

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2012 Н. А. Сазонникова

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Проведены экспериментальные исследования по определению отражательных характеристик конструкционных материалов, используемых при создании летательных аппаратов и двигателей. Разработана методика построения и оптимизации лазерно-электронных систем дистанционного зондирования поверхности с учётом области их применения. Разработанная методика применена для выявления поверхностных дефектов элементов конструкций аэрокосмической техники в условиях производства и эксплуатации.

Поверхность, отражательные характеристики, конструкционные материалы, дефектоскопия.

Поверхность элементов конструкций летательных аппаратов и двигателей представляет собой сложный объект. Она характеризуется сложной формой и сочетанием различных материалов с различным размером рассеивающих частиц, шероховатостью, наличием окисных плёнок, повреждений, загрязнений, различным распределением температуры по поверхности с одновременным наличием нескольких признаков. Поэтому получение информации о состоянии поверхности является весьма важным при изготовлении и эксплуатации летательных аппаратов [1-3].

Для определения прогноза работоспособности изделия необходимо не только обнаружить дефекты, но и определить вид повреждения. Существующие средства дефектоскопии имеют низкую вероятность обнаружения и распознавания дефектов поверхностного слоя (пропуск до 50...60% дефектов, в том числе критических), не имеют возможности определения места расположения и ориентации дефектов и оценки одновременно нескольких видов дефектов. Зарубежные дефектоскопические системы обеспечивают разрешающую способность на уровне 10 мкм.

В связи с расширением сфер применения авиации в настоящее время особую значимость приобретает задача получения нетраекторной информации о летательных аппаратах, лоцируемых в оптическом диапазоне длин волн. Эта информация необходима

для осуществления управления воздушным движением самолётов, для предотвращения поражения гражданских летательных аппаратов средствами противовоздушной обороны. Значимость принимаемых на основе этой информации решений предъявляет высокие требования к необходимости определения комплекса оптических характеристик поверхности и точности проводимых измерений [1,3].

Любая исследуемая поверхность характеризуется одновременным наличием нескольких признаков, поэтому для достоверного распознавания объекта (определения его характерных признаков) и определения его состояния (температуры, уровня напряжений в поверхностном слое) необходимо формирование многоканальной информационной системы с одновременным измерением нескольких параметров.

На разработанном стенде для определения оптических характеристик конструкционных материалов поверхностей проведены экспериментальные исследования по определению отражательных характеристик поверхностей материалов внешней компоновки летательных аппаратов [4].

Исследован характер поведения коэффициента отражения при импульсно-периодическом воздействии с различной величиной интенсивности. Экспериментально показано, что нитроэмалевое терморегулирующее покрытие и экранно-вакуумная теплоизоляция имеют диффузный характер от-

ражения излучения, а фоточувствительный слой солнечных батарей и алюминиевый сплав после химполирования - зеркальное. Так, при отражении от поверхности химполированного алюминиевого сплава ширина индикатрисы рассеивания составляет $\theta = 3^\circ$, для ЭВТИ $\theta = 25^\circ$, а для ТРП на основе диоксида циркония $\theta = 125^\circ$ (рис. 1).

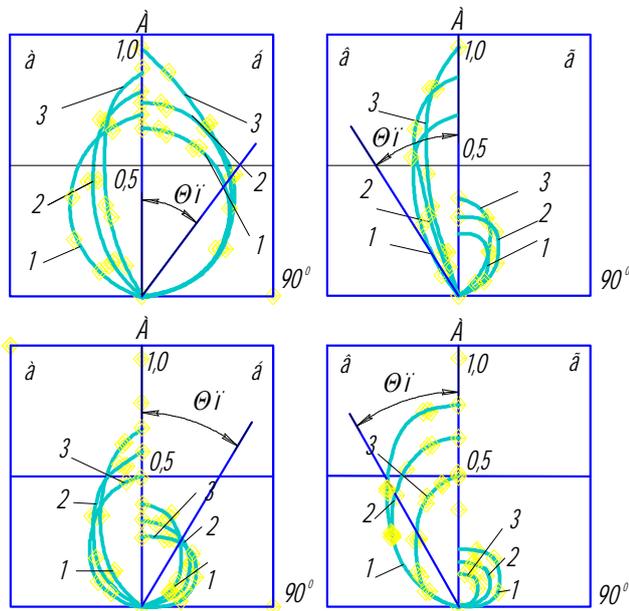


Рис. 1. Индикатриса рассеивания излучения для различных материалов (в полярных координатах): а – теплоизоляционная капроновая ткань; б – пластина с покрытием на основе диоксида циркония; в – алюминиевый сплав после химполирования; г – пластина радиационных элементов из арсенида галлия: длина волны λ : 1 - $0,56 \times 10^{-6}$ м; 2 - $1,06 \times 10^{-6}$ м; 3 - $10,6 \times 10^{-6}$ м; частота повторения импульсов: 1-10 Гц; 2 – 20 Гц; 3 – 30 Гц

Разработана методика построения и оптимизации лазерно-электронных систем дистанционного зондирования поверхности с учётом области их применения. Соответствующий алгоритм оптимизации приведён на рис. 2. Первая часть включает сбор априорных данных об объекте контроля – априорной вероятности наличия или отсутствия объекта, предполагаемого диапазона изменения геометрических и механических характеристик поверхностного слоя, удаление поверхности материала от источника излучения, необходимое число определяемых оптических признаков поверхности.

Затем задаётся требуемая минимальная вероятность обнаружения и распознавания

объектов. По каждому из признаков, исходя из требуемой вероятности обнаружения, определяется диапазон изменения основных безразмерных параметров измерительной системы. Затем определяется допустимая величина шумовой составляющей с учётом предполагаемых характеристик поверхности. На основании этих данных выбирается тип источника излучения и его основные параметры. Далее осуществляется тестирование системы с использованием тест-объектов. По результатам экспериментального определения значения вероятностей обнаружения и распознавания проводится сравнение заданного и достигнутого значений целевой функции. Если требуемое значение не достигнуто, проводится корректировка параметров измерительной системы и её повторное тестирование.

С использованием обобщённой методики обнаружения и распознавания объектов при дистанционном зондировании поверхности создана методика лазерной дефектоскопии и конструкция дефектоскопа [5,6].

Разработанная методика была применена для выявления поверхностных дефектов элементов конструкций аэрокосмической техники в условиях производства и эксплуатации для промышленных предприятий ОАО "Моторостроитель" и ГНПРКЦ "ЦСКБ-Прогресс".

Выявлялись дефекты, внесённые при производстве и ведущие к зарождению трещины: царапины, подрезы, сварочные дефекты, плохая пригонка и др.; структурные дефекты, ведущие к зарождению трещины: включения, поры; структурные неоднородности: на участках повреждений элементов конструкций ГТД – участки соединения наружного кольца компрессора с дисками, узлы крепления лопаток компрессора к дискам, опоры компрессора низкого давления, крышки лабиринтов и торцовые уплотнения; в местах повреждения элементов конструкций внешней компоновки летательных аппаратов: поверхность терморегуляторов приборного отсека, покрытие элементов конструкции отсека научного оборудования, зеркало рефлектора антенны, элементы системы ориентации в пространстве.

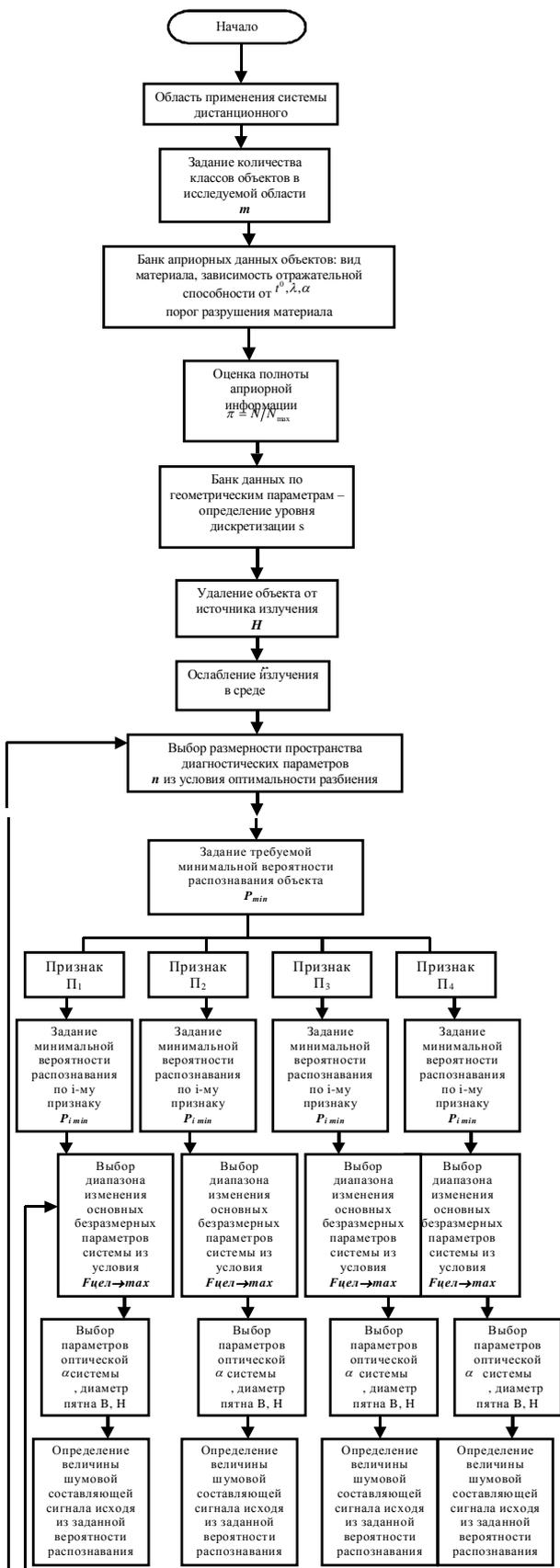


Рис. 2. Алгоритм оптимизации системы дистанционного зондирования поверхностей конструктивных материалов

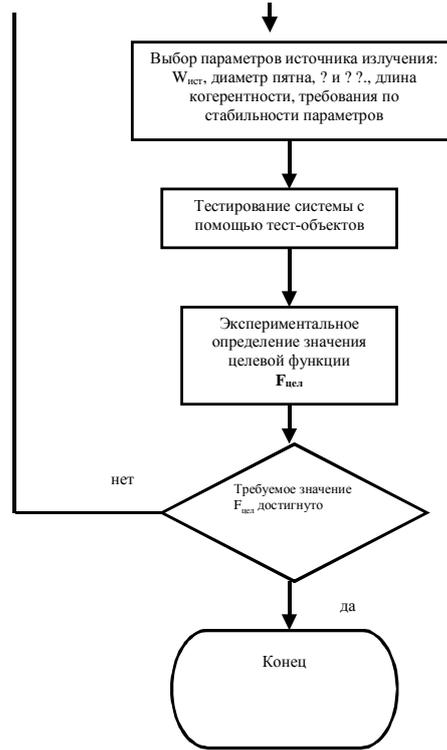


Рис. 2. Окончание

На рис. 3 представлена структурная схема процесса дефектоскопии, которая состоит из входных параметров и определяемых параметров: среднего значения оптических характеристик поверхности (отражательной способности, параметров рассеяния) и распределения оптических характеристик по поверхности.

Процесс выявления дефектов зондирующим лазерным пучком включает в себя следующие стадии: определение исходных данных (характеристик материала и детали, вида обработки, условий эксплуатации, возможных видов дефектов и повреждений, параметров оптической системы и траектории сканирования), измерение оптических характеристик поверхности изделия (определение тепловых характеристик для выявления внутренних дефектов), преобразование полученных оптических (или тепловых) характеристик в требуемые физические и механические характеристики поверхностной и внутренней структуры и составление прогноза работоспособности изделия.

Исходными данными являются характеристики детали: геометрические характеристики детали, механические и теплофизические свойства материала; виды обработки:



Рис. 3. Окончание

получение (литьё, обработка резанием и др.), соединение (сварка, пайка, адгезионное, болтовое), термообработка, поверхностная обработка, способ и режим нанесения покрытия; параметры оптической системы (длина волны, мощность излучения модовый состав, диаметр пятна), приёмник излучения и его характеристики, элементы оптической системы и их характеристики, расстояние до исследуемой поверхности; условия эксплуатации. Параметры оптической системы выбираются с учётом характеристик материала и детали и предполагаемого диапазона изменения геометрических характеристик выявляемых дефектов [5,6].

Возможны следующие виды контроля: производственный и в условиях эксплуатации. При производственном контроле выявляются: дефекты, внесённые при производстве и ведущие к зарождению трещины: царапины, подрезы, сварочные дефекты, плохая пригонка и др.; структурные дефекты, ведущие к зарождению трещины: включения, поры, структурные неоднородности.

В условиях эксплуатации выявляются: характер дефекта (поверхностный или внутренний), местоположение дефекта, размер, форма, ориентация; изменение состояния поверхности (коррозия, абразивный износ и др.). Показано, что основной характеристикой дефекта является параметр n , который

Рис. 3. Структурная схема процесса поверхностной дефектоскопии

при целых его значениях равен числу переотражений.

Значение этого параметра определяет ширину и направление распространения пучка при выходе из трещины. При чётном значении n излучение, выходящее из трещины, распространяется в направлении приёмного объектива; при нечётном n переотражённое трещиной излучение распространяется в направлении источника излучения. Характерные значения параметра n (при $\alpha = \pi/6$): глубокие трещины ($n > 6$), неглубокие трещины ($2 < n < 6$), царапины ($n < 2$), износ поверхности ($0 < n < 1$), окисная плёнка на поверхности ($n \approx 0$).

Определяемыми параметрами для поверхностных дефектов являются: при выявлении трещин ($n > 2$): определение зависимости относительной величины отражённого сигнала $W/W_0 = f(x/x_0)$ для углов падения излучения α_1 и α_2 , где W_0 – значение величины отраженного сигнала на бездефектной поверхности. Вид зависимости позволяет определить значения ширины трещины S . Относительная величина сигнала в центре трещины $W_{c,m}/W_0$ и максимальное значение W_{max}/W_0 позволяют определить значения параметров n_1 и n_2 , а по значениям этих величин – форму и геометрические параметры трещины γ , φ_1 , H_2 , величины напряжений в вершине трещины и коэффициентов интенсивности напряжений, значения приложенных напряжений. Локальное значение коэффициента отражения определяет состояние поверхности: абразивный износ (параметры шероховатости), наличие и толщину окисной плёнки, размеры рассеивающих частиц (структурные неоднородности), искривление поверхности (элементы топологии поверхности); параметры рассеяния.

Выходными параметрами являются: шероховатость поверхности, размеры рассеивающих частиц, состав композиционных материалов и содержание компонентов в них, толщина и состав окисной плёнки, геометрические характеристики участков повреждений (участков с абразивным износом, забоин, трещин (ширина, глубина, угол раскрытия, положение плоскости симметрии), величина и характер приложенных напряжений, качество обработки.

На основе накопленного на предприятиях опыта производства и эксплуатации изделий аэрокосмической техники создан банк данных наиболее характерных повреждений поверхностного слоя (место расположения, виды повреждений и диапазон изменения их геометрических характеристик) [5,6].

Траектория сканирования поверхности выбирается с учётом расположения участков поверхности с наибольшей вероятностью поверхностных дефектов.

На поверхности исследуемых деталей механическим способом отмечается начальная точка сканирования, её координаты задаются относительно базовой линии или плоскости детали.

Параметры оптической системы выбираются с учётом характеристик материала и детали и предполагаемого диапазона изменения геометрических характеристик выявляемых дефектов.

В соответствии с результатами теоретических исследований диаметр пятна излучения на поверхности детали не должен превышать наименьшей предполагаемой ширины поверхностных повреждений, т.е. должно выполняться соотношение $B_1/S \leq 1$, где B_1 – диаметр пятна лазерного излучения. В соответствии с выбранным диаметром пятна определяется значение высоты расположения приёмного объектива над поверхностью из условия $H_1/B_1 \leq 1$, H_1 – высота расположения приёмного объектива над поверхностью. Диапазон изменения глубины поверхностных дефектов определяет углы падения излучения α_1 и α_2 . Каждому значению угла падения должно соответствовать минимальное число переотражений для максимально возможной глубины поверхностных трещин, что обеспечивает наибольшую точность определения глубины дефектов. Значения B_1 и H_1/B_1 определяются фокусным расстоянием и числовой апертурой линз, направляющих излучение от источника на исследуемую поверхность и отраженное от поверхности излучение на фотоприёмник.

Разработанная методика была применена для выявления поверхностных и внутренних дефектов элементов конструкций изделий машиностроения. Применение лазерной дефектоскопии в условиях произ-

водства позволило снизить себестоимость проведения диагностики в 1,5...2 раза, повысить уровень использования в изделиях аэрокосмической техники деталей с улучшенными эксплуатационными характеристиками (в том числе с более высоким уровнем адгезионной прочности) на 20 %.

Библиографический список

1. Лабунец, Л.В. Математическое и физическое моделирование переходных характеристик 3D-объектов в однопозиционной системе оптической локации [Текст] / Л.В. Лабунец // Радиотехника и электроника. - 2002. - №3. - Т. 47. - С. 308-321.
2. Кеткович, А.А. Лазерная компьютерная система контроля лопаток газотурбинных двигателей ПКПЛ-1 [Текст] / А.А. Кеткович, Н.И. Яковлева, Б.А. Чичигин // Контроль. Диагностика. - М.: Машиностроение. - 2007. - № 3. - С. 32-34.
3. Смирнова, Ю.Л. Лазерная дальномер-

ная станция как составная часть аэрокосмической системы [Текст] / Ю.Л. Смирнова // Аэрокосмические технологии: материалы Первой междунар. науч.-техн. конф., посвященной 90-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея. - М.: 2004. - С. 38 – 42.

4. Сазонникова, Н.А. Повышение эффективности обнаружения при лазерном зондировании поверхности [Текст] / Н.А. Сазонникова // Вестн. СГАУ. – Самара: 2009. - №3(19). - С. 219 – 226.

5. Лазерные технологические системы в авиационной промышленности [Текст] / Н.А. Сазонникова, В.И. Мордасов, С.П. Мурзин [и др.] // Изв. Самар. науч. центра РАН, - 2004. - С. 345-356.

6. Сазонникова, Н.А. Методика выявления поверхностных повреждений [Текст] // Н.А. Сазонникова // Проблемы машиностроения и автоматизации. - 2002. -№2. – С. 41-45.

LASER MEASUREMENT SYSTEMS EFFECTIVITY IMPROVEMENT FOR AIRCRAFTS AND ENGINES SURFACE ESTIMATION

© 2012 N. A. Sazonnikova

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

The possibility to obtain the information about a surface condition is very important during the manufacturing and operation of aircraft. Experimental investigations on aircraft surface reflecting characteristics were carried out. The technique of construction and optimization of laser and electronic systems of remote sensing of a surface taking into account area of their application is developed. The developed technique was applied to detection of surface defects of elements of designs of aircrafts in conditions of production and operation for the industrial enterprises.

Surface, reflecting characteristics, engineering materials, defect detection.

Информация об авторах

Сазонникова Надежда Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: nasazonnikova@yandex.ru. Область научных интересов: лазерные информационно-измерительные системы диагностики состояния поверхности конструкционных материалов.

Sazonnikova Nadezhda Alexandrovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate professor of Automatic systems of energy devices department of Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: nasazonnikova@yandex.ru. Area of research: laser information and measurement systems.