

УДК 62-181.1

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОФИЛЕЙ ПЕРА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД

Янюкина М. В., Печенин В. А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национально исследовательский университет), г. Самара

Надёжность работы лопаток компрессора и турбины значительно влияет на надёжность и ресурс всего авиационного двигателя. Перо лопатки состоит из поверхностей свободной формы с высокими значениями кривизны на кромках, и поэтому контроль её геометрии является сложной задачей.

В настоящей работе рассматривается методика оценки погрешности определения геометрических параметров пера лопаток компрессора газотурбинного двигателя. Этапы методики представлены в виде блок-схемы на рисунке 1.

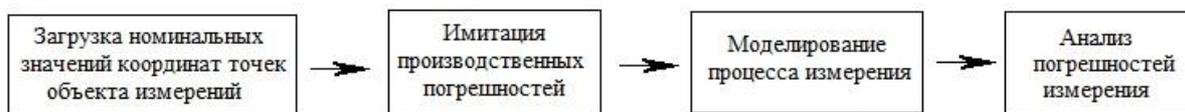


Рис. 1. Блок-схема алгоритма методики оценки погрешности

Контроль геометрии пера лопаток компрессора ГТД производится в сечениях вдоль оси z (рис. 2).

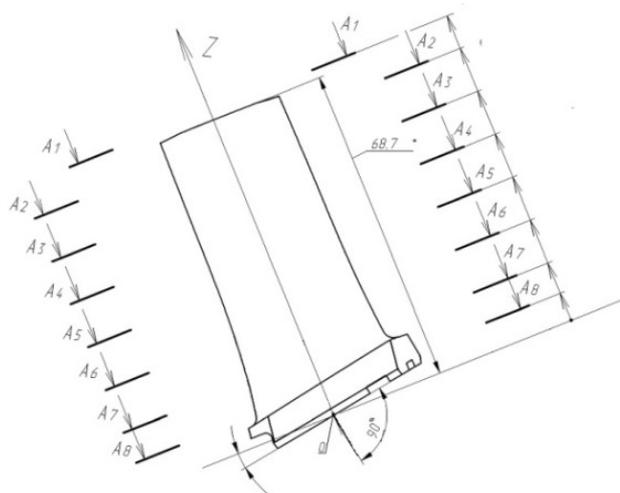


Рис. 2. Контролируемые сечения пера лопатки

При измерении поверхностей, имеющих сложную геометрическую форму, точность контактных измерений на координатно-измерительной машине (КИМ) определяется множеством факторов, из которых можно укрупнённо выделить следующие группы: внешнюю среду, конструкцию КИМ, особенности измеряемой детали и технологию измерения, которая определяет алгоритмы обработки измеренных данных и выбор количества точек измерения.

Изготавливаемые поверхности сложной формы всегда отличаются от их CAD-моделей на величину отклонений формы и расположения [1]. Из-за этих отклонений координаты точки на измерительном наконечнике, рассчитываемые по нормали к CAD-модели из координаты центра наконечника, рассчитываются с погрешностью.

В общем виде погрешность измерения можно представить в виде функционала, который зависит от следующих параметров:

$$\bar{u} = f(\bar{S}, \bar{M}, \bar{D}), \quad (1)$$

где \bar{S} – пространство параметров, характеризующих систематическую геометрию и вариацию измеряемых поверхностей; \bar{M} – используемый метод обработки результатов измерений (метод компенсации радиуса измерительного наконечника); \bar{D} – пространство параметров, характеризующее погрешность средства измерения (координатно-измерительной машины).

Вариация измеряемых профилей на пространстве \bar{S} является случайной функцией, имеющей распределение в двухмерном пространстве. Она определяется номинальной геометрией и технологией изготовления деталей [2].

В практике встречаются две составляющие отклонения формы деталей: систематическая и случайная δ_γ (для контактной КИМ не превышает 2 мкм). Систематические отклонения включают в себя макроотклонения формы δ_m и волнистость δ_s (гармоническая составляющая).

Таким образом, общую величину отклонения формы в каждой точке можно записать в виде суммы трех составляющих:

$$dF = \delta_s + \delta_m + \delta_\gamma. \quad (2)$$

Опираясь на описанную в [3] модель, было смоделировано 200 сечений корневой части пера лопаток компрессора ГТД, предельные значения отклонения формы которых изменялись по нормальному закону. На основании статистических данных по измерениям этого типа деталей и согласно [4] принято, что максимальное значение отклонения формы не превышает 0,16 мм в тело детали. Диапазон изменения амплитуды волнистости составил $\pm 0,02$ мм. Погрешность измерения определялась как значения расстояний между кривыми измеренного и действительного профиля пера лопатки в точках действительного профиля.

Максимальное смещение сечения относительно системы координат хвостовика лопатки составляет 0,2 мм, угол разворота профиля изменяется в пределах $\pm 15'$.

По полученным значениям погрешности измерения в точках профиля рассчитывались средние, нижние и верхние границы распространения погрешностей вдоль профиля. Результаты представлены на рисунке 3 и в таблице 1.

Таблица 1. Средние, верхние и нижние границы величин погрешностей измерения на различных участках пера лопаток

| Области измерения | Корыто | Входная кромка | Спинка | Выходная кромка |
|---------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Наиболее вероятное значение, мм | 0,0001 | 0,0027 | 0,0008 | 0,0034 |
| Максимальное отклонение, мм | 0,00047 | 0,0163 | 0,0038 | 0,0189 |
| Минимальное отклонение, мм | $1,1 \cdot 10^{-6}$ | $9 \cdot 10^{-7}$ | $3 \cdot 10^{-7}$ | $2,8 \cdot 10^{-6}$ |

Таким образом, в ходе моделирования были получены зависимости, позволяющие определить средние, нижние и верхние границы распространения погрешности измерения для любой измеряемой точки профиля пера лопатки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки РФ) в рамках выполнения проекта по Постановлению Правительства РФ №218 от 09.04.2010 (шифр темы 2013-218-04-4777).

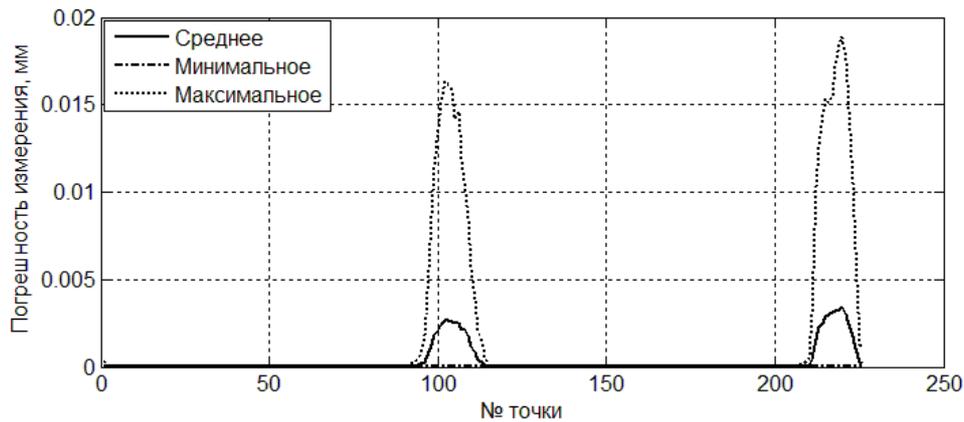


Рис. 3. Случайные функции для погрешности измерения профиля пера лопатки

Библиографический список

1. Savio, E. Metrology of freeform shaped parts, CIRP Annals [Text] / E.Savio, L. De Chiffre, R. Schmitt // Manufacturing Technology. – 2007. – 56 (2). – Pp. 810-835.
2. Печенин, В. А. Оптимизация измерений геометрии деталей со сложными поверхностями [Текст] / В. А. Печенин, М. А. Болотов, Н. В. Рузанов, М. В. Янюкина // Измерительная техника. – 2015. – №3. – С. 18-23.
3. Печенин, В. А. Модель оценки точности координатных измерений при контактном методе [Текст] / В. А. Печенин, М. А. Болотов, А. В. Рыжков // Материалы международной научно-практической конференции «Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн», г. Тамбов. – 2014. – С.215-220.
4. ОСТ 1 02571-86. Лопатки компрессоров и турбин. Предельные отклонения размеров, формы и расположения пера [Текст] – Введ. 1987-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 36 с.