы принципиальной оптической схемы обнаружения наблюдателя по световым бликам. По результатам работы изготовлен действующий макет специализированного прибора, проведен эксперимент, подтверждающий работоспособность составной системы на основе штатной экипировки операторов.

Ключевые слова: роговица, роговичный блик, снайпер, оптический прицел, целеуказатель, составная система, антиснайпер, обнаружение снайпера.

Актуальность работы определяется особенностями ведения современных локальных войн и городских полицейских операций. Анализ интернет-источников показал, что разработка систем обнаружения наблюдателей по световому блику от фронтальной поверхности прицела интенсивно ведется в России, Франции, США и Германия [1]. Световой блик (энергетический) – это изображение источника освещения, наложенное на рабочую картину на сетке прицела оператора. Оператор – это опознаватель скрытого наблюдателя.

Известен патенточистый способ и устройство для обнаружения наблюдателя по роговичному блику [2]. В данной работе ставится цель – использовать оба типа бликов. Реализация такого способа требует создания специальных приборов «Антиснайпер». Постоянно сохраняется опасность демаскировки и подавление оператора. Возникающая картина бликов может оказаться неоднозначной. Такой тип устройств решает две задачи: создание интенсивного первичного волнового фронта и регистрацию бликов вторичного волнового фронта. Всегда стоит задача увеличения интенсивности вторичного волнового фронта и устранения неоднозначности картины.

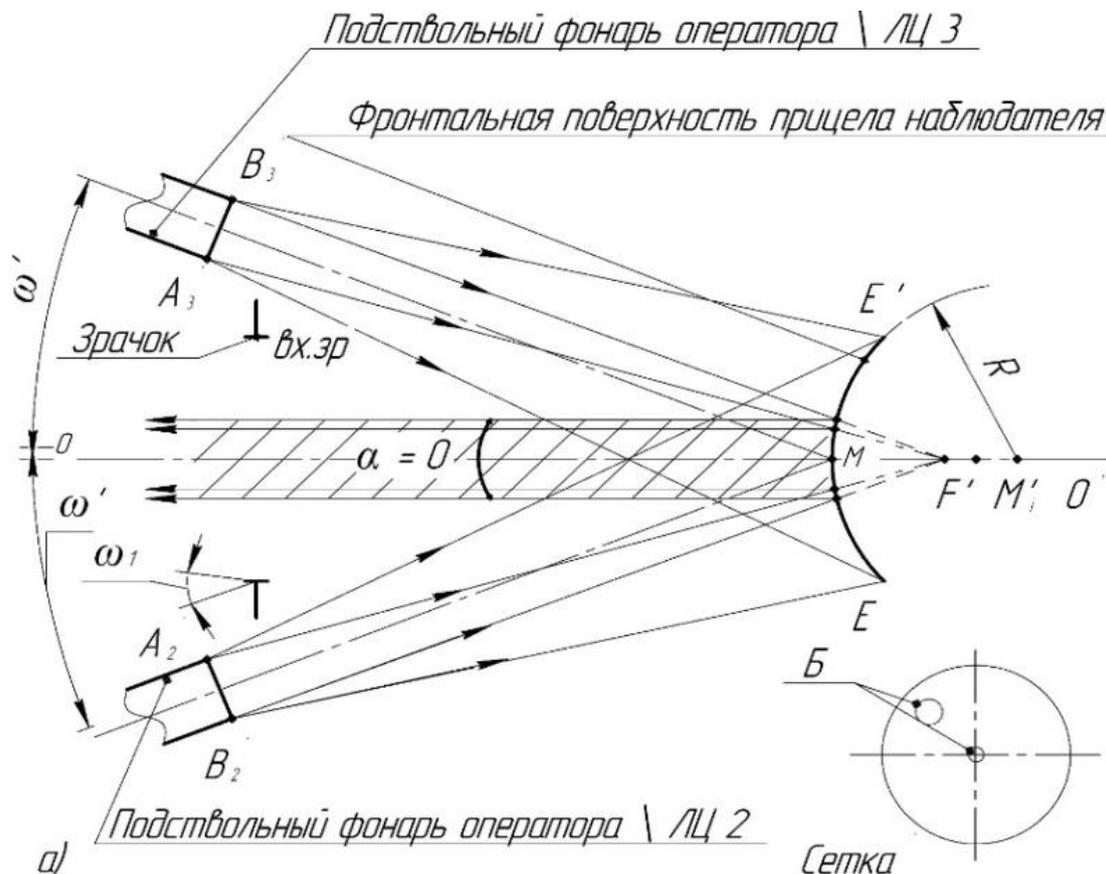


Рис. 1. Обнаружение по блику от фронтальной поверхности объектива

На рис. 1 схематически представлено возникновение бликов в поле зрения оператора в момент обнаружения скрытого наблюдателя, вооруженного оптическим прибором. Если в выбранном месте расположена фронтальная поверхность оптического прибора, то она зеркально отразит пучки лучей первичного светового потока. Возникнет вторичный световой поток. Лучи, которые пересекаются в заднем фокусе этого зеркала, отразившись, однозначно пойдут параллельно оптической оси прибора: в центре сетки прицела оператора возникает световой блик Б.

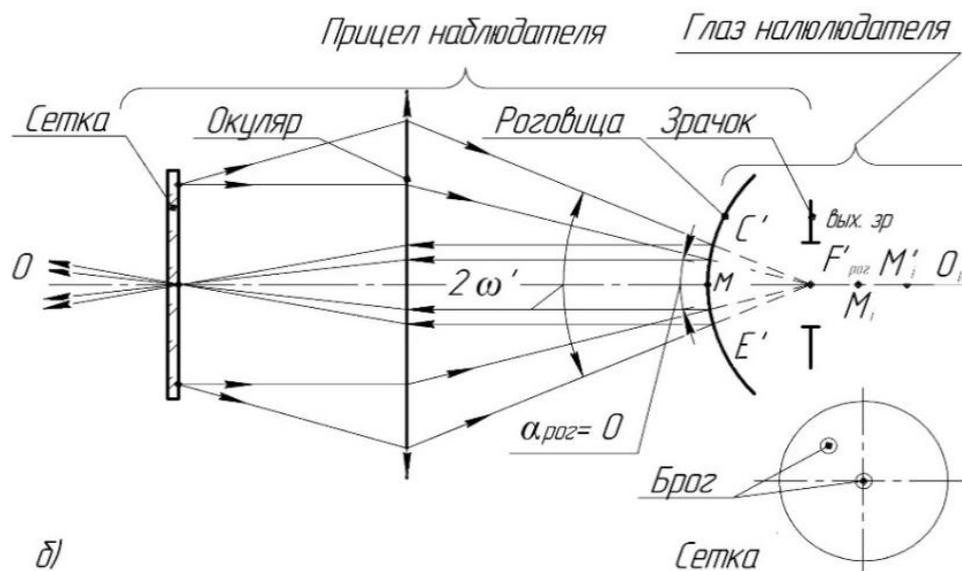


Рис. 2. Образование блика от роговицы скрытого наблюдателя

На рис. 2 показано образование блика от роговицы скрытого наблюдателя. Если угол наклона двух первичных волновых фронтов меньше угла поля оптических прицелов наблюдателя и оператора, то они пройдут через оптический прибор наблюдателя. В данной схеме часть первичных волновых фронтов выйдут через окуляр оптического прибора последнего и пересекутся в зрачке глаза наблюдателя, если последний визирует. Главные лучи, частично отразившись зеркально от передней поверхности роговицы, образуют плоский вторичный волновой фронт, так как передний фокус роговицы как зеркала, так и зрачок глаза примерно совпадают. Возникает плоский волновой фронт, направленный навстречу первичному волновому фронту. Он пройдет полностью через составную систему, и в центре сетки прибора наблюдателя возникнет роговичный блик $B_{рог}$ в виде точечного объекта попадут и интенсивность суммарного блика возрастет в поле зрения оператора.

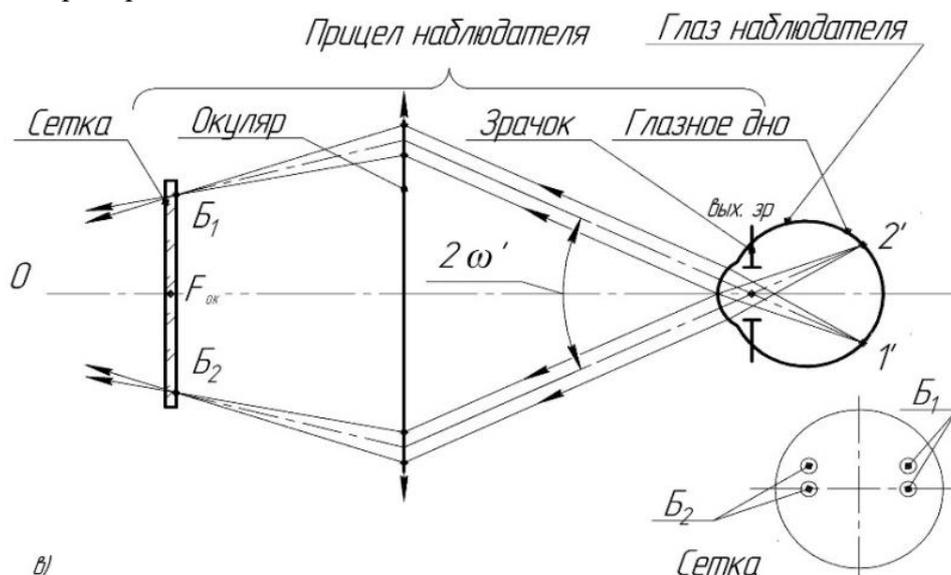


Рис. 3. Образование блика от глазного дна скрытого наблюдателя

На рис. 3 представлено образование блика от глазного дна скрытого наблюдателя. Большая часть первичных волновых фронтов выйдет через окуляр оптического прибора на глазное дно, сформируются изображения тел накала осветительной системы. Поскольку глазное дно наблюдателя диффузно отражает, эти изображения превращаются в самосветящиеся объекты и формируют два вторичных волновых фронта, выходящие в

сторону оператора. На сетке его прицела и на сетке оператора появляются два световых блика. Таким образом, оператор обнаружит скрытого наблюдателя. При совмещении задачи обнаружения наблюдателя, смотрящего в оптический прибор, с задачей огневого подавления этого наблюдателя опознаватель одновременно изготавливается к стрельбе и стреляет на поражение. Обязательным условием композиции, как специализированных приборов, так и составной системы является формирование первичных волновых фронтов, оптические оси которых наклонены в пределах угла поля прицела наблюдателя.

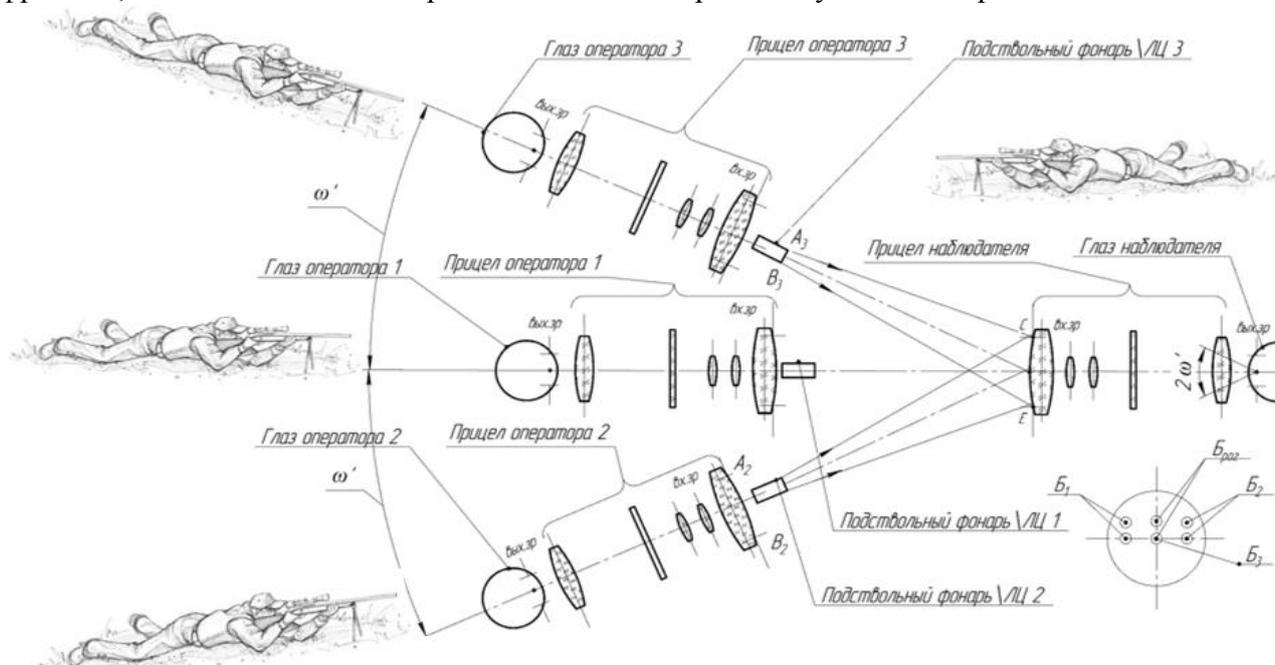


Рис. 4. Патентоспособная составная оптическая система способа обнаружения наблюдателя

Одним из возможных технических решений является использование штатного оборудования группы операторов, в котором предусматривается прицельный комплекс, состоящий из оптического прицела подствольного фонаря и целеуказателя. Предлагается применять специальные насадки с клиновыми компенсаторами. Эти насадки могут устанавливаться на подствольный фонарь или лазерный целеуказатель прицельного комплекса оператора. После прицеливания и установки данной насадки требуется уменьшать угол до тех пор, пока не появится возможный блик от первой поверхности прицела или глаза наблюдателя, однако, и в этом случае сохраняется опасность обнаружения.

Практический интерес представляет следующий патентоспособный способ, схема которого представлена на рис. 4. Три вооруженных оператора-снайпера располагаются таким образом, что оператор-антиснайпер просто смотрит в свой прицел, а два других оператора организуют освещение с помощью подствольных целеуказателей и своих прицелов.

Экспериментальное опробование включило в себя разработку действующего макетного образца на приборной базе кафедре ПиКО Университета ИТМО и покупных изделий: прицела, лазерных целеуказателей, клиновых компенсаторов. По результатам работы готовится заявка на предполагаемое изобретение.

Литература

1. Рязанов О.Е. Законы снайперской войны. – М.: Военный горизонт, 2002. – 232 с.
2. Георгиади В.В., Демин А.В., Карасева И.А., Лукашвили В.А., Нечипоренко В.В., Черкасова Д.Н. Способ регистрации зрачка глаза и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2208377, приоритет от 23.04.2001.



Шемигон Татьяна Николаевна

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4102

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника

e-mail: Shtn3008@mail.ru



Багдасарова Ольга Васильевна

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., доцент

e-mail: balexol@yandex.ru

УДК 535.317

**СВЕРХШИРОКОУГОЛЬНЫЕ ОБЪЕКТИВЫ С УГЛОВЫМИ ПОЛЯМИ
В ПРОСТРАНСТВЕ ПРЕДМЕТОВ ДО 200 ГРАДУСОВ И БОЛЕЕ**

Шемигон Т.Н., Багдасарова О.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Багдасарова О.В.

В работе проведен аналитический обзор сверхширокоугольных оптических систем, в том числе зеркально-линзовых для формирования изображения в пределах полусферы и сферы, разработанных в период с 70-х годов прошлого столетия до настоящего времени. Рассмотрены законы формирования изображения в таких системах.

Ключевые слова: широкоугольные (сверхширокоугольные) объективы, законы формирования изображения, цилиндрический формат, сферический формат.

В последние годы все большее распространение находят сверхширокоугольные объективы с полем зрения около 180° и панорамные объективы, имеющие поле зрения по горизонту 360° и по углу места $20\text{--}30^\circ$ [1].

Создание сверхширокоугольных фотографических объективов, пригодных для измерительных целей, является сложнейшей задачей вычислительной оптики. Это в достаточной степени объясняется тем, что при разработке широкоугольных объективов (в отличие от объективов неширокоугольных) приходится сталкиваться с необходимостью обеспечения достаточно высокой освещенности изображения на краях поля. Следует отметить, что в таких системах присутствуют аберрации, поддающиеся устранению только при применении специальных методов, в частности, при обращении к композициям симметричных и полусимметричных систем, а также к использованию электронной компенсации дисторсии.

Наибольшее применение сверхширокоугольные и панорамные объективы нашли в фотографии. В художественной фотографии они используются при съемке спортивных и рекламных сюжетов, при пейзажной и архитектурной съемке; в документальной и технической фотографии – при фотографировании внутри тесных помещений: резервуаров, трубопроводов, котлов, каналов; в метеорологических и астрономических исследованиях – для фотографирования больших пространств, ледников, облачности; в геодезии – для составления планов, быстрого нивелирования. Сверхширокоугольные и панорамные объективы используются также для приборов визуальных или с проекционным экраном. Такие приборы служат для обзора внутренних ограниченных объемов или для наблюдения из них. Приборы, оснащенные специальной сеткой, могут применяться для измерительных целей [1].

Широкоугольные (сверхширокоугольные) объективы. Первые фотографии с изображением пространства в пределах поля зрения 180° опубликованы Р. Вудом в начале нашего столетия. Они были получены с помощью камеры обскура, заполненной водой, которую Вуд назвал «камерой с рыбой точки зрения». Необычность этих снимков заинтересовала оптиков. Уже в 1924 г. Р. Хиль создал «небесный» объектив с полем зрения 180° . Позднее такие объективы получили название «рыбий глаз» («Fisheye»). Большая часть их разработана в Японии, в частности фирмами: Nikkor, Sigma, Olympus. Ряд конструкций сверхширокоугольных объективов создан в США, СССР и т.д. Примерами объективов «рыбий глаз» могут служить немецкие объективы фирмы Zeiss, отечественные объективы типа «Зодиак» [1].

Такие объективы сложны по конструкции. Они содержат 9–12 компонентов, объединенных в 6–9 групп. Передние 2–3 компонента выполнены в виде отрицательных менисков, обращенных к объективу. Они обеспечивают широкий угол поля зрения, т.е. позволяют захватить и направить в объектив пучки лучей, входящие под большими углами. У фотообъективов диаметр первого мениска достигает от 80 до 240 мм, а у объективов, работающих с ПЗС-матрицами, диаметры небольшие (до 50 мм). Последующие компоненты составляют обычный объектив, внутри которого расположена апертурная диафрагма, и нередко установлены также светофильтры. Максимальное диафрагменное число объективов составляет от 2,8 до 5,6 [1].

Классические сверхширокоугольные объективы строятся обычно по закону ортоскопической проекции. Размер изображения y' определяется как [2]

$$y' = f' \operatorname{tg} \omega,$$

где f' – фокусное расстояние объектива; ω – угол, образуемый главным лучом в пространстве объектов с оптической осью.

На рис. 1, а, представлено изображение концентрических равноотстоящих полуокружностей при ортоскопическом законе проецирования.

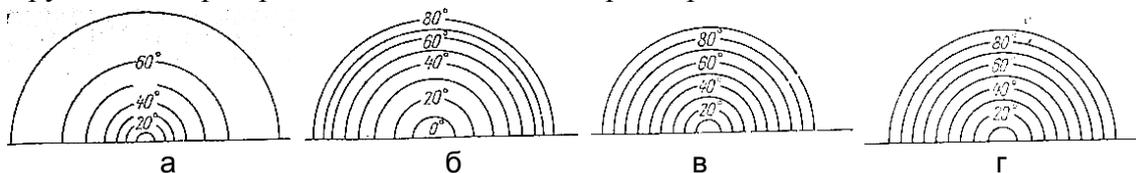


Рис. 1. Изображение концентрических равноотстоящих полуокружностей при разных законах проецирования: ортоскопическом (а); ортографическом (б); равнопромежуточном (в); выравненном (г) (цифрами указаны значения углов)

Ортографическая проекция характеризуется соотношением [3]

$$y' = f' \sin \omega$$

и позволяет получить угол поля зрения $2\omega = 180^\circ$. Изображение в центральной части поля, до угла $\omega = 50\text{--}60^\circ$, имеет наиболее крупный масштаб; периферийная зона поля, более $\omega = 70\text{--}80^\circ$, сильно сжата (рис. 1, б). Объективы с ортографической проекцией используются в художественной фотографии. Примером такого объектива может служить «Fisheye-Nikkor OP» (180° , 5,6/10) [1].

Равнопромежуточное изображение отвечает условию [2]

$$y' = f' \omega.$$

По закону, близкому к равнопромежуточной проекции, строят изображения объективы «Kowa Fisheye» (180° , 4,5/19), «Nikkor-Fisheye» (220° , 2, 8/6). Такие объективы наиболее пригодны для изменения углов между объектами в горном деле, астрономии, строительстве [1].

Интересный объектив, строящий изображение в соответствии с проекцией [1]

$$y' = 2f' \sin \frac{\omega}{2},$$

предложен японской фирмой «Minolta». Объективы, построенные по закону выравненной проекции, используются в основном для получения необычных эффектов в художественной фотографии.

Как правило, реальные объективы не обеспечивают в точности тот или иной закон проецирования [1].

Следует отметить, что сверхширокоугольные линзовые оптические системы могут быть использованы для наблюдения панорамного изображения с панорамированием в пределах 360° . Круговой обзор может быть сформирован в двух форматах: цилиндрическом и сферическом.

Цилиндрический формат предусматривает обзор по углу места в пределах от нескольких градусов до нескольких десятков градусов относительно линии горизонта. Изображение получается в виде кольца, ширина которого зависит от конструкции объектива и углового поля в пространстве предметов по вертикали. Кольцевое изображение может быть декодировано в прямоугольный формат [4].

Сферический формат может предусматривать обзор пространства предметов в пределах полусферы и сферы. В этом случае изображение в виде круга формируется линзовыми объективами, например, типа «рыбий глаз» с угловым полем по углу места до 180° . Этой величины поля достаточно для декодирования в прямоугольный формат наблюдаемого в пределах полусферы пространства [4].

Для обзора со сферическим форматом изображения в пределах полусферы разрабатывались зеркально-линзовые объективы сложной конструкции.

Особый интерес представляет зеркально-линзовый объектив, принципиальная схема которого изображена на рис. 2. Объектив обладает интересными свойствами. Он дает прямое, неперевернутое изображение, не имеет виньетирования, обладает одинаковой светосилой по всему полю зрения и высоким качеством изображения в пределах всего поля. Объективом можно производить съемку на воздухе, в воде или в какой-либо другой среде, при этом поле зрения в пространстве предметов остается неизменным и равным 180° [1].

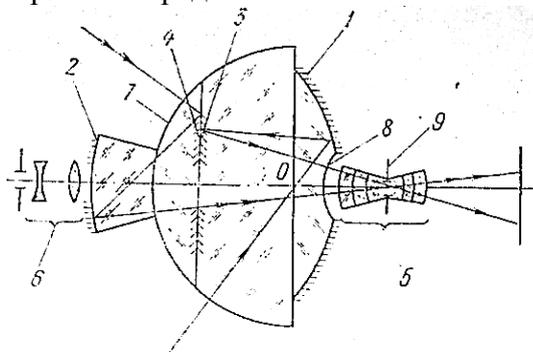


Рис. 2. Принципиальная оптическая схема зеркально-линзового объектива с полем зрения 180°

Объектив с фокусным расстоянием 13 мм имеет диаметр изображения 60 мм и задний отрезок 50 мм. Объектив содержит передний отрицательный зеркально-линзовый компонент 1–4, задний положительный линзовый компонент 5, роль которого выполняет объектив типа «Сферогон», и дополнительную линзовую систему 6. Передний компонент состоит из вогнутого первичного зеркала 1, вогнутого вторичного зеркала 2 и двух плоских зеркал 3, 4. Эта система зеркал выполнена из оптического стекла как монолитный блок, входная 7 и выходная 8 поверхности которого сферические. Центр первой совмещен с центром входного зрачка (точка O), а центр второй – с центром выходного зрачка (диафрагма 9). Зеркала 1, 3 строят изображение кольцевого панорамного пространства в пределах 360° по горизонту и 55° по высоте (от линии горизонта). Зеркала 4, 2 строя изображение также в виде кольца по высоте от 55° до 80° . Центральную часть поля зрения диаметром 20 создает линзовая система

б совместно с менисковой линзой, которую образует центр зеркально-линзового компонента, лишенный зеркальных покрытий [1].

С развитием цифровых технологий и появлением ПЗС-матриц возникла необходимость разработки новых и использования известных композиций оптических систем широкоугольных и сверхширокоугольных объективов, работающих совместно с матричными приемниками. Развитие цифровой техники позволило получать неискаженные, с точки зрения дисторсии, изображения.

Проведенные исследования различных типов разработанных объективов, построение изображений в которых происходит по различным функциональным зависимостям, зачастую для сверхширокоугольных систем, переходящих из одного вида в другой при росте поля, дали возможность оперативного решения ряда вопросов инженерного порядка, в частности, разработки систем панорамного обзора, обеспечивающих наблюдения по азимуту 360° , а по углу места до полусферы и сферы. Интересно отметить, что возможность электронной компенсации дисторсии в таких объективах позволяет обеспечить перевод цилиндрического (полусферического) формата изображения в прямоугольный. Это справедливо также и для представленных линзовых систем.

Литература

1. Гончаренко Е.Н., Осипова Л.П., Томилин М.Г. Объективы для широкоугольной и панорамной съемки // ОМП. – 1979. – № 1. – С. 26–33.
2. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов. Учебное пособие для вузов. – Л.: Машиностроение, 1966. – 564 с.
3. Тарабукин В.В. Расчет особоширокоугольных фотографических систем // ОМП. – 1974. – № 3. – С. 29–32.
4. Архипова Л.Н., Багдасаров А.А., Багдасарова О.В., Шевченко Д.Н. Панорамные системы кругового обзора // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83. – № 6. – С. 20–31.



Шкавро Анастасия Игоревна

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем; группа № В4207

Направление подготовки: 12.04.02 – Оптехника

e-mail: ana-shkavro@yandex.ru

УДК 635-154, 631.547

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАКЕТА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ФИТОИСТОЧНИКА НА ОСНОВЕ ИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

Шкавро А.И.

Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. Чертов А.Н.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов» и при частичной государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (Госзадание 2014/190).

На сегодняшний день разработки в области освещения растений вызывают большой интерес в сфере сельского хозяйства и агропромышленности. Актуален вопрос эффективного круглогодичного выращивания различных культур, соотносимый с доступностью реализации. Настоящая работа

посвящена исследованию и разработке макета имитатора солнечного излучения для растений для стимулирования роста и созревания плодов.

Ключевые слова: управляемый источник излучения, излучающий диод, спектр излучения, эффективность выращивания.

Решения современного рынка в сфере освещения растений весьма разнообразны. Широкий круг производителей предлагает большой ассортимент разработок, в разной степени отвечающих вопросам эффективного освещения растений. Однако существующие системы и устройства, предназначенные для дополнительного освещения культурных растений, используют минимальное количество пиков в спектральном составе своих источников излучения (ИИ), что не позволяет реализовать качественное световое питание растений [1–3].

Кроме того, спектральная чувствительность различных культур и сортов растений, также как и условия их выращивания в различных климатических зонах, отличаются, поэтому необходимо иметь возможность осуществлять подстройку спектрального состава и интенсивности излучения фитоисточника в зависимости от задачи.

Целью работы являлось создание управляемого источника излучения на основе излучающих диодов (ИД) для культурных растений.

Была разработана обобщенная схема построения оптико-электронной системы освещения растений (ОЭС ОР), представленная на рис. 1, включающая многокомпонентный светодиодный источник, блок управления, персональный компьютер, датчики контроля излучения и видеокамеру (опционально).

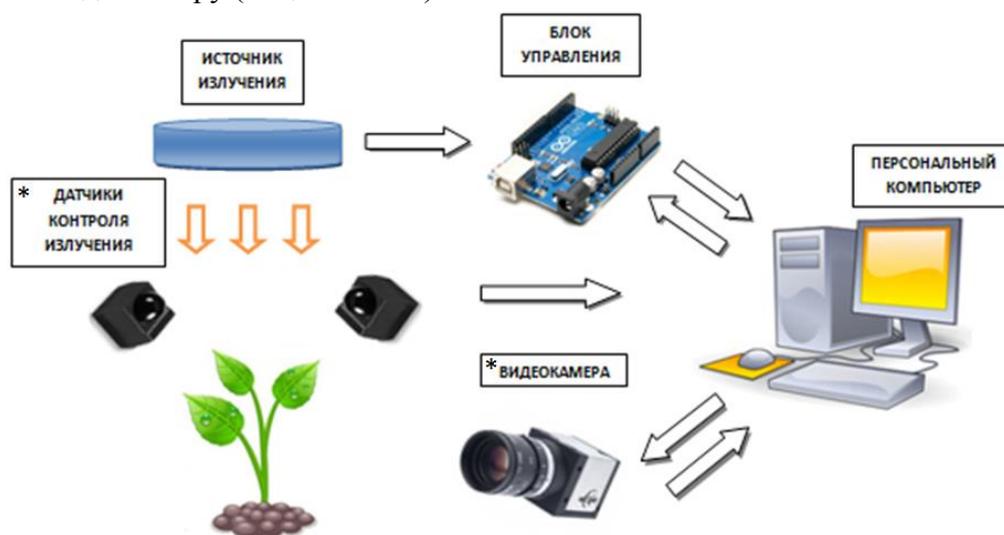


Рис. 1. Обобщенная схема и принцип действия ОЭС ОР

Отличительными особенностями такого решения являются:

- возможность регулировки по спектральному составу и интенсивности излучения в зависимости от выращиваемой культуры;
- возможность подстройки параметров излучения под определенную стадию роста и развития растения.

Принцип работы ОЭС ОР заключается в освещении объекта светодиодным источником с суммарным спектром разных длин волн так, чтобы излучение было наиболее приближено к спектральной чувствительности растения. Для калибровки осветительной части системы используется блок управления, реализованный на плате Arduino, подключенный к персональному компьютеру.

Управление фитоисточником осуществляется как по яркости, так и по спектральному составу, что позволяет настраивать его под разные виды культурных растений. В качестве контроля параметров излучения возможно применение фотодиодных датчиков, а

видеокамера является элементом контроля формы и качества «органов» растения, для определения реакции на тот или иной спектральный состав излучения.

На основании предварительных экспериментальных исследований были выбраны пять ИД в спектральном диапазоне от 380 нм до 750 нм (три чиповых светодиода фирмы «Arlight» и два линзовых светодиода фирм «Bentlux Electronics» и «Foryard»), по своим параметрам и характеристикам удовлетворяющие требованиям для создания макета фитоисточника. Были измерены их параметры, а также построены модели и характеристики. Также на основании графиков спектральных характеристик ИД был смоделирован рабочий спектр разрабатываемого источника излучения.

На основании полученных результатов был разработан макет источника излучения с использованием макетной платы и светодиодов фирм «Arlight», «Bentlux Electronics» и «Foryard». Результат компьютерного моделирования представлен на рис. 2. Геометрия расположения ИД позволяет обеспечить равномерное облучение зоны роста растения. В конструкции также предусмотрены рассеиватели, которые способствуют качественному смешению цвета.

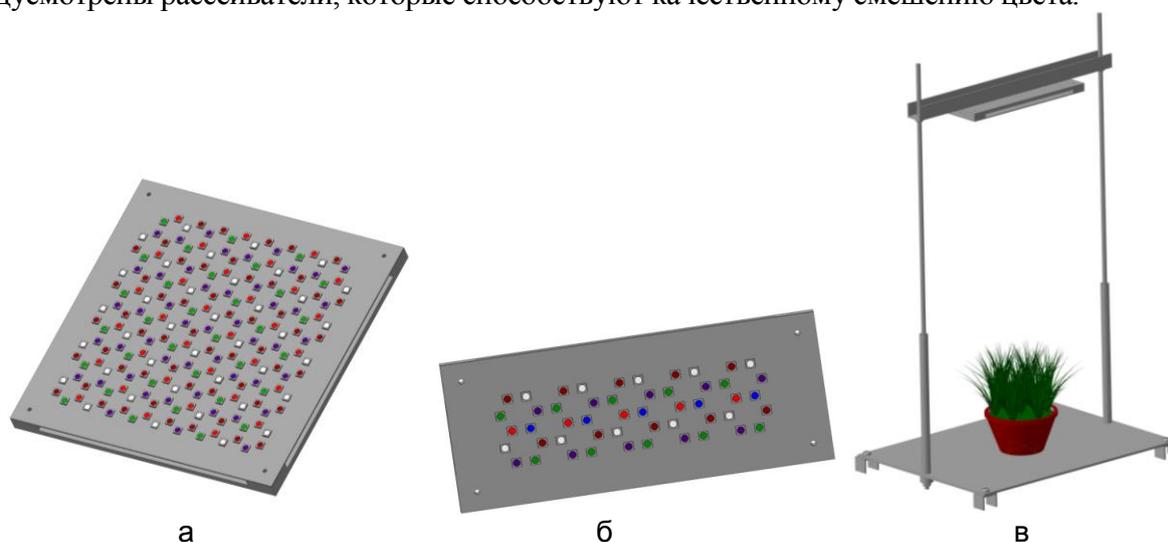


Рис. 2. Макет блока источника излучения на базе светодиодов: основная плата (а); макет кластера источника излучения на базе светодиодов (б); макет ОЭС ОР (в)

Однако, как видно из рис. 2, а, реализация платы довольно сложна из-за большого количества источников излучения. Было принято решение реализации сектора (кластера) источника излучения, представленного на рис. 2, б.

Конструкция макета, отображенная на рис. 2, в, состоит из крепежной платы, которая базируется при помощи двух шпилек и двух стоек к столу, на котором располагается объект. Благодаря конструкции ОЭС ОР расстояние между кластером источника излучения, может регулироваться от 200 до 520 мм. Плата кластера совмещается с корпусом благодаря четырем крепежным отверстиям, расположенным на площадках, вынесенных на расстояние 10 мм от уровня основания корпуса, что позволяет свободно разместить провода питания.

Особенностью является возможность «стыковки» светодиодных блоков ОЭС ОР при необходимости освещения большей площади. Сборка осуществлена при помощи крепежных винтов.

В дальнейшем планируется разработать программное обеспечение в среде LabVIEW для управления ОЭС ОР, а также провести экспериментальные исследования макета.

Разработанное в ходе настоящей работы техническое решение предназначено к использованию:

- в исследованиях, направленных на изучение спектральной чувствительности различных сортов культурных растений, с целью повышения эффективности процесса их выращивания;
- в агропромышленности – для освещения культурных растений с целью стимулирования их роста, развития и созревания плодов.

Литература

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2006. – 972с.
2. Протасова Н.Н., Уеллс Дж.М., Добровольский М.В., Цоглин Л.Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения // Физиология растений. – 1990. – Т. 37. – Вып. 2. – С. 386–396.
3. Аверчева О.В., Бассарская Е.М., Жигалова Т.В., Беркович Ю.А., Смолянина С.О., Леонтьева М.Р., Ерохин А.Н. Фотохимическая и фосфорилирующая активность хлоропластов и мезоструктура листьев китайской капусты при выращивании под светодиодами // Физиология растений. – 2010. – Т. 57. – № 3. – С. 404–414.



Шумова Мария Александровна

Год рождения: 1994

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники и оптоинформатики, группа № V4200

Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика

e-mail: maria.shumova2010@yandex.ru



Чивилихин Сергей Анатольевич

Год рождения: 1947

Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники и оптоинформатики, к.ф.-м.н., ст.н.с.

e-mail: sergey.chivilikhin@gmail.com

УДК 532.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА СТЕНКУ СОСУДА И ЕГО ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

Шумова М.А., Чивилихин С.А.

Научный руководитель – к.ф.-м.н., ст.н.с. Чивилихин С.А.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615894 «Современные проблемы фотоники».

В настоящее время магнитные наночастицы находят широкое применение в медицине, а именно, в областях, где необходимо применение методов высоких технологий. В работе рассмотрен процесс эмболизации (закупорки) сосудов, используя магнитные наночастицы при воздействии на них внешнего магнитного поля и лазерного излучения. В работе представлена математическая модель эмболизации сосудов.

Ключевые слова: эмболизация, магнитные наночастицы, осаждение.

Эмболизация (закупорка) кровеносных сосудов применяется при остановке кровотечений различного происхождения, остановке кровоснабжения к опухоли, с целью уменьшения ее в размере, лечении сосудистых заболеваний.

Процесс эмболизации происходит в два этапа:

1. в кровеносный сосуд вводится суспензия с магнитными наночастицами, которые осаждаются на стенку сосуда, под воздействием внешнего магнитного поля;
2. оказывают тепловое воздействие с помощью лазерного излучения.

Под нагревом частицы передают тепло крови, после чего происходит ее свертывание и закупоривание сосуда в том месте, где это требуется.

При использовании магнитных наночастиц в составе препаратов для эмболизации сосудов появляется возможность управлять частицами с помощью внешнего магнитного поля, для концентрирования их в нужной области сосуда. А также контролировать результаты терапевтического воздействия с помощью магнитно-резонансной томографии, которая является безопасной по сравнению с рентгеном, являющимся на сегодняшний день основным методом контроля этого процесса.

Для изучения процесса эмболизации сосудов был создан испытательный стенд, имитирующий участок системы кровоснабжения и позволяющий прилагать магнитное воздействие [1].

В экспериментальной установке частицы переносятся потоком жидкости вдоль оси стеклянной трубки и оседают на ее стенки под воздействием магнитного поля постоянного магнита.

Система уравнений, описывающая движение отдельной частицы имеет вид:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_x - a \frac{dx}{dt} \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = F_y - a \frac{dy}{dt}, \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} = F_z - a \frac{dz}{dt} \end{cases}$$

где x, y, z – координаты частицы; t – время; m – масса частицы; a – коэффициент трения частицы о жидкость; F_x, F_y, F_z – компоненты магнитной силы, действующей на частицу в магнитном поле.

Система дифференциальных уравнений интегрируется с начальными условиями:

$$t = 0: x = x_0, y = y_0, z = z_0, \frac{dx}{dt} = 0, \frac{dy}{dt} = 0, \frac{dz}{dt} = V(x_0, y_0).$$

Компоненты индукции магнитного поля определялись из выражений [2]:

$$B_x = -\frac{K}{2} [\Gamma(a-x, y, z) + \Gamma(a-x, b-y, z) - \Gamma(x, y, z) - \Gamma(x, b-y, z)]_0^h,$$

$$B_y = -\frac{K}{2} [\Gamma(b-y, x, z) + \Gamma(b-y, a-x, z) - \Gamma(y, x, z) - \Gamma(y, a-x, z)]_0^h,$$

$$B_z = -K [\phi(y, a-x, z) + \phi(b-y, a-x, z) + \phi(x, b-y, z) + \phi(a-x, b-y, z) + \phi(b-y, x, z) + \phi(y, x, z) + \phi(a-x, y, z) + \phi(x, y, z)]_0^h,$$

$$\Gamma(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) = \ln \left(\frac{\sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + (\gamma_3 - z_0)^2} - \gamma_2}{\sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + (\gamma_3 - z_0)^2} + \gamma_2} \right),$$

$$\phi(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3) = \begin{cases} \arctan \left[\frac{\varphi_1}{\varphi_2} \frac{\varphi_3 - z_0}{\sqrt{\varphi_1^2 + \varphi_2^2 + (\varphi_3 - z_0)^2}} \right], & y \neq 0, \\ 0, & y = 0 \end{cases}$$

где a, b, h – стороны магнита; K – параметр, характеризующий намагниченность магнита.

Массовая плотность потока магнитных наночастиц, оседающих на стенку трубки j была определена балансом массовых потоков наночастиц в начальном сечении и на стенке трубки:

$$dx_0 j_0 = dzj ;$$

$$j_0 = \rho V(x_0(z)),$$

где ρ – осредненная массовая плотность наночастиц в жидкости; $V(x_0(z))$ – начальная скорость частицы.

На рисунке, а, представлен график, иллюстрирующий оседание магнитных наночастиц, под воздействием магнитной силы F . Видно, что частицы оседают в основном на концах трубки.

На рисунке, б, представлено распределение массового потока магнитных наночастиц, оседающих на стенку трубки. Можно заметить, что накопление магнитных наночастиц больше на концах магнита, где градиент индукции магнитного поля наибольший.

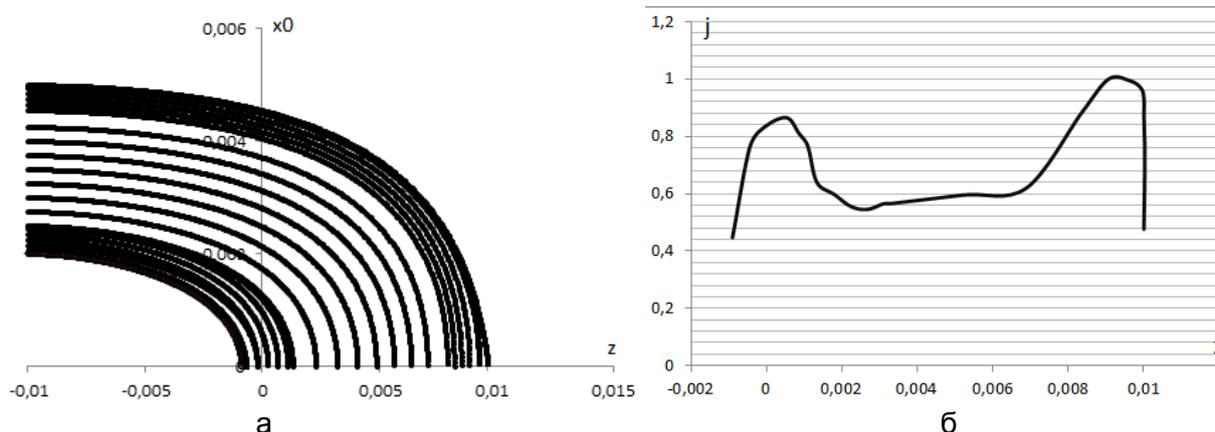


Рисунок. Траектории движения магнитных наночастиц под воздействием магнитного поля постоянного магнита (область магнита: 0–0,01) (а); распределение массового потока магнитных наночастиц, оседающих на стенку трубки (б)

Литература

1. Afonin M.V., Evreinova N.V., Korolev D.V. et al. Study of the physical properties and biodegradation of magnetite nanoparticles in vitro // *Biotechnosphere*. – 2015. – V. 2(38). – P. 32–34.
2. Xiao-fan G., Yong Y., Xiao-jing Z. Analytic expression of magnetic field distribution of rectangular permanent magnets // *Applied Mathematics and Mechanics*. – 2004. – V. 25. – № 3. – P. 297–306.



Юдина Дарья Владиславовна

Год рождения: 1994

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4136

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: kanokoayaku@gmail.com

УДК 57.087.1 + 004.032.26

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Юдина Д.В.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Волхонский В.В.

В работе выполнено исследование возможностей некоторых нейронных сетей, которые могут применяться в системах биометрической идентификации. Для каждой из биометрических систем создается модель, которая используется при процедуре аутентификации. В работе рассмотрено четыре вида нейронных сетей, которые могут решить поставленную задачу, и сделаны рекомендации по выбору.

Ключевые слова: биометрические системы идентификации, нейронные сети, когнитрон, неокогнитрон, автокорреляционные нейронные сети Хопфилда, самоорганизующиеся карты Кохонена.

В настоящее время все более широкое распространение получают биометрические системы идентификации. Такие системы основываются на учете уникальных биологических характеристик человека, которые однозначно определяют его образ и являются трудно подделываемыми. К основным биометрическим характеристикам относятся отпечатки пальцев, форма ладони, узор радужной оболочки, изображение лица.

Для каждой из биометрических систем создается образ, который используется при процедуре аутентификации. Полученный образ необходимо обработать в соответствии с определенным шаблоном.

Разделяют три группы методов распознавания образов: сравнение с образцом, статистические методы, нейронные сети. В данной работе рассмотрен метод нейронных сетей (НС).

Нейросетевые методы – это методы, базирующиеся на применении различных типов НС. Основные направления применения различных НС для распознавания образов и изображений:

- извлечение ключевых характеристик или признаков заданных образов;
- классификация самих образов или уже извлеченных из них характеристик (в первом случае извлечение ключевых характеристик происходит неявно внутри сети);
- решение оптимизационных задач [1].

Одно из преимуществ нейронных сетей (а также недостаток при реализации их на последовательной структуре) – это то, что все элементы могут функционировать параллельно, тем самым существенно повышая эффективность решения задачи, особенно в обработке изображений. Кроме того, что НС позволяют эффективно решать многие задачи, они предоставляют мощные гибкие и универсальные механизмы обучения. Обучение избавляет от необходимости выбирать ключевые признаки, их значимость и отношения между ними. Но, тем не менее, выбор исходного представления входных данных (вектор в n -мерном пространстве, частотные характеристики, вэйвлеты и т.п.), существенно влияет на качество решения и является отдельной темой. НС обладают хорошей обобщающей способностью, т.е. могут успешно распространять опыт, полученный на конечном обучающем наборе, на все множество образов [2].

В данной работе рассматривались четыре вида нейронных сетей: когнитрон, неокогнитрон, автокорреляционные нейронные сети Хопфилда и самоорганизующиеся карты Кохонена. Для каждой из сетей были выявлены преимущества и недостатки для работы с биометрическими системами идентификации.

Когнитрон – искусственная нейронная сеть на основе принципа самоорганизации. Своей архитектурой когнитрон похож на строение зрительной коры, имеет степенную многослойную организацию, в которой нейроны между слоями связаны только локально. В целом когнитрон представляет собой иерархию слоев, последовательно связанных друг с другом. Обработка информации происходит с формированием ассоциаций и обобщений [3].

Для распознавания образа, когнитрон обрабатывает получаемое системой изображение, «пропуская» его через слои, каждый из которых реализует свой уровень обобщения. Метод использует параллельность и иерархичность обработки информации, распределенность и ассоциативность памяти.

Когнитрон не распознает смещенные и повернутые относительно их исходного положения образы. Но сеть отлично справляется с классификацией зашумленных образов. Когнитрон редко используют, так как неокогнитрон лучше справляется с задачей распознавания образов.

Неокогнитрон является дальнейшим развитием идеи когнитрона и более точно отражает строение зрительной системы, позволяет распознавать образы независимо от их преобразований, вращений, искажений и изменений масштаба. Сеть получает на входе двумерные образы, аналогичные изображениям на сетчатке глаза, и обрабатывает их в последующих слоях [3]. Сеть данного вида (рисунок) также часто применяется для распознавания рукописного текста.

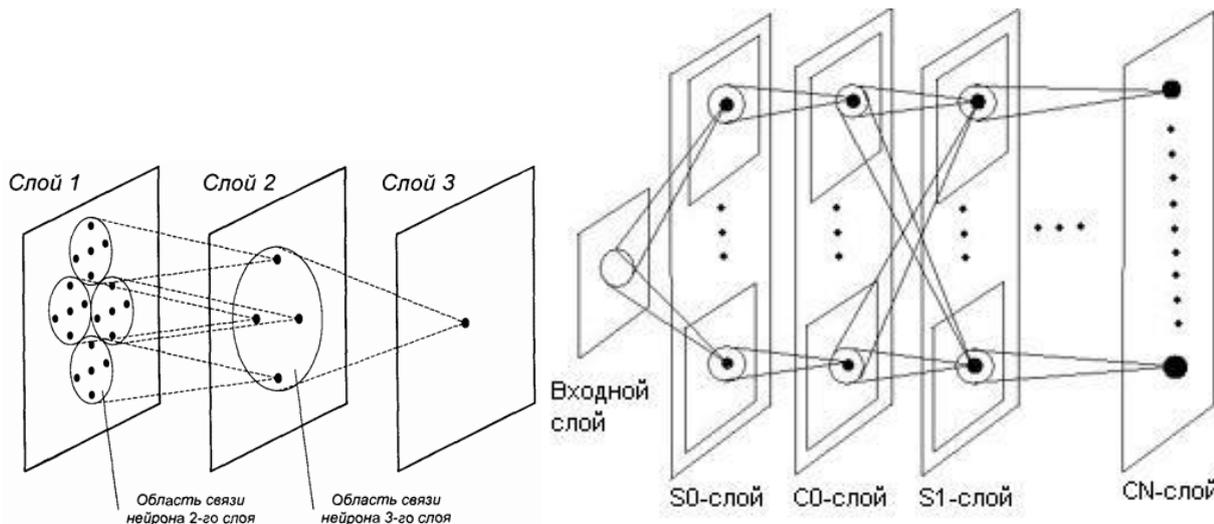


Рисунок. Структура когнитрона и неокогнитрона

Метод самообучаем и устойчив к изменению масштаба, сдвигу, изменению ориентации, но данный способ распознавания занимает довольно много времени, что, при большом потоке людей вызовет затруднения. К тому же, велик объем вычислений – для такой нейросети необходимо дорогостоящее промышленное оборудование. Средняя точность распознавания составляет 98,7%.

Автокорреляционная нейронная сеть Хопфилда является однослойной сетью, потому что в ней используется лишь один слой нейронов. Она также является рекурсивной сетью, так как обладает обратными связями. Она функционирует циклически. Сеть Хопфилда позволяет восстанавливать сильно скоррелированные образы за счет преобразования их исходного множества к дуальному множеству векторов. Таким образом, получается НС, которая может запоминать некоторое количество векторов, и при подаче на вход любого вектора, может определить, на какой из запомненных он более всего похож [4].

Точность распознавания с использованием данного метода составляет свыше 90%, а в ряде случаев – даже приближается к 100%. Иногда сеть не может провести распознавание и выдает на выходе несуществующий образ. Это связано с проблемой ограниченности возможностей сети. Кроме того, если два образа А и Б похожи, они, возможно, будут вызывать у сети перекрестные ассоциации, что приведет к появлению ошибок идентификации.

Сеть, называемая самоорганизующейся картой Кохонена, – это нейронная сеть, при обучении нейронов которой учитывается топология сети, и используется функция, задающая влияние нейрона на его соседей. Это одна из разновидностей НС, однако, она принципиально отличается от рассмотренных выше, поскольку использует неконтролируемое обучение. При таком обучении обучающее множество состоит лишь

из значений входных переменных, в процессе обучения не производится сравнение выходов нейронов с эталонными значениями. Можно сказать, что такая сеть учится понимать структуру данных [5].

Устойчивость к зашумленным данным, быстрое и неуправляемое обучение, возможность упрощения многомерных входных данных с помощью визуализации позволяет обработать любое изображение в соответствии с исходным.

Однако сеть не устойчива к изменению масштаба, поворота или при сдвиге. Обучение «самостоятельное», но зависит от начальных настроек. Эти сети позволяют упростить многомерную структуру, их можно считать одним из методов проецирования многомерного пространства в пространство с более низкой размерностью.

Карты Кохонена могут приводить как к формированию ложных гипотез, так и к невозможности увидеть отдельные реально имеющиеся и статистически достоверные зависимости в данных.

В заключение можно отметить, что для задач распознавания образов пока не создано единого универсального алгоритма. Все они имеют свои минусы и плюсы и больше зависят от предпочтений пользователя. При выборе нейронной сети для решения задачи идентификации, следует принимать во внимание следующие особенности:

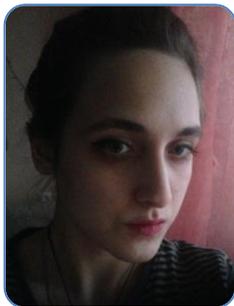
- затраты времени на обработку изображения и идентификацию;
- устойчивость к изменению поворота получаемого изображения;
- требуемые ресурсы вычислительной техники для работы сети;
- вероятность появления ошибок первого и второго рода при распознавании;
- обучение сети.

При рассмотрении в работе четырех видов, наиболее часто используемых нейронных сетей, было выявлено, что для биометрических систем целесообразно использовать неокогнитрон. Однако такая сеть требует больше времени на обработку и идентификацию.

Автокорреляционные нейронные сети Хопфилда требуют меньше времени на обработку и распознавание, в этом случае не нужно дорогое оборудование и, хотя сети имеют больший процент ошибок, пропускная способность выше, что делают нейросети Хопфилда гораздо привлекательней для использования в системах биометрической идентификации.

Литература

1. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия–Телеком, 2002. – 382 с.
2. Головкин В.А. Нейроинтеллект: Теория и применения. Книга 1. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями. – Брест: БПИ, 1999. – 260 с.
3. Терехов С.А. Лекции по теории и приложениям искусственных нейронных сетей. Лекция 10. Неокогнитрон Фукушимы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://alife.narod.ru/lectures/neural/Neu_ch10.htm, своб.
4. Мищенко Е.С. Сравнительный анализ алгоритмов распознавания лиц // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 9: Исследования молодых ученых. – 2013. – Вып. 11. – С. 74–76.
5. Westerlund M.L. Classification with Kohonen Self-Organizing Maps [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://notendur.hi.is/~benedikt/Courses/Mia_report2.pdf, своб.



Яхина Карина Ринатовна

Год рождения: 1995

Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра технологий
интроскопии, группа № В3355

Направление подготовки: 12.03.01 – Приборостроение

e-mail: karintus@gmail.com



Сизиков Валерий Сергеевич

Год рождения: 1939

Факультет программной инженерии и компьютерной техники,
кафедра графических технологий, д.т.н., профессор

e-mail: sizikov2000@mail.ru

УДК 621.397.3

**СПЕКТРАЛЬНЫЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИИ РАССЕЯНИЯ
ТОЧКИ В ЗАДАЧЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСКАЖЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Яхина К.Р., Сизиков В.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Сизиков В.С.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 33481 «Устойчивые технологии восстановления спектров в технических системах спектроскопии» под грант РФФИ № 13-08-00442.

Дано дальнейшее развитие способа оценки параметров функции рассеяния точки (ФРТ) на основе спектра Фурье искаженного изображения. Этот способ позволяет оценить параметры ФРТ: угол θ и значение Δ смазывания изображения, а также размер ρ или σ пятна дефокусирования изображения, что важно для повышения точности восстановления изображения. Выведены новые, более точные оценки параметров дефокусирования ρ с использованием функции Бесселя и σ по правилу «трех сигм», а также оценки параметров смаза θ и Δ с использованием частоты Найквиста. Приведены численные примеры.

Ключевые слова: искажения изображения (смазывание, дефокусирование), функция рассеяния точки, параметры искажения, спектр Фурье-изображения, функция Бесселя, MatLab.

Постановка задачи. Изображение может быть смазано или дефокусировано. Его можно восстановить путем математико-компьютерной обработки [1]. Однако задача восстановления весьма чувствительна к точности знания параметров искажения – величины Δ и угла θ смаза или радиуса пятна дефокусирования ρ изображения. На рис. 1, а, приведено смазанное (без шума) изображение мяча, а на рис. 1, б, в, – его восстановление путем решения интегрального уравнения Фредгольма I рода методом параметрической фильтрации Винера с использованием m-функций системы MatLab fspecial, imfilter, deconvwnr [1]. Если параметры смазывания θ и Δ заданы правильно, то восстановление получается вполне удовлетворительным (рис. 1, б), а если параметры заданы с погрешностями (даже небольшими), то восстановление получается неудовлетворительным (рис. 1, в) из-за некорректности задачи.

В связи с этим актуальной являлась задача повышения точности оценки параметров искажения изображения. Данная работа посвящена развитию способа оценки параметров функции рассеяния точки (ФРТ) по 2-мерному спектру искаженного изображения – спектрального способа оценки ФРТ [2] (ср. [3–5]).

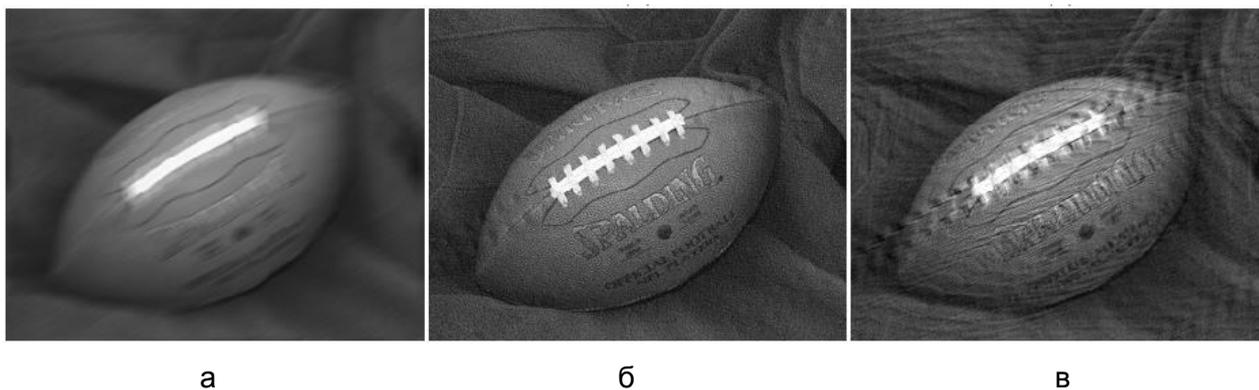


Рис. 1. Изображение football.jpg 256×320 пкс, смазанное под углом $\theta=30^\circ$, смаз $\Delta=15$ пкс (а); изображение, восстановленное при точных параметрах θ и Δ (б); изображение, восстановленное при ошибочных параметрах $\tilde{\theta}=32^\circ$, $\tilde{\Delta}=17$ (в)

На рис. 2 изображен аналогичный пример с дефокусированным изображением.

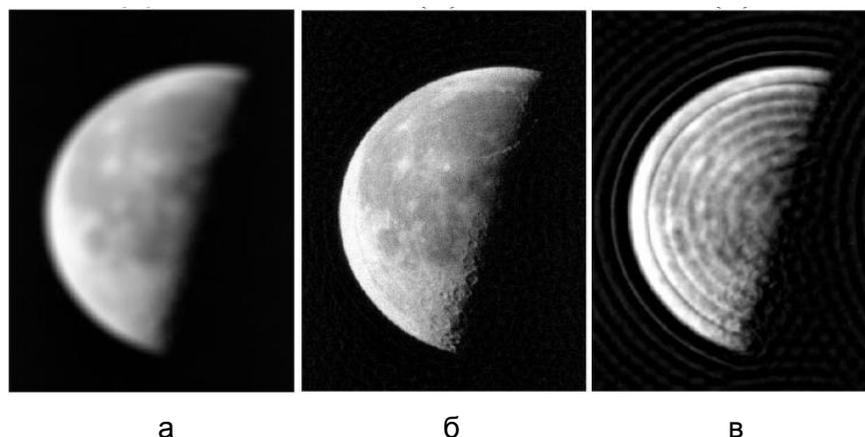


Рис. 2. Дефокусированное изображение moon.tif 537×358 пкс, (ФРТ – однородный диск радиуса $\rho=10$ пкс) (а); изображение, восстановленное при точном значении ρ (б); изображение, восстановленное при ошибочном $\rho=12$ (в)

Способ оценки параметра дефокусирования изображения. Сначала рассмотрим вариант, когда каждая точка на объекте превращается на его изображении в однородный круг (диск) радиуса ρ . Спектр (ПФ) однородного диска выражается функцией Бесселя [2, 4–7]:

$$F(\omega_1, \omega_2) = F(\omega) = \frac{2}{\omega\rho} J_1(\omega\rho), \quad \omega = \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}. \quad (1)$$

Ее нули: $\omega\rho = 0; 3,84; 7,02; 10,16; 13,32; \dots$ Эти нули соответствуют черным контурам–эллипсам на рис. 3, б, а также на более контрастном рис. 3, в (модуль спектра) (ср. [5, С. 101]).

Перейдем от непрерывных соотношений к дискретным. Максимальная частота дискретизации на рис. 3, в, равна $\omega_{\max} = \pi/s = \pi$ (частота Найквиста), так как шаг дискретизации по r равен $s=1$ пкс. Обозначим безразмерное отношение ω_1/ω_{\max} через $\omega_{1\text{rel}}$. Его можно оценить по изображению рис. 3, в. Тогда сама частота (не в пкс, а в единицах ω_{\max}) будет равна применительно к первому нулю $\omega_1 = \omega_{1\text{rel}}\omega_{\max} = \omega_{1\text{rel}}\pi$. Отсюда $\rho = 3,84/\omega_1$. По другим нулям имеем: $\rho = 3,84/\omega_1; 7,02/\omega_2; \dots$, а также идя вдоль вертикальной оси, получаем в среднем $\rho = 9,98 \pm 0,03$ – близко к точному значению радиуса дефокусирования $\rho=10$.

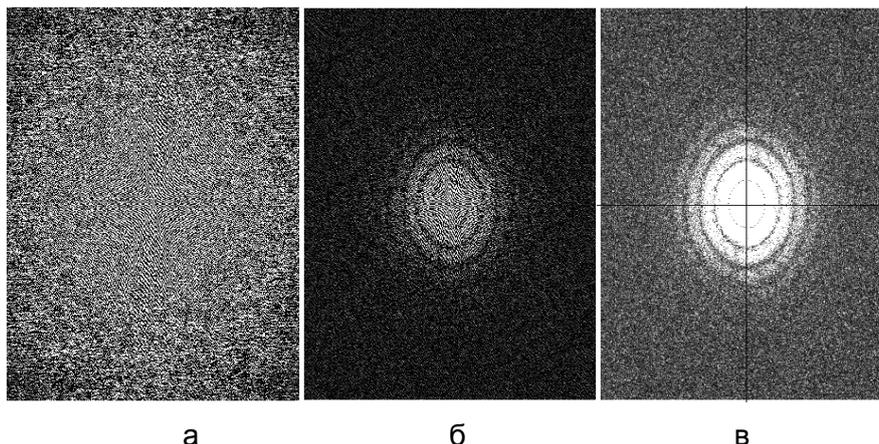


Рис. 3. Двумерное преобразование Фурье-изображения moon.tif: неискаженного изображения $\text{Re}G(\omega_1, \omega_2)$ (а); дефокусированного изображения $\text{Re}G(\omega_1, \omega_2)$, $\rho=10$ пкс (б); дефокусированного изображения $|G(\omega_1, \omega_2)|$, $\rho=10$ пкс (в)

Далее рассмотрим вариант, когда каждая точка на объекте превращается на изображении в гауссово осесимметричное пятно и ФРТ имеет вид [5, С. 101]:

$$h(r) = \frac{1}{2\pi\sigma_r^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_r^2}\right), \quad r = \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (2)$$

Спектр (двумерное преобразование Фурье от гауссианы (2)) равен

$$F(\omega) = 2\pi \int_0^\infty h(r) J_0(\omega r) r dr = k \exp\left(-\frac{\omega^2}{2\sigma_\omega^2}\right) \quad (3)$$

– гладкая монотонная функция (k – некоторый коэффициент). На рис. 4 – изображение Луны, дефокусированное при $\sigma_r=2$ и его спектр $|G(\omega_1, \omega_2)|$.

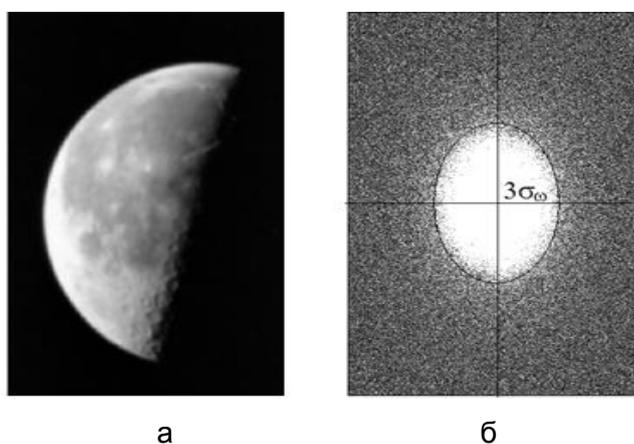


Рис. 4. Дефокусированное изображение Луны и его спектр $|G(\omega_1, \omega_2)|$

Для оценки σ_r предлагается использовать правило «трех сигм»: проводим на рис. 4, б, эллипс по участку, где $F(\omega)=F(3\sigma_\omega)\approx 0$. Тогда искомый параметр σ_r равен [2] $\sigma_r = \frac{3 [N/2]}{\pi [3\sigma_\omega]}$.

Результаты обработки спектра на рис. 4, б: $N=358$, $[N/2]=179$, $[3\sigma_\omega]\approx 74-90$ пкс, в среднем $[3\sigma_\omega]=82$ пкс; $\sigma_r\approx 1,90-2,31$, в среднем $\sigma_r\approx 2,10\pm 0,2$, что близко к точному $\sigma_r=2$.

Способ оценки параметров смазывания изображения. Из-за смазывания изображения вдоль x (направления смазывания) происходит сглаживание высоких частот

Фурье ω_1 . В результате изолинии спектра $G(\omega_1, \omega_2)$ в направлении ω_1 испытывают сжатие (рис. 5, б, в).

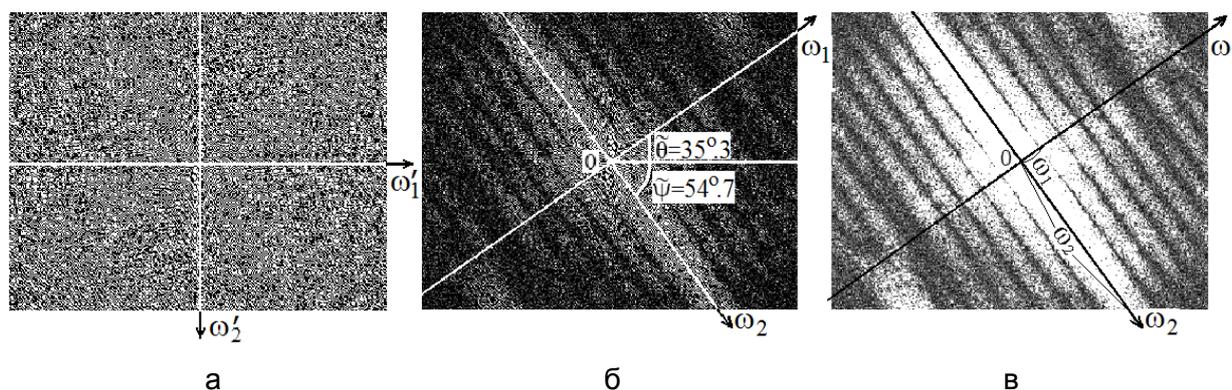


Рис. 5. Двумерное Фурье-изображение football.jpg: неискаженного изображения $\text{Re}G(\omega'_1, \omega'_2)$ (а); смазанного изображения $\text{Re}G(\omega_1, \omega_2)$ (б); смазанного изображения $|G(\omega_1, \omega_2)|$ (в)

Пусть ω_1 и ω_2 – полуоси внутреннего квази-эллипса на рис. 5, в. Тогда искомый смаз равен [2] $\Delta = 2\omega_2/\omega_1$, а угол смаза равен $\theta = 90^\circ - \psi$, причем

$$\psi = \arctg\left(\frac{\text{tg } \tilde{\psi}}{r}\right), \quad (4)$$

где $\tilde{\psi}$ – измеренный по рис. 5, б, угол; $r = M/N$; а $M \times N$ – размеры изображения.

В нашем примере $M=256$, $N=320$, $r=0,8$. Измеренные углы $\tilde{\psi} \approx 54,7$ и $\tilde{\theta} \approx 35,3$, а вычисленные углы $\psi \approx 60,5$ и $\theta \approx 29,5$. По нескольким измерениям получаем: $\theta = 29,5 \pm 0,7$, что близко к точному значению угла смаза $\theta = 30^\circ$.

Программное обеспечение. Для реализации изложенной методики разработаны в рамках системы MatLab программы PSF_moon.m и PSF_football.m, а также программы восстановления изображений: refocusingT.m и др.

Закключение. Предложенный спектральный способ позволяет:

- определить по спектру, искажено ли в принципе изображение;
- определить характер искажения (дефокусирование или смазывание);
- определить тип ФРТ (однородный диск, гауссиана, смаз и т.д.);
- оценить параметры искажения ρ , σ_r , θ , Δ .

Литература

1. Сизиков В.С. Обратные прикладные задачи и МАТЛАВ. – СПб.: Лань, 2011. – 256 с.
2. Сизиков В.С. Спектральный способ оценки функции рассеяния точки в задаче устранения искажений изображений // Оптический журнал. – 2017. – Т. 84. – № 2. – С. 13–17.
3. Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
4. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений. – М.: Мир, 1989. – 336 с.
5. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. Цифровая обработка изображений в информационных системах. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
6. Брейсуэлл Р. Преобразование Хартли. – М.: Мир, 1990. – 175 с.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1968. – 720 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Авдеенко К.В. Особенности процесса интерактивного обучения на основе современных технологий представления информации	4
Андреев В.В., Емельянов Д.В., Ковальский И.С., Лукьянов Г.Н. Моделирование распространения одномерного теплового потока в стержне	7
Андреев В.В., Емельянов Д.В., Лукьянов Г.Н. Стабилизация температуры стержня с учетом транспортной задержки	10
Арбузова Е.А. Разработка конструкции измерительной установки для исследования оптических характеристик твердых бытовых отходов	13
Ахмедьянов Р.А., Слободов А.А. Совместный синтез карбидов титана и кремния	15
Ахмеров А.Х. (Университет ИТМО), Денисов В.М. (Университет ИТМО), Радилов А.В. (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН) Разработка и исследование комплекса программно-алгоритмических средств обработки и распознавания спектров оптического излучения	18
Балмашнов Р.В., Кацев Ю.В., Корнев А.Ф., Кучма И.Г., Оборотов Д.О. Исследование лучевой стойкости зеркал с металлическим отражающим слоем под действием пикосекундных импульсов	20
Беликов А.В., Семьяшкина Ю.В., Модин М.А., Жубрёв Д.Р., Полукаров А.С. Светодиодный аппарат для фотодинамической терапии онихомикоза	24
Беликов А.В., Скрипник А.В., Тавалинская А.Д., Смирнов С.Н., Сергеев А.Н. In vitro микроперфорация ногтевой пластины человека лазерным излучением с длиной волны 1,54 мкм и 2,84 мкм	28
Блохина А.А., Рыжова В.А. Исследование анизотропных характеристик рассеивающей среды мясной продукции поляризационными методами	32
Боримова А.А. Исследование генерации высокоинтенсивного спектрального суперконтинуума в струе тяжелой воды и спирта	35
Булькина А.Б., Рыжова В.А., Самохин Н.Ю. Разработка макета лабораторной установки для исследования кожных покровов поляризационным методом	38
Бурцева А.А., Ежова К.В. Исследование возможности аттестации и цифровой компенсации дисторсии проекционного объектива	41
Бутылкина К.Д., Романова Г.Э., Бахолдин А.В. Светосильные зеркальные объективы для космических исследований	44
Верховская Я.И., Прокопенко В.Т. Оптические свойства полимерных материалов органического происхождения	47
Власова Е.А., Карлагина Ю.Ю., Кривонос А.С., Москвин М.К. Лазерное декорирование драгоценных металлов	51
Волхонский В.В. (Университет ИТМО), Воробьев П.А. (Агентство патентных поверенных «АРС-Патент»), Желонкин А.С. (Университет ИТМО) Анализ возможностей адаптации диаграмм направленности пассивных инфракрасных извещателей к контролируемому объекту	54
Ворожцова Ю.С., Слободов А.А., Усманова Ф.Г. Химический состав нефтей и их термодинамическое описание	57
Гареев Э.З., Шарипо К.Д. Исследование и разработка беспроводной оптико-электронной системы передачи данных посредством светодиодов	60
Гарин И.С. Анализ систем для контроля усталости водителя	63
Глебов В.А. Исследование стабильности определения координат ключевых точек на лице человека при видеофиксации микромимических движений	65
Губайдуллин К.Р. Высокоточные измерения деформаций волнового фронта на компьютеризированном микроинтерферометре Линника	68

Губайдуллина К.В. Устойчивость алгоритма Гровера к воздействию возмущений квантовой схемы	71
Гусаров В.Ф. Исследование и разработка оптико-электронной системы контроля пространственного положения на базе полихроматической оптической равносигнальной зоны при цифровой обработке информации.....	74
Гущин М.Г., Гладских И.А. Электрические свойства золотых пленок на пороге перколяции.....	78
Денисов В.М. (Университет ИТМО), Кржижановская И.С. (Университет ИТМО), Радилов А.В. (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН) Разработка технических требований к многоканальной видеосистеме многофункционального видеодатчика для систем мониторинга инженерных сооружений	81
Дырдина В.Ю., Табачков А.Г., Семёнов А.В. Модернизация конструкции микрообъектива для возможности работы с разными покровными стеклами	84
Ежова В.В. Модульное проектирование зеркально-линзовых объективов	88
Зайцев В.А. (Университет ИТМО), Кожин Л.С. (Университет ИТМО) Метод измерения динамических характеристик терморезистивных чувствительных элементов	92
Заричняк Ю.П., Марова А.А. Теплопроводность высших фуллеренов.....	94
Иванов А.Н., Лепа В.С., Закиров А.К. Дифракционный измеритель малых угловых перемещений со сканирующей щелевой апертурой.....	97
Ильин А.К., Сизиков В.С. Восстановление смазанных изображений в реальном времени	100
Квицинский А.Г., Алексеев С.А. Проектирование комплексной интегрированной системы безопасности учебного корпуса университета	104
Квицинский А.Г., Галкин И.Д., Раскина А.О., Алексеев С.А. Поляризационно-оптический извещатель с модульной конструкцией	108
Киевский П.В., Фадеев Д.Е. Технические средства гетерогенных систем связи для учета энергоресурсов: холодная и горячая вода, газ, тепло (теплоноситель), электроэнергия	112
Кириенко В.В. Разработка и исследование методов обнаружения оставленных предметов в телевизионных системах безопасности	115
Климов А.А. Разработка оптико-электронной системы контроля формы поверхности протяженных конструкций.....	117
Коваль В.В., Заколдаев Р.А., Сергеев М.М. Применение интерференционной схемы лазерных пучков для формирования субмикронных структур	121
Кожина А.Д., Толстоба Н.Д. Автоматизация выполнения конструкторской документации на асферические оптические элементы	123
Колотинюк Е.Е. Технологии обеспечения предельных светотехнических параметров защитных стекол, изготовленных из лейкосапфира	126
Конева Т.А., Романова Г.Э. Анализ схем и особенностей очков виртуальной реальности	128
Королёв Т.К. Кольцевой источник излучения на основе инфракрасных диодов	132
Котов Р.А., Щербакова А.В., Котова Е.И. Возможности создания излучателей на основе массивов лазерных диодов	134
Котова Л.В. Оптическая активность квантовых ям.....	137
Кутейникова К.А., Карпова Г.В. Синтез объективов для наблюдательных систем.....	141
Латынина Т.А. (Университет ИТМО), Мавлютов А.М. (Университет ИТМО), Орлова Т.С. (Университет ИТМО), Мурашкин М.Ю. (Уфимский государственный авиационный технический университет), Валиев Р.З. (Уфимский государственный авиационный технический университет) Изучение функциональных свойств сплава Al-0,4Zr после интенсивной пластической деформации	143

Лебедько Е.Г., Лю Лу О возможности распознавания объектов при моноимпульсной оптической локации	147
Левкова Ю.В., Галкина В.А. Контроль образцов, выполненных селективным лазерным спеканием, с помощью лазерно-ультразвукового оборудования	151
Лобанова А.Ю., Рыжова В.А. Исследование поверхностных структур матричного приемника оптического излучения	154
Лопин И.А. Использование неспециализированных вычислений на графических процессорах для ускорения расчета моделей химических систем. Применение и сравнение генераторов псевдослучайных чисел, особенности их реализаций	157
Лукьянов Г.Н., Лебедев А.А., Кузьмин В.А., Минина М.В. Исследование температурных зависимостей графеновых пленок при нормальном давлении и в вакууме	159
Мавлютов А.М. (Университет ИТМО), Латынина Т.А. (Университет ИТМО), Мурашкин М.Ю. (Уфимский государственный авиационный технический университет), Валиев Р.З. (Уфимский государственный авиационный технический университет), Орлова Т.С. (Университет ИТМО) Влияние отжига на микроструктуру и механические свойства ультрамелкозернистого технически чистого алюминия	162
Мазанов М.А., Бурбаев А.М. Создание методики юстировки двухзеркальной проекционной системы с внеосевыми асферическими зеркалами	167
Макаров Р.Н., Балмашнов Р.В., Корнев А.Ф., Кучма И.Г. Исследование неустойчивости термолинзы в цилиндрических активных элементах мощного ND:YAG лазера	170
Малашук Н.М., Павлова Е.А. Проблемы и методы оценки результативности научных исследований	173
Медников С.В. Аналитический обзор оптико-электронных преобразователей линейных и угловых перемещений	177
Никаноров О.В., Новицкая Я.А. Метод увеличения разрешающей способности синтезированных голограмм-проекторов Френеля	180
Никаноров О.В., Фролова М.А., Хисамов Р.И. Метод увеличения глубины резкости синтезированных голограмм-проекторов Френеля, основанный на изменении формы описания объекта	183
Новгородов М.П. Исследование взаимосвязи параметров основных элементов оптических схем при использовании разрезного фотодиода в оптико-электронных системах с оптической равносигнальной зоной	186
Ногин А.А. Экспериментальные исследования алгоритма обработки изображения в плоскости анализа трехкоординатного автоколлиматора	189
Одноворченко П.В. Оптико-электронный фотометр-колориметр для исследования объектов с рассеянием света	192
Орлова Т.Р. Исследование погрешностей оптико-электронной системы предупреждения техногенных катастроф планарных строительных конструкций	195
Останин С.А. Эволюция размеров жестких доменов и межфазной области в полиуретанах-полимочевинах в зависимости от молекулярной структуры, исследованная методом твердотельной спектроскопии ядерного магнитного резонанса ...	197
Петренко А.А., Поторочин Д.В., Кудряшов С.И., Агеев Э.И. Генерация полиморфных модификаций кремния при фемтосекундной лазерной абляции	200
Плотникова Л.В., Кобелева М.О. Рефрактометрия биологических систем	203
Поваров К.С., Митрофанов С.С. Схема компоновки энкодера на кольцевом «Мультискане»	206
Попов В.Б., Шмыров Д.В., Савва В.А., Лукашенко С.Ю. Исследование резонансных свойств углеродных наностержней в сканирующем электронном микроскопе	209

Прокопенко В.Т., Матвеев Н.В., Сапунова Н.П., Елкина Л.С., Егорова Е.К.	
Обработка и анализ оптического изображения.....	213
Репин В.А. Разработка макета многоканальной измерительной оптико-электронной системы фасеточного типа.....	217
Рожков М.А., Колесникова А.Л., Орлова Т.С., Жигилей Л.В., Хусаинова И., Романов А.Е. О моделировании псевдографеновых кристаллов.....	220
Рожкова Н.А. (Университет ИТМО), Соснин И.М. (Тольяттинский государственный университет), Ильичева Е.Ю. («Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины» СЗО РАМН) Антибактериальные свойства новых наночастиц серебра и их вмешательство в метаболизм меди мышей.....	223
Ряпосов С.А. Исследование методов обнаружения характерных точек на разноспектральных изображениях.....	226
Самуйлова Е.О., Успенская М.В. Практика применения гидрогелей в сельском хозяйстве.....	228
Сахариянова А.М. Разработка оптико-электронного автоколлиматора с увеличенным диапазоном измерения.....	231
Семёнов А.В., Табачков А.Г., Дырдина В.Ю. Адаптация параметров объективов к различным микроскопам.....	233
Соловей А.А., Алёхин А.А. Разработка оптико-электронной системы сепарации стеклобоя.....	237
Сысунов Н.Д., Сизиков В.С. Мультиполярный импульсный шум и его фильтрация.....	239
Тарасов И.П. Панкратические телескопические насадки для приборов, работающих в различных спектральных диапазонах.....	242
Тертычная К.В., Цуканова О.А. Проблемы и риски создания и коммерциализации оптической продукции в России.....	245
Тимофеева Э.О. Возможности контроля качества фармацевтической продукции спектральными методами на примере растворов убихинона.....	248
Титов А.Б. Экономическое обоснование использования единой платформы для создания группы полевых измерительных оптико-электронных приборов.....	251
Тихомиров К.С. (Университет ИТМО), Алексеев С.А. (ОАО «Авангард») Разработка методики расчета надежности паяных соединений поверхностного монтажа.....	255
Тоимбек Д.К. Исследование и разработка методов передачи телеметрической информации о состоянии системы энергоснабжения космического аппарата.....	258
Торопова А.П., Санталини И.Ю., Фокина М.И. Особенности создания радужных голограмм на пищевых продуктах.....	260
Трушкина А.В., Рыжова В.А. Обзор приборов и способов обнаружения и идентификации радионуклидного состава источников гамма-излучения.....	263
Хорошева Е.А., Толстова Н.Д. Вспомогательная крупногабаритная осветительная оптика для морского транспорта.....	267
Черкасова Д.Н., Дмитрик С.В. Композиция оптической системы прибора обнаружения наблюдателя по световому блику.....	269
Шемигон Т.Н., Багдасарова О.В. Сверхширокоугольные объективы с угловыми полями в пространстве предметов до 200 градусов и более.....	273
Шкавро А.И. Разработка конструкции макета многокомпонентного фитоисточника на основе излучающих диодов.....	276
Шумова М.А., Чивилихин С.А. Математическое моделирование процесса осаждения магнитных наночастиц на стенку сосуда и его оптический контроль.....	279
Юдина Д.В. Исследование возможностей использования нейронных сетей в системах биометрической идентификации.....	281
Яхина К.Р., Сизиков В.С. Спектральный способ оценки параметров функции рассеяния точки в задаче восстановления искаженных изображений.....	285

**АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО
Том 2**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Редактор

Л.Н. Точилина

Подписано к печати 24.11.2017

Заказ № 4054

Тираж 100 экз.