



### Литература

1. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, М., Логос, 2000. - 295 с.
2. Пиявский С.А. Два новых понятия верхнего уровня в онтологии многокритериальной оптимизации. // Онтология проектирования, №1(7), 2013 – с. 65-85.
3. Ларюхин В.Б., Пиявский С.А. Онтология образовательного процесса по направлению «Информационные системы и технологии» // Онтология проектирования №2(4), 2012. – с. 44-58.
4. Малышев В. В., Пиявский Б. С., Пиявский С. А., Метод принятия решений в условиях многообразия способов учета неопределенности. // Известия РАН. Теория и системы управления, № 1, 2010 – с. 46–61.

Н.В. Рузанов, В.А. Печенин, М.А. Болотов

### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА И МЕТОДИКА КОМПЕНСАЦИИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН

(Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)»)

Этап технического контроля соответствия изготовленной детали требуемым конструкторским параметрам является заключительным этапом производства деталей. На данном этапе принимается решение о дальнейшем использовании детали для сборки изделия или отбраковке некачественной детали. Средства измерения, используемые на этапе контроля, должны обеспечивать необходимую точность и обладать высокой скоростью работы. Для контроля геометрических параметров деталей используют координатно-измерительные машины (КИМ). По методу измерения современные КИМ разделяются на две категории – контактные и бесконтактные измерительные машины.

Лопатки компрессора являются одной из сложнейших деталей газотурбинного двигателя, геометрия детали оказывает влияние на эффективность процесса сжатия рабочего тела в осевых компрессорах ГТД и на его величину газодинамической устойчивости. Количество лопаток компрессора в газотурбинном двигателе может достигать 1500 штук, поэтому необходимо обеспечить высокую точность и скорость проведения измерения данной детали. В связи с высокой отражательной способностью лопаток компрессора бесконтактные КИМ дают большую погрешность измерения, поэтому они плохо подходят для измерения данного типа деталей. Современные контактные координатно-измерительные машины являются универсальным устройством, предназначенным для измерения геометрии разнообразных деталей. Обратной стороной



универсальности является высокая сложность изготовления и как следствие большая стоимость подобных устройств. Для обеспечения массового контроля и снижения стоимости измерительного устройства авторами разрабатывается специализированный прибор для измерения лопаток компрессора ГТД.

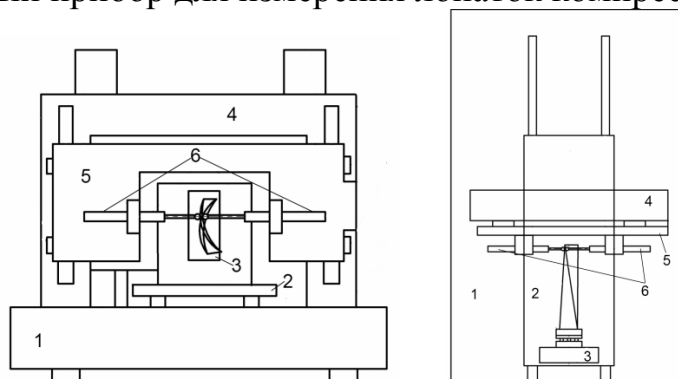


Рис. 1. Схема прибора для измерения лопаток компрессора ГТД.  
Вид сбоку и вид сверху

Устройство представляет собой неподвижное основание 1, на котором установлена подвижная платформа 2 с оснасткой для крепления лопатки 3. К раме 4, расположенной на неподвижном основании, крепится П-образная планка 5, содержащая два измерительных щупа 6. Платформа 2 и П-образная планка 5 приводятся в движение шаговыми сервоприводами, а их положение отслеживается датчиками линейных перемещений. Информация с датчиков линейных перемещений и измерительных щупов передается в компьютер для управления движением и измерения профиля пера лопатки.

Приложение получает данные от измерительных устройств и формирует пространственную модель лопатки в системе координат устройства. В приложении используется две системы координат устройства – по одной для каждого измерительного щупа. В указанных системах координат ось абсцисс располагается в направлении движения подвижной платформы 2, ось ординат располагается в направлении движения П-образной планки, ось аппликат направлена вдоль оси измерительных щупов.

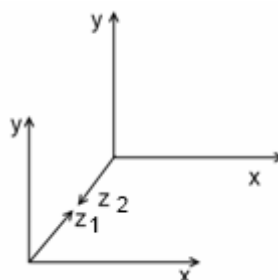


Рис. 2. Системы координат измерительного устройства

Оценка качества изготовления детали проводится путём сравнения измеренной детали с номинальной формой, заданной конструкторской документацией. Номинальная форма задаётся в локальной системе координат, поэтому первым этапом контроля геометрии изготовленной лопатки является преобразование координат точек из системы координат измерительного устройства в локальную систему координат детали. Для этого необходимо определить пара-



метры преобразования систем координат – вектор переноса и углы поворота вдоль каждой оси.

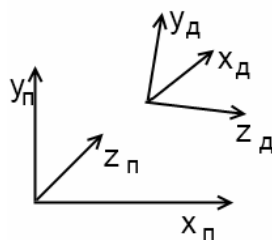


Рис. 3. Система координат измерительного прибора и локальная система координат детали

Предварительные результаты измерения шаблонных элементов, имитирующих плоскость, показали, что локальная система координат детали меняется при движении подвижной платформы. Расхождение между локальной системой координат в начале и конце рабочей зоны составляет 0,08 мм, что является большой величиной при требовании точности измерения 0,02-0,04мм. Указанное явление связано с точностью изготовления прибора, однако дальнейшее повышение точности изготовления составляющих прибора нецелесообразно, так как это связано со значительной технической сложностью и как следствие высокой стоимостью работ.

Для оценки систематических погрешностей в координатно – измерительных машинах широко используются такие инструменты как гранитные и стальные линейки, концевые меры и калибровочные плиты. Указанные инструменты сложно использовать в разрабатываемом приборе, так как существуют технические сложности в правильной фиксации указанных инструментов, калибровочные плиты являются очень сложным и дорогим инструментом, требующем квалифицированного обслуживания. В связи с этим было решено разработать методику определения системы координат с использованием шаблонных инструментов, не требующих существенных затрат.

Для определения параметров преобразования систем координат применяются два шаблонных элемента в виде плоскости и один в виде шара. При помощи измерения элементов на сторонней координатно-измерительной машине строятся уравнения плоскостей и шара в системе координат детали.

$$\begin{aligned} a_1x + b_1y + c_1z + d_1 &= 0 \\ a_2x + b_2y + c_2z + d_2 &= 0 \\ (x - x_u)^2 + (y - y_u)^2 + (z - z_u)^2 &= R^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Чтобы построить уравнения элементов в системе координат измерительного прибора предполагается, что локальная система координат постоянна на некотором малом участке от  $X$  до  $X+\Delta X$ . Измеряя эталонные элементы при положении подвижной платформы  $X$  и  $X+\Delta X$ , строятся уравнения плоскостей и шара в системе координат измерительного прибора.

$$\begin{aligned} A_1X + B_1Y + C_1Z + D_1 &= 0 \\ A_2X + B_2Y + C_2Z + D_2 &= 0 \\ (X - X_u)^2 + (Y - Y_u)^2 + (Z - Z_u)^2 &= R^2 \end{aligned} \quad (2)$$



При помощи вектора нормали плоскостей и центра шара, строятся зависимости между локальной системой координат детали и глобальной системой координат измерительного прибора. Решая систему уравнений, получаем параметры преобразования для заданного положения измерительной платформы.

Для построения функции преобразования систем координат проводится измерение шаблонных элементов для различных положений подвижной платформы. В дальнейшем полученные данные используются для интерполяции функции.

Использование полученной функции позволяет компенсировать систематические ошибки, возникающие вследствие несовершенства геометрической формы измерительного прибора и оперировать координатами, привязанными к локальной системе координат детали, что позволяет корректно сравнивать изготовленную деталь с ее номинальной формой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании Постановления Правительства РФ №218 по договору № 27/13 от 15.02.2013г.

### Литература

1. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики [Текст]/Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
2. Оболенский А.Ю. Лекции по аналитической геометрии [Текст]/А.Ю. Оболенский, И.А. Оболенский – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. - 216с.
3. Наместников С.М. Основы программирования в MatLab [Текст]/С.М. Наместников – Ульяновск: УлГТУ – 50с.
4. Джунковский А.В. Повышение точности измерений и совершенствование программного обеспечения координатно-измерительных машин [Текст]: диссертация кандидата технических наук: 05.11.13 Москва, 2007 168 с. РГБ ОД, 61:07-5/2731
5. Swornowski J. A critical look at the coordinate measuring technique [Text]/ J. Swornowski // Mechatronics. – 2013, № 23 – Pp. 80-93

И.Р. Сайфудинов, В.В. Мокшин

## АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ К СИСТЕМАМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

(Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева)

В данной работе подтверждается гипотеза о прямо пропорциональной зависимости времени обнаружения объекта в видеопоследовательности кадров от информативности изображения кадра. Классическая постановка задачи распознавания образов формулируется следующим образом: Дано множество объек-