

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Н.А. Сазонникова

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: nasazonnikova@yandex.ru

Проведены экспериментальные исследования по определению отражательных характеристик поверхностей изделий аэрокосмической техники. Исследован характер поведения коэффициента отражения при импульсно-периодическом воздействии с различной величиной интенсивности. При проведении исследования влияния параметров зондирующего лазерного излучения на вероятность обнаружения и распознавания использовался стенд лазерной локации. Получены зависимости контрастности изображения от угла падения излучения, длины волны и скважности импульсов. Проведена экспериментальная оценка влияния длины волны излучения на вероятность обнаружения объектов при лазерной локации.

Ключевые слова: лазерное зондирование поверхности, вероятность обнаружения, отражательные характеристики.

Введение

В настоящее время находят широкое применение оптические методы контроля качества изделий машиностроения и массового производства благодаря их бесконтактности, высокой информативности, быстродействию, возможности работы в реальном масштабе времени. Лазерные диагностические системы применяются в России и за рубежом для контроля качества изделий машиностроения, авиационной и космической техники, автомобилестроения, приборостроения, для выявления повреждений нефте- и газопроводов и скважин [1 – 7]. Лидерство в области лазерной дефектоскопии принадлежит ученым Европы и США. Зарубежные дефектоскопические системы обеспечивают разрешающую способность на уровне 10 мкм [1]. Отечественные лазерные дефектоскопические системы не обеспечивают требуемой вероятности обнаружения и распознавания дефектов поверхностного слоя изделий авиационной и космической техники, а также не имеют возможности адаптации к условиям проведения контроля.

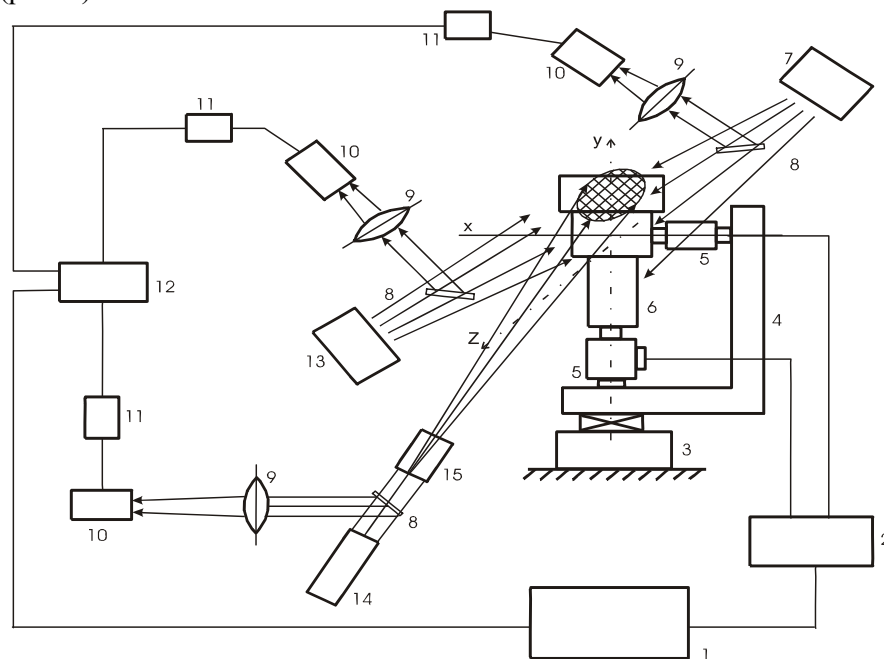
С целью дальнейшего повышения эффективности лазерных информационно-измерительных систем для оценки состояния поверхностей конструкционных материалов требуется оценить влияние параметров зондирующего лазерного излучения на вероятность обнаружения и распознавания элементов поверхности и внешней компоновки летательных аппаратов и элементов конструкции газотурбинных двигателей [8 – 10].

В силу сложности аналитического расчета зависимости величины регистрируемого сигнала и вероятностей обнаружения и распознавания объектов при дистанционном зондировании с использованием лазерных информационно-измерительных

систем актуальными являются методы численного и физического моделирования данных процессов [6].

Экспериментальные исследования влияния параметров лазерного излучения на контрастность изображений

При проведении исследования влияния параметров зондирующего лазерного излучения на вероятность обнаружения и распознавания использовался стенд лазерной локации (рис. 1).



Р и с. 1. Испытательный стенд лазерной локации:

1 – ПЭВМ; 2 – блок управления приводами модели; 3 – узел крепления стенда; 4 – рама крепления приводов; 5 – привод с датчиками углового поворота; 6 – модель цели; 7 – первый имитатор источника света; 8 – полупрозрачное зеркало; 9 – линза; 10 – фотоприемник; 11 – фоторегистратор; 12 – блок обработки информации; 13 – второй имитатор источника света; 14 – лазер; 15 – формирователь зондирующего пучка; 16 – телекамера

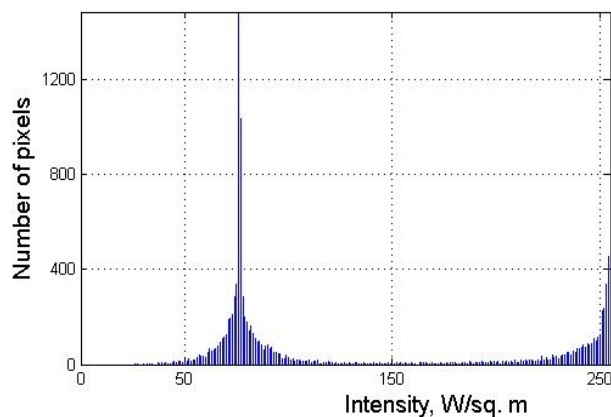
Он включает в свой состав механическую систему углового сопровождения и устройства оптической визуализации и необходим для решения следующих задач: проведение анализа уровня освещенности участков элемента конструкции, исследование оптических свойств поверхностей и распределения освещенности в зондирующем пучке освещения, определение координат энергетического центра освещенности изделия при заданном уровне фона, определение вектора перемещения энергетического центра освещенности при изменении положения изделия в пространстве, определение оптических свойств материалов (коэффициент отражения и индикатриса отражения) при заданных температурах.

Для осуществления физического моделирования процесса дистанционного зондирования поверхностей летательных аппаратов необходимо соблюдать принцип дифракционного подобия полей, рассеянных реальным объектом и его масштабной моделью в дальней зоне [6]. Испытательный стенд обеспечивает идентичность углов облучения и приема по сравнению с реальной измерительной системой. Использоуе-

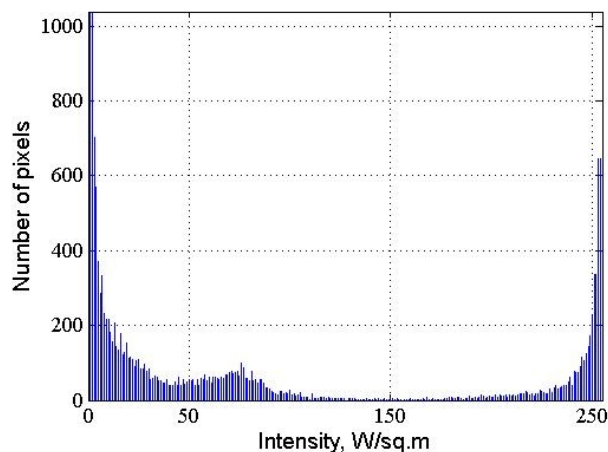
мые модели цели должны подробно воспроизводить в масштабе копии объект локализации и имитировать характеристики рассеяния его покрытий. Для создания зондирующего пучка освещения модели служат лазеры с рабочими длинами волн излучения в диапазоне 0,56 – 1,06 мкм.

Зондирующий поток лазерного излучения располагался под углами $\varphi = -30^\circ \dots 45^\circ$, $\beta = 0 \dots 30^\circ$ (φ – угол между вертикальной плоскостью и направлением зондирующего потока лазерного излучения; β – угол между горизонтальной плоскостью и потоком лазерного излучения). Использовалось импульсное лазерное излучение со скважностью в диапазоне 2...4 и длиной волны излучения 0,56...1,06 мкм (скважность – отношение периода следования (повторения) импульсов одной последовательности к их длительности).

Для анализа полученных изображений был применен стандартный пакет программ *MATLAB 7.5* (пакет *Image Processing Toolbox*). На рис. 2 приведены примеры полученных гистограмм. На гистограммах показано число пикселей с различным уровнем интенсивности в диапазоне 0...250 Вт/м².



a



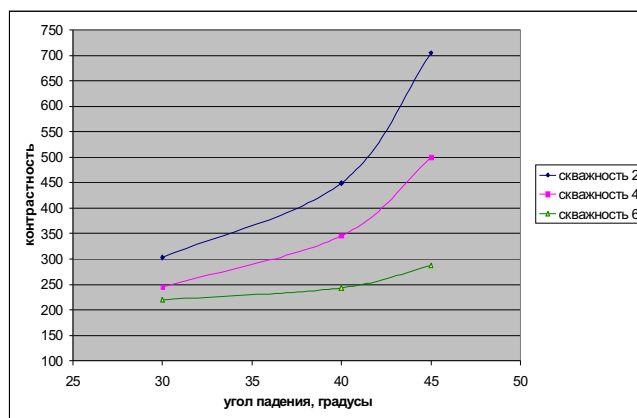
б

Р и с. 2. Примеры гистограмм обработки изображений:
a – гистограмма для изображения 1; *б* – гистограмма для изображения 2

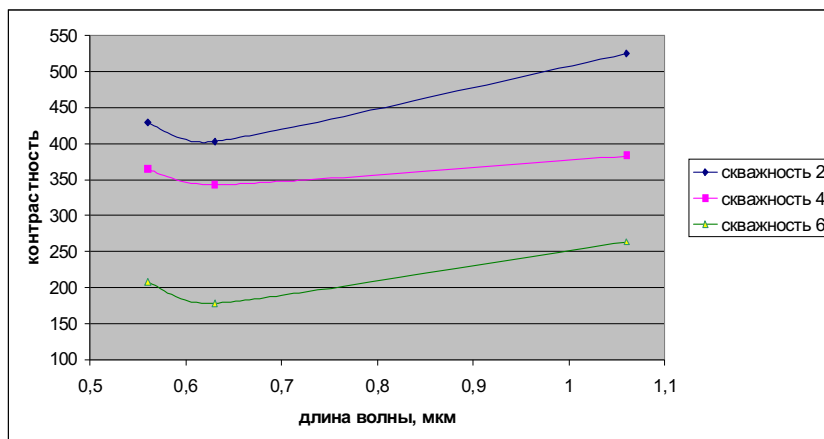
По результатам анализа гистограмм распределения интенсивности в изображениях рассчитывалась величина контрастности изображения по зависимости

$$K = \frac{I_{\max} N_{\max} - I_{\min} N_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}, \quad (1)$$

где $I_{\max}$ – максимальное значение интенсивности в изображении; $N_{\max}$ – число пикселей с интенсивностью $I_{\max}$; $I_{\min}$ – минимальное значение интенсивности в изображении; $N_{\min}$ – число пикселей с интенсивностью $I_{\min}$. Построены зависимости контрастности изображения от угла падения излучения, длины волны излучения и скважности импульсов (рис. 3, 4).



Р и с. 3. Зависимости контрастности изображений от угла падения излучения и скважности импульсов



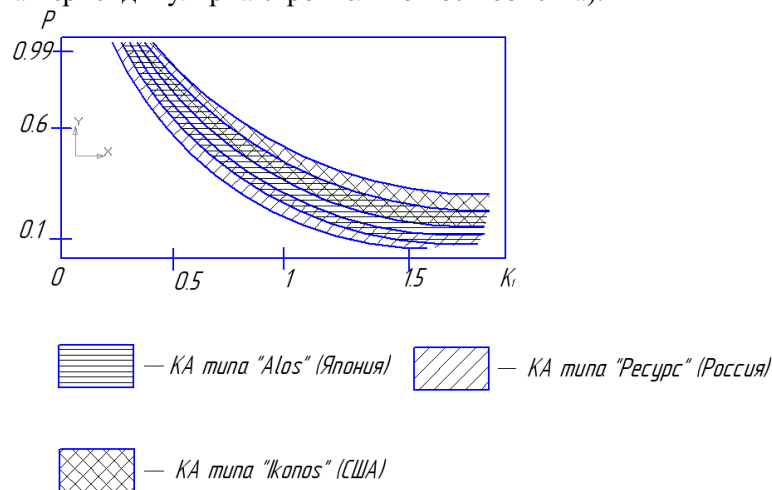
Р и с. 4. Зависимости контрастности изображений от длины волны и скважности импульсов

Полученные зависимости показывают, что с ростом угла падения излучения в диапазоне 30...45 при скважности, равной 6, контрастность возрастает в 1,5 раза, а при скважности, равной 2, – в 2 раза. С ростом длины волны с 0,56 мкм до 0,63 мкм сначала происходит снижение контрастности на 10...15 %, а затем ее рост на 15...20 %.

Проведена экспериментальная оценка влияния длины волны излучения на вероятность обнаружения объектов при лазерной локации. Коэффициент правдоподобия лазерной локации P определяется как отношение площади видимого изображения, ограниченной распределением плотности мощности отраженного сигнала, к общей величине площади его изображения. Построена зависимость коэффициента правдоподобия P от безразмерного параметра $K_1 = \frac{B_1}{\lambda}$, где B_1 – диаметр зондирующего потока лазерного излучения.

На рис. 5 приводятся сравнительные зависимости величины P для фотометрических моделей космических аппаратов в зависимости от безразмерного параметра K_1 с учетом изменяемой длины волны λ , частоты генерации ν и величины скважности импульса излучения Λ .

Заметим, что величина коэффициента правдоподобия обнаружения объекта P зависит от его конструкции при неизменном составе группы материалов внешней компоновки. Состав группы материалов внешней компоновки: теплоизоляционная капроновая ткань; пластины с покрытием на основе диоксида циркония; алюминиевые сплавы после химполирования; пластины радиационных элементов из арсенида галлия. В данных условиях проведения исследований модель космического аппарата Ikonos (США) имеет большую вероятность обнаружения (оптическая ось зондирующего пучка перпендикулярна строительной оси объекта).



Р и с. 5. Зависимость коэффициента правдоподобия лазерной локации от безразмерного параметра K_1 для моделей различных космических аппаратов:

1 – верхняя граница области обнаружения: частота генерации – 30 Гц, скважность импульса 1/5; 2 – нижняя граница области обнаружения: непрерывный режим генерации

Заключение

Таким образом, в данной работе проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента отражения в зависимости от длины волны, угла падения и скважности импульсно-периодического излучения. С использованием разработанного стенда лазерной локации получены зависимости контрастности изображения от длины волны, угла падения излучения и скважности импульсов. Показано, что с ростом длины волны в диапазоне 0,56...1,06 мкм и угла падения излучения в диапазоне 30...45° контрастность изображений возрастает. С увеличением скважности импуль-

сов с 2 до 6 контрастность изображений снижается. Коэффициент правдоподобия обнаружения объекта зависит от его конструкции при неизменном составе группы материалов внешней компоновки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валентюк А.Н. Оптическое изображение при дистанционном наблюдении / А.Н. Валентюк, К.Г. Предко // Институт физики имени Б.И. Степанова АН БССР. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 358 с.
2. Butler M.A. Laser surface profiler / M.A. Butler, An-Shyang Chu // Optics Letters, 1999, Vol.24, No.7, P.457-459.
3. Лебедько Е.Г., Нгуен Ву Тунг. Анализ рельефа поверхности при моноимпульсной лазерной локации / Е.Г. Лебедько, Нгуен Ву Тунг // Сборник трудов конференции «Лазеры, измерения, информация 2005». – СПб: СПбГТУ, 2005. – С. 36.
4. Смирнова Ю.Л. Лазерная дальномерная станция как составная часть аэрокосмической системы / Ю.Л. Смирнова // Аэрокосмические технологии: материалы Первой международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея. – М., 2004. – С. 38-42.
5. Белов М.Л. Рассеяние лазерного излучения на неровной поверхности со сложной локальной индикатриссой отражения в турбулентной атмосфере / М.Л. Белов, В.И. Козинцев, Б.В. Стрелков // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – М., 2007. – № 1. – С. 63-73.
6. Математическое и физическое моделирование переходных характеристик 3D-объектов в однопозиционной системе оптической локации / Л.В. Лабунец // Радиотехника и электроника, 2002. Т. 47, № 3. – С. 308-321.
7. Кеткович А.А. Лазерная компьютерная система контроля лопаток газотурбинных двигателей ПКПД-1 / А.А. Кеткович, Н.И. Яковлева, Б.А. Чичигин // Контроль. Диагностика. Машиностроение. – 2007. – № 3. – М.: Машиностроение. – С. 32-34.
8. Сазонникова Н.А. Исследование переотражения излучения в элементах поверхности / Н.А. Сазонникова // Компьютерная оптика. – 2002. – Вып. 22. – М.: МЦНТИ. – С. 23-28.
9. Сазонникова Н.А. Повышение эффективности обнаружения при лазерном зондировании поверхности / Н.А. Сазонникова // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2009. – № 3(19). – С. 219-226.
10. Мордасов В.И. Использование лазерной подсветки для обнаружения подвижных объектов / В.И. Мордасов, Н.А. Сазонникова // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2006. – № 2 (10). Ч. 2. – С. 27-31.

Статья поступила в редакцию 31 января 2013 г.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LASER INFORMATION-MEASUREMENT SYSTEMS FOR ESTIMATION OF THE AIRCRAFT SURFACE

N.A. Sazonnikova

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

Experimental investigations on aircraft surface reflecting characteristics were carried out. Reflectance behavior at pulse-periodic action at different intensity value was estimated. During investigation parameters of sound laser beam influence at probability of detecting and recognition the laser location installation was used. Contrast from incident angle, light wave and relative pulse duration dependencies were received. The experimental estimation of light wave to detecting probability influence at the aircrafts surfaces distance sounding was carried out.

Keywords: laser surface sounding, detecting probability, reflecting parameters.