

УДК 531.7

**В.Н. ИЛЬЧЕНКО***Национальный авиационный университет НАУ, Киев, Украина***ОПТИМАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Рассматриваются вопросы оптимизации контроля геометрических параметров изделий сложной формы, в том числе элементов газоздушного тракта газотурбинных двигателей на основе компьютерных лазерных измерительных систем.

**размерный контроль, газотурбинная лопатка, лазерная измерительная система, триангуляция****Введение**

Тенденция повышения качества изделий, развитие новых информационных технологий требуют создания лазерных компьютерных систем для проведения бесконтактных измерений геометрических параметров объектов сложной формы в промышленных технологических процессах. Особое применение лазерные компьютерные системы находят в авиационной промышленности, в частности для контроля массовых и трудоемких объектов сложной формы: лопаток газотурбинных двигателей, пресс-форм, керамических стержней для охлаждаемых турбинных лопаток, литых заготовок турбинных лопаток, механически обработанных турбинных лопаток.

Сложность контроля турбинных лопаток напрямую зависит от трудоемкости изготовления газоздушного тракта. Он содержит множество элементов, каждый из которых требует контроля множества параметров, включая контроль оптимальной раскладки лопаток в лопаточных решетках. Точность геометрии пера лопатки составляет менее 0,03 – 0,06 мм. Таким образом значительная часть средств расходуется во время подготовки производства новых турбинных лопаток.

Существующие средства измерения геометрических параметров объектов состоят из систем, которые основываются на контактных датчиках и не отвечают современным требованиям к точности и быстродействию,

имеют субъективный характер, связанный с инструментальной погрешностью, а также исключает возможность оперативной коррекции технологического процесса. Также традиционные средства измерения, имеющие паспортную погрешность более 0,05 мм, не пригодны для контроля высокоточных изделий. Координатно-измерительные машины с погрешностью менее 0,01 мм не обеспечивают необходимой производительности измерений.

Основными требованиями к современным средствам размерного контроля являются высокая точность (погрешность до 2 мкм), быстродействие ( $10^{-3}$  с), возможность быстрого перехода на другие типоразмеры. На базе персональных компьютеров измерительные системы должны быть полностью автоматическими (с регистрацией, отображением, документированием и сохранением результатов измерений в базе данных и передачей их по компьютерной сети).

Устранение большинства указанных недостатков и резкое повышение производительности измерительных процедур достигается при использовании компьютерной лазерной измерительной системы на основе лазерной измерительной системы LMS-100. Она обеспечивают трехмерный контроль геометрических размеров, профилей, координат, диаметров, ориентации, углов, толщины, перемещений, скорости и др.

Измерительный оптический комплекс включают в себя набор оптоэлектронных измерительных головок, электронный блок, лазерный сканирующий оптико-механический блок, современный компьютер и развитое специализированное программное обеспечение для контроля геометрии изделий сложной формы. Сканирующий блок имеет в своем составе координатный и поворотный столы, в качестве поворотного стола используется координатный стол AP-400, который обеспечивает контролируемое перемещение объекта измерения в поле зрения оптоэлектронного измерительного блока в направлении координат  $X$  и  $Y$ . Точность позиционирования составляет  $2 \cdot 10^{-6}$  м. Движение по двум координатам обеспечивается двумя линейными двигателями, которые управляются контролерами координат  $X$  и  $Y$ , связанными с компьютером через последовательный порт RS-232. Принцип действия оптоэлектронных головок основан на применении триангуляционных и других методов измерений с использованием полупроводниковых развертывающих фотоприемников. Электронный блок устройства обеспечивает развертку выходного сигнала фотоприемника и соответствующую обработку видеосигнала для выделения информации о проекции изображений в требуемом динамическом диапазоне изменений интенсивности.

Триангуляционный метод является одним из методов размерного контроля и довольно прост в реализации. Принцип его действия для разных объектов представлен на рис 1. Излучение лазера фокусируется объективом 1 на поверхности контролируемого объекта. Рассеяное или отраженное поверхностью объекта излучение собирается объективом 2 на фотоприемнике 3. процессор сигналов рассчитывает расстояние к объекту  $\Delta Z$  по положению изображения светового пятна на фотоприемнике  $\Delta X$ .

В связи с тем, что изображение объекта является распределением интенсивности света, то характери-

стика изображения существенно зависит от степени когерентности освещения, что определяется видом источника излучения. Сканируя по поверхности объекта получаем данные об интенсивности света  $I(x, y)$ .

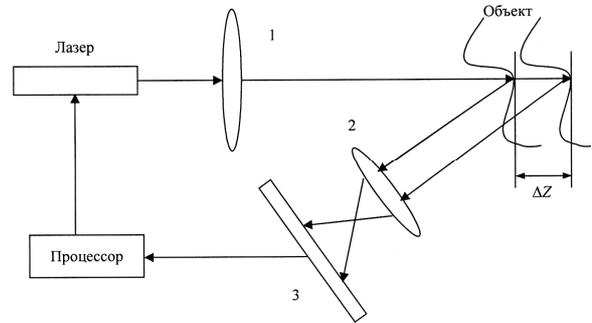


Рис 1. Схема реализации триангуляционного метода

Когерентная система существенно нелинейная относительно интенсивности света  $I$  в отличие от некогерентной системы.

Для когерентной системы имеем:

$$I = |h(x, y) * A(x, y)|^2, \quad (1)$$

а для некогерентной системы

$$I = |h(x, y)|^2 * |A(x, y)|^2, \quad (2)$$

где  $h(x, y)$  – функция рассеивания точки, которая зависит от апертуры оптической системы;  $A(x, y)$  – комплексная амплитуда напряженности поля световой волны.

Результат операции свертки в уравнении (1) значительно зависит от фазовых характеристик величин, которые входят в это соотношение и существенно отличаются от результата (2).

Если  $h(x, y) = \text{rect}(x/b)$  – одномерная одиночная функция окна шириной  $2b$ , и регистрируется одномерная волна с косинусоидальной переменной амплитуды  $A(x, y, \theta) = a \cos(2\pi ux + \varphi)$ , где  $\theta = (a, u, \varphi)^T$  – вектор параметров частоты и фазы.

Из (1), (2) имеем:

для когерентной системы

$$I = (a^2 / 2) \sin^2(2ub) [1 + \cos(4\pi ux + 2\varphi)]; \quad (3)$$

для некогерентной системы

$$I = \left( a^2 / 2 \right) \left[ 1 + \sin c(4ub) \cos(4\pi ux + \varphi) \right], \quad (4)$$

где  $\sin c(y) = \sin(\pi y) / (\pi y)$ .

Используем определение контраста изображения в виде

$$V = I_{\max} - I_{\min} / I_{\max} + I_{\min}, \quad (5)$$

согласно с (3), (4) является очевидным преимуществом когерентной системы по величине контраста изображения в  $K = 1 / [\sin c(4ub)]$  раз.

Высокая скорость измерений обеспечивает возможность проведения практически непрерывных измерений даже при взаимном движении оптоэлектронных головок и контролируемого изделия. Измеренные координаты изделия непрерывно вводятся в компьютер, где рассчитываются, отображаются, регистрируются значения фактического профиля изделия и сравниваются с профилем, заданным математической моделью.

Специальное программное обеспечение системы позволяет в реальном масштабе времени проводить обработку, отображение, регистрацию результатов измерений, их документирование и сохранение с последующей передачей по компьютерной сети. Одним из важных видов обработки результатов измерений является восстановление фактической трехмерной поверхности по измеренным данным. Для этого используется метод сплайновой аппроксимации.

### Заключение

Высокая точность и большая производительность компьютерной лазерной измерительной системы позволяют автоматизировать трудоемкий процесс измерений ответственных изделий авиационного строения и других отраслей, обеспечить объективный контроль сотен и тысяч типоразмеров изделий с регистрацией результатов. Объективность и оперативность контроля дают возможность повысить качество изделий. Автоматизация и проведение изме-

рений в реальном масштабе времени снижают стоимость экспериментальных исследований и отработки технологии. Немаловажным является исключение субъективных факторов при проведении и обработке результатов измерений и исследований.

Использование программного обеспечения позволяет производить программную обработку, отображение и регистрацию результатов измерений в реальном времени.

### Литература

1. Карасик В.Е., Орлов В.М. Лазерные системы видения. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2001. – 352 с.
2. Васин А.С., Колючкин В.Я., Метелкин А.И., Мосягин Г.М. Лазерный измеритель объектов // Вестник МГТУ. Серия Приборостроение. – 1992. – № 2. – С. 81-87.
3. Трехмерный бесконтактный контроль геометрических параметров дистанционирующих решеток ядерных реакторов / О.И. Битюцкий, В.В. Вертопрахов, А.А. Гущина и др. // Автометрия. – 2003. – 39, № 5. – С. 4.
4. Компьютерные лазерно-оптоэлектронные системы измерений геометрии изделий сложной формы «ОПТЭЛ» / Рав.М.Галиулин, Риш.М.Галиулин, Ж.М. Бакиров и др. // Изв. вузов. Сер. Авиационная техника. – 1997. – № 1. – С. 100.
5. Оптико-электронное устройство бесконтактного контроля геометрических параметров ТВЭЛ / В.А. Белоглазова, О.И. Битюцкий, А.А. Гущина и др. // Автометрия. – 2004. – 40, № 2. – С. 82.
6. Оптоэлектронные микропроцессорные системы для измерений геометрии протяженных изделий / Рав.М. Галиулин, Риш.М. Галиулин, Ж.М. Бакиров и др. // Кабельная техника. – 1995. – № 6. – С. 36.

*Поступила в редакцию 2.06.2006*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.П. Квасников, Национальный авиационный университет, Киев.