

вания изготавливаемых поверхностей – одна из основных предпосылок разработки оптимизированных методик координатных измерений. На основе априорной информации о технологических процессах появляется возможность использовать при координатном контроле геометрических параметров деталей адекватные аналитические модели их реальных поверхностей, воспроизводимых по результатам измерения координат минимально необходимого, но достаточного количества контролируемых точек.

Наибольшего эффекта от такой минимизации количества контролируемых точек реальных элементов деталей можно достичь в случае оптимизации методик выполнения измерения и проектирования специальных многомерных (многощуповых) средств измерений. Отличительной особенностью таких средств измерений является возможность получать измерительную информацию с необходимого числа контрольных точек трехмерных поверхностей деталей при относительно небольших перемещениях многощуповой измерительной головки по одной координате. Конструкция таких приборов исключает погрешности, связанные с большими перемещениями измерительной головки и неперпендикулярностью осей координат отсчетных устройств. Разработанные принципы проектирования многомерных СИ и методик математической обработки поступающей с отсчетных устройств информации позволяют аналитически компенсировать погрешности, вызванные неточностью механических элементов конструкции.

УДК 621.713

**Моделирование многощуповых средств измерений  
для контроля геометрических параметров деталей**

Дадьков К.И., Котков Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Неотъемлемой частью любого технологического процесса являются контрольные операции. Наиболее широкими возможностями измерения геометрических параметров деталей обладают трехкоординатные средства измерений. Однако из-за большой универсальности эти средства не достаточно эффек-

тивны при контроле в массовом или крупносерийном производстве. Для таких производств они недостаточно производительны и используются, как правило, при выборочном контроле наиболее "ответственных" геометрических параметров детали.

В определенных случаях более выгодным представляется использование специальных средств измерений, причем наибольшую производительность могут обеспечить многомерные приборы. Возможности решения различных измерительных задач с использованием многомерных средств измерений столь же разнообразны, как и у трехкоординатных измерительных приборов. Наиболее рационально их использование для одновременного контроля ряда геометрических параметров деталей, относящихся к макрогеометрии поверхностей.

Работа многомерного средства измерений предусматривает последовательное срабатывание всех чувствительных измерительных элементов при перемещении блока преобразователей в одном выбранном направлении. Преобразователи, которые допускается использовать в многомерных средствах измерений, могут быть построены с учетом как аналогового, так и дискретного принципа преобразования измерительной информации. В таких преобразователях применяются емкостные, индуктивные, пьезоэлектрические и резистивные элементы.

Многомерные приборы, создаваемые на основе стандартных средств измерений и вспомогательных установочных узлов, отличаются существенными габаритами и, как правило, не высокой производительностью. Они имеют существенные ограничения по инструментальной доступности чувствительных элементов к контрольным точкам, сложностью считывания и обработки измерительной информации.

Очевидна необходимость создания нового класса многомерных-многощуповых приборов специального или специализированного назначения, построенных на базе передовых средств и методов измерений, новой элементной базы и современных принципов проектирования, а также принципов преобразования и обработки измерительной информации.

Эти средства измерения должны проектироваться в соответствии со следующими основными требованиями.

1. Многофункциональность и универсальность.

Многомерные-многощуповые средства измерений должны строиться на модульных принципах. Они компонуются из унифицированных, конструктивно и функционально законченных блоков (модулей): многощуповых блоков, модулей управляющих и логических устройств, измерительных и вспомогательных перемещений, загрузочных устройств и др. В качестве отсчетных устройств используются измерительные преобразователи с выдачей сигнала измерительной информации в цифровом коде.

2. Обеспечение точности измерений за счет уменьшения инструментальной составляющей погрешности измерений.

Отличительной особенностью многомерных-многощуповых средств измерений является возможность получать информацию о координатах выбранного числа контрольных точек трехмерных поверхностей детали при относительно небольших перемещениях многощуповой измерительной головки. Это обеспечивается соответствующим расположением измерительных наконечников (щупов) в пространстве, обеспечивающих их фиксированное положение по двум координатам, например,  $X$  и  $Y$ , что избавляет измерительную головку от рабочих перемещений по всем координатам. Собственно измерительные перемещения в этом случае в отличие от трехкоординатных приборов незначительно отличаются от величин допусков контролируемых параметров, а необходимые перебеги обеспечиваемые конструкцией чувствительного элемента могут быть минимум на порядок меньше, чем у трехкоординатных приборов.

Таким образом, конструкция многощуповых головок исключает погрешности средств, связанные с большими вспомогательными и измерительными перемещениями и минимизирует чувствительность прибора к непараллельности осей координат посадочных отверстий отсчетных устройств.

3. Обеспечение точности измерений за счет уменьшения методической составляющей погрешности измерений.

При разработке многомерных-многощуповых средств измерений появляется возможность оптимизации систем координат и уменьшения методической погрешности за счет исключения операции перехода от номинальной системы координат к системе координат средства измерения.

4. Высокая степень автоматизации.

При применении в качестве отсчетных устройств многомерных-многощуповых средств измерений измерительных преобразователей с выдачей сигнала измерительной информации в цифровом коде появляется возможность использовать встроенный микропроцессор или автономный компьютер. Применение вычислительной техники позволяет избавиться от необходимости отсчитывать и фиксировать показания отдельных приборов в течение цикла измерения и выполнять дополнительную математическую обработку результатов.

Применение вычислительной техники позволяет обеспечить получение, передачу, хранение и математическую обработку больших массивов измерительной информации, которая создается в ходе работ многомерного средства измерений. Однако для осуществления этих процедур необходима разработка соответствующего математического и программного обеспечения.

#### 5. Экономическая целесообразность использования.

Экономичность производства и эксплуатации многомерных-многощуповых средств измерений достигается за счет применения многощуповых блоков, к точности которых не предъявляются высокие требования. Компенсация неточности изготовления блоков осуществляется за счет их аттестации непосредственно на приборе с использованием специально разработанных образцовых деталей максимально упрощенной конфигурации.

Высокая эффективность применения координатных многомерных-многощуповых средств измерений может быть достигнута за счет оптимизации числа контролируемых точек реальных поверхностей деталей и оптимизации систем координат, заключающейся в максимальном сокращении числа точек без существенного риска увеличения погрешностей измерений. Результат такой оптимизации приводит к упрощению конструкции многомерного СИ и его удешевлению.

При разработке многомерных-многощуповых средств измерений проектируемый объект можно представить как иерархию диаграмм потоков данных, описывающих асинхронный процесс преобразования информации от ее поступления через чувствительные элементы первичных преобразователей до выдачи пользователю. Диаграммы верхних уровней иерархии (контекстные диаграммы) определяют основные компоненты многомерных-многощуповых средств измерений с внешними входами и

выходами. Они детализируются при помощи диаграмм нижнего уровня. Такая декомпозиция продолжается, создавая многоуровневую иерархию диаграмм, до тех пор, пока не будет достигнут такой уровень декомпозиции, на котором процесс преобразования измерительной становится элементарным и детализировать его далее невозможно.

Измеряемые физические величины порождают информационные потоки (потоки данных), переносящие информацию к компонентам многомерных-многощуповых средств измерений. Те в свою очередь преобразуют информацию и порождают новые потоки, которые переносят информацию к другим компонентам или подсистемам, накопителям данных или потребителям информации. Таким образом, основными компонентами диаграмм потоков данных являются:

- внешние сущности;
- подсистемы/компонеты;
- накопители данных;
- потоки данных.

Внешняя сущность представляет собой материальный предмет или физическое лицо, представляющее собой источник или приемник информации. При проектировании многомерных-многощуповых средств измерений внешними сущностями являются объекты измерений и пользователи измерительной системы. При построении модели сложной измерительной она может быть представлена в самом общем виде на так называемой контекстной диаграмме в виде одной системы как единого целого, либо может быть декомпозирована на ряд подсистем.

Накопитель данных представляет собой абстрактное устройство для хранения информации, которую можно в любой момент поместить в накопитель и через некоторое время извлечь, причем способы помещения и извлечения могут быть любыми.

Поток данных определяет информацию, передаваемую через некоторое соединение от источника к приемнику. Реальный поток данных может быть измерительной информацией, передаваемой по цепи преобразования измерительной информации либо по шине данных при обработке, хранении или представлении информации.

Первым шагом при построении иерархии диаграмм потоков данных является построение контекстных диаграмм. Обычно

при проектировании относительно простых измерительных строится единственная контекстная диаграмма со звездообразной топологией, в центре которой находится так называемый главный процесс, соединенный с приемниками и источниками информации, посредством которых с системой взаимодействуют пользователи и другие внешние системы.

Если же для сложной системы ограничиться единственной контекстной диаграммой, то она будет содержать слишком большое количество источников и приемников информации, которые трудно расположить на листе бумаги нормального формата, и кроме того, единственный главный процесс не раскрывает структуры распределенной системы. Признаками сложности (в смысле контекста) могут быть:

- наличие большого количества внешних сущностей;
- распределенная природа системы;
- многофункциональность системы с уже сложившейся или выявленной группировкой функций в отдельные подсистемы.

Для сложных измерительных строится иерархия контекстных диаграмм. При этом контекстная диаграмма верхнего уровня содержит не единственный главный процесс, а набор подсистем, соединенных потоками данных. Контекстные диаграммы следующего уровня детализируют контекст и структуру подсистем.

Иерархия контекстных диаграмм определяет взаимодействие основных функциональных подсистем проектируемой измерительной системы как между собой, так и с внешними входными и выходными потоками данных и внешними объектами (источниками и приемниками информации), с которыми взаимодействует измерительная система.

После построения контекстных диаграмм полученную модель следует проверить на полноту исходных данных об объектах системы и изолированность объектов (отсутствие информационных связей с другими объектами).

Для каждой подсистемы, присутствующей на контекстных диаграммах, выполняется ее детализация при помощи диаграмм потоков данных. При детализации должны выполняться следующие правила:

- правило балансировки - означает, что при детализации подсистемы или процесса детализирующая диаграмма в качестве внешних источников/приемников данных может иметь только те компоненты (подсистемы, процессы, внешние сущности, накопители данных), с которыми имеет информационную связь детализируемая подсистема или процесс на родительской диаграмме;

- правило нумерации - означает, что при детализации процессов должна поддерживаться их иерархическая нумерация. Например, процессы, детализирующие процесс с номером 12, получают номера 12.1, 12.2, 12.3 и т.д.

При построении иерархии диаграмм потоков данных переходить к детализации процессов следует только после определения содержания всех потоков и накопителей данных, которое описывается при помощи структур данных. Структуры данных конструируются из элементов данных и могут содержать альтернативы, условные вхождения и итерации. Условное вхождение означает, что данный компонент может отсутствовать в структуре. Альтернатива означает, что в структуру может войти один из перечисленных элементов. Итерация означает вхождение любого числа элементов в указанном диапазоне. Для каждого элемента данных может указываться его тип (непрерывные или дискретные данные). Для непрерывных данных может указываться единица измерения, диапазон значений, точность представления и форма физического кодирования. Для дискретных данных может указываться таблица допустимых значений.

После построения законченной модели системы ее необходимо верифицировать (проверить на полноту и согласованность). В полной модели все ее объекты (подсистемы, процессы, потоки данных) должны быть подробно описаны и детализированы. Выявленные недетализированные объекты следует детализировать, вернувшись на предыдущие шаги разработки. В согласованной модели для всех потоков данных и накопителей данных должно выполняться правило сохранения информации: все поступающие куда-либо данные должны быть считаны, а все считываемые данные должны быть записаны.