

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ

**С.С.Соколовский**, кандидат технических наук, доцент кафедры СМИС,  
**К.И.Дадьков**, преподаватель кафедры СМИС

Традиционные методы измерения отклонений от прямолинейности и плоскостности поверхностей характеризуются большой трудоемкостью и сложностью реализации. Количество и расположение контролируемых точек (сечений) при реализации традиционных методов измерения выбираются без учета реального характера рельефа или формы контролируемой поверхности. При измерении отклонений формы выпуклых, вогнутых, выпукло-вогнутых поверхностей, а также поверхностей более сложной формы ис-

пользуется один и тот же подход – необходимое количество контролируемых точек (сечений) определяется исходя из протяженности проверяемой поверхности и установленных требований к точности ее формы.

При отсутствии априорной информации о характере отклонений формы контролируемых поверхностей, когда поиск “пиковых” точек осуществляется “вслепую”, применение дискретных методов измерения, реализуемых по традиционной схеме, может считаться вполне оправдан-

ным. Если же априори известно, что получающиеся после изготовления поверхности стабильно имеют выпуклую, вогнутую или выпукло-вогнутую форму, то рациональность использования таких методов измерения в этом случае вызывает большие сомнения. Получаемая на их основе измерительная информация не оптимальна с точки зрения поставленной задачи измерения, а количество контролируемых точек явно избыточно. Очевидно, что в этой ситуации значительное число точек не оказывает никакого влияния на окончательный результат измерения. Отсюда вытекает задача определения минимально необходимого, но достаточного количества контролируемых точек, оптимального для адекватного моделирования выделенного класса поверхностей по результатам измерения отклонений точек. При этом адекватность принимаемой модели должна оцениваться с точки зрения требуемой точности результата измерения.

Характерной особенностью специально разработанных методов «семи точек» и «девяти точек», базирующихся на теореме Эйлера для криволинейных поверхностей, являются простота использования и небольшое количество контрольных точек по сравнению с традиционными методами. При этом учитывается форма измеряемой поверхности, которую аппроксимируют поверхностями второго порядка.

Масштабные исследования данных методов лучше проводить, используя имитационное моделирование, которое по сравнению с натурным экспериментом обладает рядом преимуществ. При имитационном моделировании можно задавать различные типы поверхностей, которые иногда получают в реальной практике, но трудно специально изготовить в условиях

производства, например гиперболический эллипс. Имитационное моделирование также значительно более экономично, так как при его применении для исследования объектов измерений параметров макро- и микрогеометрии не нужно тратить ресурсы на сам процесс изготовления деталей. При современном развитии вычислительной техники имитационное моделирование занимает несопоставимо меньше времени, чем натурный эксперимент, как при самих измерениях, так и при расчётах отклонений формы и расположения поверхностей.

При реализации методов «семи точек» и «девяти точек» необходимо наличие базовой точки, расположенной в геометрическом центре измеряемой поверхности, что обуславливает невозможность их использования для различных поверхностей с элементами прерывания. Большое влияние на значения относительной погрешности данных методов оказывает расположение центральной точки, отклонение которой от центра исследуемой поверхности из-за расположенного в центре элемента прерывания вызывает экспоненциально возрастающую относительную погрешность метода. При увеличении отношения «радиуса» элемента прерывания к «радиусу» исследуемой поверхности значения относительной погрешности метода быстро прогрессируют и выходят за допустимые нормированные значения.

Поэтому актуальна разработка нового метода апланометрии, в котором условие наличия центрально расположенной точки не было бы необходимым. В результате имитационного моделирования и практических исследований был предложен метод «шести точек», математический аппарат которого кардинально отличается от

математического аппарата ранее исследованных методов. Все шесть измеряемых точек должны быть по возможности максимально равноудалены друг от друга, при этом необязательно наличие центрально расположенной точки. Таким образом, использование метода «шести точек» даёт возможность определения отклонения формы и расположения поверхностей, у которых элементы прерывания занимают до 80% поверхности, при этом измерения отличаются минимальным количеством контрольных точек и простотой их расположения.

Поскольку представление о форме реальной поверхности можно получить только на основании результатов ее измерения, то на практике всегда имеют дело не с реальной, а с измеренной поверхностью, которая представляет собой модель реальной поверхности детали. Для каждой реальной поверхности всегда можно выделить низкочастотную и высокочастотные составляющие отклонений точек, характеризующие ее макрогеометрию (погрешность формы), причем высокочастотные отклонения точек, как правило, пренебрежимо малы по сравнению с доминирующей низкочастотной составляющей.

К аппроксимирующим поверхностям предъявляются следующие требования:

- аппроксимирующие поверхности, выступающие в роли моделей реальных поверхностей деталей, должны сглаживать заменяемые реальные поверхности наилучшим образом, т.е. обеспечивать пренебрежимо малое несоответствие модели реальному объекту измерения;

- аппроксимирующие поверхности должны достаточно просто описываться аналитически;

- аналитические модели аппроксимирующих поверхностей должны строиться по минимальному количеству контролируемых точек.

Следует отметить, что в общем случае размеры контролируемых поверхностей несоизмеримо малы в сопоставлении с радиусами кривизны аппроксимирующих поверхностей (в силу незначительного относительного искривления поверхностей из-за погрешностей их формы в пределах нормируемого участка). Это обстоятельство позволяет, выбирая произвольным образом базовую точку на контролируемой поверхности, рассматривать всю поверхность как некоторую локальную окрестность выделенной базовой точки и исследовать ее методами дифференциальной геометрии.

Погрешность метода при измерении возникает из-за идеализации измеряемого объекта при значимом отличии принятой за основу модели объекта измерения от самого объекта (реальной контролируемой поверхности). Степень воздействия данного источника методической погрешности зависит от ряда влияющих факторов (рис. 1), основными из которых являются:

- а) размах высокочастотных отклонений точек реальной поверхности ( $R$ -фактор);

- б) расстояние между контролируемыми точками ( $L$ -фактор);

- в) вид аппроксимирующей поверхности ( $F$ -фактор).

Размах высокочастотных отклонений точек реальной поверхности связан прямой зависимостью с относительной погрешностью метода. Амплитуда высокочастотных отклонений точек реальной поверхности не должна превышать одной

десятитысячной размера измеряемой поверхности.

Расстояние между контролируемыми точками с относительной погрешностью метода связано обратно пропорциональной зависимостью. Для наименьшей по-

грешности метода расстояние между контролируемыми точками должно быть максимальным.

Вид аппроксимирующей поверхности влияет на относительную погрешность метода незначительно.

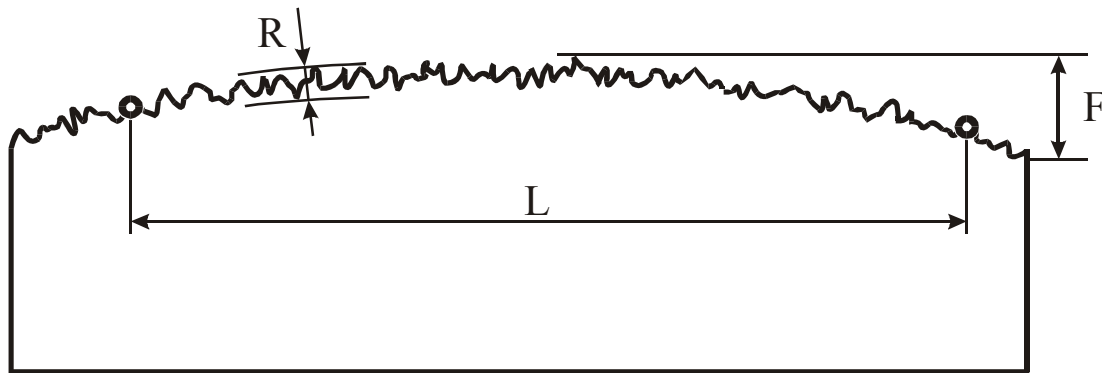


Рис. 1. Факторы, влияющие на методическую погрешность метода измерения

Исследования должны строиться на исходных данных в виде некоторого множества точек, случайным образом расположенных (рассеянных или разбросанных) по отношению к участку некоторой гладкой выпуклой (вогнутой или выпукловогнутой) теоретической поверхности второго порядка. Эта поверхность и будет определять в данном случае детерминированную низкочастотную составляющую отклонений точек (детерминированную модель реальной поверхности).

Методика имитационного моделирования должна включать следующие последовательно реализуемые стадии (рис. 2):

1) генерирование детерминированной модели реальной поверхности детали в виде аналитического выражения (уравнения) некоторой поверхности второго порядка. При этом для организации “слепого” эксперимента и для обеспечения необходимого разнообразия моделей в алго-

ритме их построения необходимо наличие некоторых стохастических элементов, как, например, случайный выбор вида поверхности второго порядка, ее определяющих параметров, расположения контролируемого участка и т.д.;

2) трансформация детерминированной модели в стохастическую модель реальной поверхности детали путем внесения возмущений с помощью генератора случайных отклонений точек. При этом предварительно должны быть выбраны вид закона распределения и значение дисперсии или среднего квадратического отклонения точек от детерминированной модели;

3) оценка отклонения формы полученной стохастической модели реальной поверхности детали;

4) сопоставление результатов оценки отклонения формы поверхности, полученных разными методами, и определение методических погрешностей.

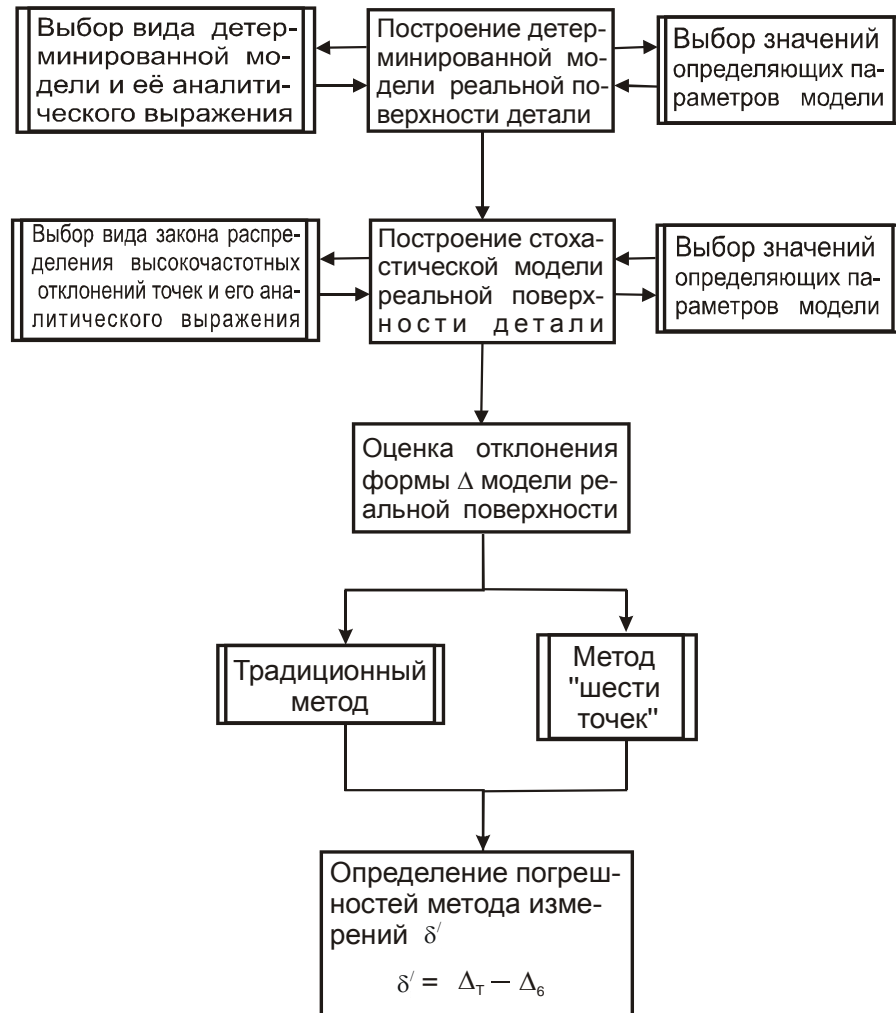


Рис. 2. Блок-схема проведения вычислительного эксперимента