



и существенно сократить избыточный пробег, тем самым положительно влияя на экологическую обстановку, экономию топлива и ресурса авиадвигателей за счет исключения увеличения режимов для обеспечения последующего движения. На аэродромах, соответствующих структуре рис.1а, при благоприятном сочетании направления посадки и расположения перронной РД возможно существенное сокращение дистанции руления. Кроме того, система позволяет несколько повысить комфорт пассажиров за счет более плавного торможения и сократить нагрузку на экипаж в процессе пробега.

Литература

1. Airports Council International, <http://www.aci.aero/Data-Centre>
2. Федеральные авиационные правила “Организация воздушного движения в Российской Федерации”, 3-я редакция от 12.05.2014 г.
3. Brady Chris, The Boeing 737 Technical Guide. Tech Pilot Services Ltd., 2009.
4. Krivolapchuk I., The designing concept of a plane's braking control system. Proc 5th Int. Conf. Advanced Computer Systems. Szczecin, Poland, Nov 19-20, 1998, pp. 382-389.
5. Aircraft stop-to-position autobrake control system. US Patent № 5968106, Oct. 19, 1999.
6. Krivolapchuk I., Plane's braking system adaptation to the landing conditions. Proc 7th Int. Conf. Advanced Computer Systems. Szczecin, Poland, Oct 23-25, 2000, pp. 282-285.

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

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева)

Контроль геометрических параметров деталей является необходимым условием для создания качественной продукции авиационной отрасли. Эффективность этапа контроля напрямую влияет на эффективность всего производственного цикла изготовления продукции – от производства составных узлов до конечной сборки готового изделия. Точность измерений и скорость их проведения являются одними из ключевых параметров контроля геометрической формы деталей. Для повышения данных параметров все большее применение находят координатно – измерительные машины (КИМ), которые позволяют достичь высокой точности измерения и зачастую способны автоматизировать процесс проведения измерения. В настоящее время наибольшее распространение получили координатно – измерительные машины контактного типа. Прин-



цип работы КИМ данного типа заключается в определении координат точки касания измерительного щупа и соответственно измеряемой поверхности.

Современные измерительные щуповые системы не позволяют точно определить точку на поверхности щупа, в которой произошло касание с измеряемой поверхностью. Для определения точки касания используются математические методики, основанные на обработке координат центра измерительного щупа, которые в свою очередь могут быть получены с определённой точностью. За последние десятилетия разработан большой набор методик, позволяющих обработать координаты центра измерительного щупа и получить низкую погрешность измерения при контроле простых геометрических форм - сферы, цилиндра, плоскости и т.п. Наряду с простыми поверхностями в авиационной отрасли все большее распространение получают детали, обладающие сложной поверхностью. Сложность математического описания таких поверхностей приводит к тому, что существующие методики компенсации могут давать большую погрешность измерения, поэтому использование данных методик требует более пристального внимания к достоверности результатов измерения. Современное программное обеспечение КИМ не позволяет оценить погрешность измерения, вызванную использованием методик компенсации, поэтому возникают вопросы о достоверности результатов измерения, полученных при использовании данных методик. В связи с этим актуальной задачей является разработка системы, позволяющей оценить погрешность измерения поверхностей со сложной формой при использовании различных методик компенсации центра измерительного щупа.

Первым шагом данной задачи является создание сложных поверхностей с заданными параметрами. Разные области сложной поверхности могут обладать различными геометрическими характеристиками и оказывать различное влияние на точность измерения. Для получения более полного представления о влиянии характеристик сложной поверхности на результаты моделирования необходимо иметь возможность создавать сложные поверхности, обладающие требуемыми параметрами и проводить моделирование процесса измерения созданных поверхностей.

Основным требованием к информационной системе является возможность оценки точности измерений, полученных при использовании методик компенсации, наиболее распространённых в существующем программном обеспечении координатно – измерительных машин.

Информационная система для моделирования координатных измерений сложных поверхностей была реализована в приложении UnEstimation, блок – схема информационной системы показана на рисунке 1.

В качестве начальных данных для моделирования процесса измерения выступают 3D модели номинальной и фактической поверхностей. Приложение позволяет импортировать 3D модели в формате IGES - трехмерный векторный формат графики, используемый многими распространёнными САД-системами. Приложение позволяет проводить измерение загруженной фактической модели



либо сгенерировать фактическую модель на основе номинальной модели по заданным параметрам.

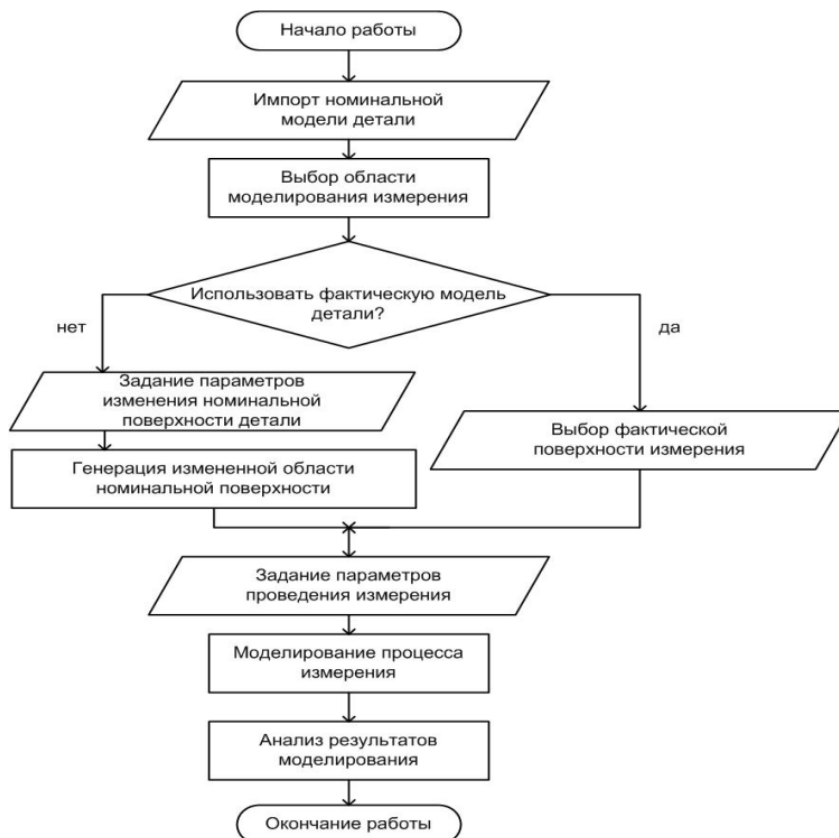


Рисунок 11 Блок схема информационной системы

Генерирование измеряемых поверхностей с различными параметрами используется для оценки влияния характеристик сложной поверхности на погрешность результатов измерения. Данная процедура производится по алгоритму, представленному на рисунке 2.



Рисунок 12 Алгоритм генерации сложной поверхности



После задания всех параметров измерения происходит численное моделирование процесса координатных измерений. Алгоритм численного моделирования представлен на рисунке 3.



Рисунок 13 Блок-схема процесса измерения сложной поверхности

В результате моделирования система получает данные о точках, указанных в таблице 1 и рис. 4:

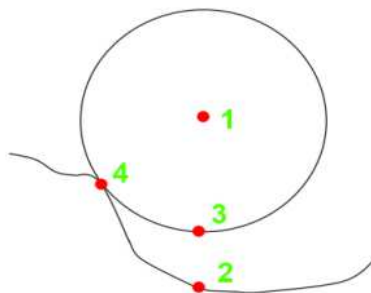


Рисунок 4 Точки, определенные в ходе численного моделирования

В качестве оценки неопределенностей измерения выступает функция (1):

$$\Delta = \sqrt{(x_{\phi} - x_{\kappa})^2 + (y_{\phi} - y_{\kappa})^2 + (z_{\phi} - z_{\kappa})^2}. \quad (1)$$



Таблица 1 - Точки, определенные в ходе численного моделирования

№	Обозначение	Описание
1	$(x_{ц}, y_{ц}, z_{ц})$	координаты центра измерительного щупа
2	$(x_{ф}, y_{ф}, z_{ф})$	фактическая точка измеряемой поверхности, которую планировалось измерить
3	$(x_{к}, y_{к}, z_{к})$	компенсированная точка измеренной поверхности
4	$(x_{фк}, y_{фк}, z_{фк})$	фактическая точка касания измеряемой поверхности и измерительного щупа
5	$(x_{ктр}, y_{ктр}, z_{ктр})$	контрольная точка номинальной поверхности, которую хотели определить на измеряемой поверхности

Использование приложения «UnEstimation» на модели реальной лопатки компрессора показало, что неопределенность результатов измерения данной детали существенно зависит от области измерения и погрешности изготовления лопатки компрессора. Для некоторых случаев величина погрешности может превышать допустимые значения неопределенностей измерений, что приводит к необходимости использования других методик компенсации, отличных от методики компенсации по нормали к номинальной поверхности. В данных случаях для получения более точных результатов измерения необходимо использовать методику компенсации по офсетной поверхности, построенной по центрам измерительного щупа.

Литература

1. Trapet E. The virtual CMM concept [Текст]/E. Trapet, F. Waldele // Presented at the Eurocongreence Advanced Mathematical Tools in Metrology. Oxford, 1995.
2. Болотов М.А. Погрешности контактных измерительных средств станков с ЧПУ при контроле геометрических параметров изделий [Текст]/ М.А. Болотов, А.Н. Жидяев, О.С. Сурков // Вестник СГАУ. - 2012. №3 (34) Часть 2 с. 157-163
3. Моденов П.С. Сборник задач по аналитической геометрии [Текст]/ П.С. Моденов, А.С. Пархоменко - М.: Наука. 1976. с. 384
4. Измаилов А.Ф. Численные методы оптимизации [Текст]/ А.Ф. Измаилов, М.В. Солодов - М.:ФИЗМАТЛИТ. 2005. с. 304
5. Rajamohan G. Effect of probe size and measurement strategies on assessment of freeform profile deviations using coordinate measuring machine [Текст]/ G. Rajamohan, M.S. Shunmugam, G.L. Samuel // Measurement, 2011, № 44, Pp. 832-841.