

КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Асп. СОЛОМАХО Д. В., канд. техн. наук, доц. СОКОЛОВСКИЙ С. С.

Белорусский национальный технический университет

Для решения различных измерительных задач, связанных с контролем геометрических параметров деталей машино- и приборостроения, используются разнообразные средства координатных измерений (СКИ). На сегодняшний день разработаны и серийно выпускаются сотни различных типов координатных измерительных приборов, каждый из которых характеризуется индивидуальным набором метрологических характеристик. Вместе с тем при проектировании методик выполнения измерений выбор их средств предполагает учет совокупности свойств, включающих в себя как метрологические характеристики, так и свойства, характеризующие конструктивное исполнение и особенности эксплуатации средств измерений. Для решения этой задачи целесообразно разработать общую систему классификации средств координатных измерений, которые являются сложными объектами исследования, и для их классификации можно использовать ряд различных классификационных признаков.

Наиболее распространенный классификационный признак, положенный в основу систематизации СКИ, – физический принцип преобразования измерительного сигнала [1, 2]. В то же время физический принцип измерения не является определяющим фактором при проектировании методик выполнения измерений геометрических параметров деталей. На практике при проектировании и реализации методик координатных измерений необходимо знать следующие особенности средств измерений:

- количество аппаратно-реализуемых осей координат;
- способ реализации системы координат;
- способ базирования объекта и средства измерения;

- характер взаимодействия с объектом измерения;
- область применения;
- степень универсальности.

Перечисленные характеристики и свойства СКИ образуют классификационные признаки, на основании которых может быть построена система классификации, представленная на рис. 1.

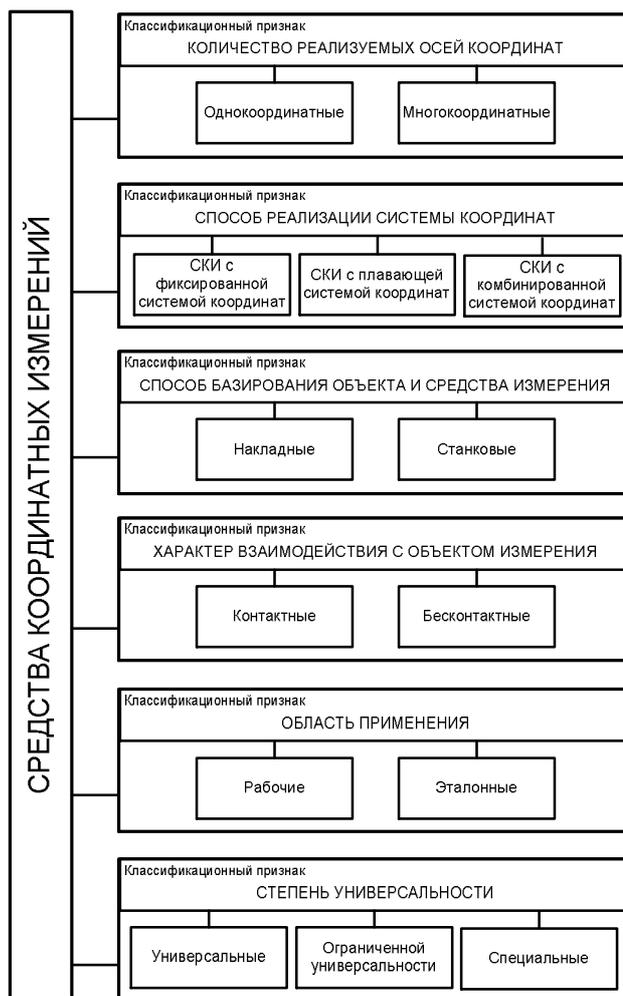


Рис. 1. Классификация СКИ

Координатные измерения могут осуществляться в различных системах координат: прямоугольной, полярной, цилиндрической и сферической. Выбор системы координат измерительного прибора обусловлен номинальной геометрической формой объекта контроля и видом измеряемого параметра. От вида реализуемой системы координат существенно зависит конструктивное исполнение прибора.

В зависимости от количества реализуемых аппаратно осей координат все используемые средства измерений могут быть классифицированы как одно- и многокоординатные. Получившие наиболее широкое применение СКИ, такие как штангенциркуль, микрометр, индикатор часового типа, закрепленный в стойке, являются однокоординатными средствами измерений.

К двухкоординатным СКИ относятся двухкоординатные измерительные приборы (ДИП), измерительные микроскопы, проекторы и т. д. Трехкоординатные СКИ обеспечивают одновременное измерение трех пространственных координат точек поверхности контролируемого объекта, реализуя контактный механический либо бесконтактный оптический принципы измерения. К таким СКИ относят трехкоординатные измерительные машины (КИМ), установки промышленной томографии, лазерного сканирования, голографии, интерферометрии и т. д.

В зависимости от способа базирования объекта и средства измерения различают накладные и станковые СКИ. Различие между данными типами СКИ состоит в том, что накладные СКИ оператор при проведении измерений держит в руках, в то время как станковые устанавливаются во вспомогательных установочных узлах (штативах, стойках и т. д.). Эти различия отражаются на структуре суммарной погрешности измерения, в частности при использовании накладных СКИ в суммарную погрешность результата измерения необходимо включать такие составляющие, как погрешность, обусловленная нагревом СКИ теплом рук оператора, а иногда и методическая составляющая погрешности, обусловленная несоблюдением принципа Аббе. Очевидно, что при использовании станковых СКИ удается полностью избежать возникновения первой составляющей суммарной погрешности, а также зачастую второй. Подробный анализ структуры погрешно-

сти измерения при использовании накладных и станковых СКИ приведен в [2].

В зависимости от способа реализации системы координат различают СКИ с фиксированной и плавающей системами координат. Как правило, накладные средства измерения реализуют плавающую систему координат, а станковые – фиксированную. Вместе с тем широко используемые в настоящее время сложные СКИ, позволяющие решать многие измерительные задачи, нельзя однозначно отнести к тому или другому классу. Это связано с тем, что в таких средствах (классическим примером является КИМ) системы координат самого СКИ и объекта измерения не совпадают. Более того, в современных СКИ такого рода используется виртуальная трехмерная модель объекта измерения, которая загружается в память СКИ в виде файла трехмерной модели одного из распространенных форматов (PRO-E, Solid Works, AutoCAD, Unigraphics и др.). Для реализации измерения в данном случае необходимо произвести ориентацию (либо совмещение) систем координат объекта измерения, его виртуальной модели и самого СКИ. Такие СКИ невозможно отнести к одному или другому классу, в связи с чем их целесообразно выделить в отдельный класс: СКИ с комбинированной системой координат.

Реализация различных физических принципов измерения координат точек контролируемых поверхностей позволила разработать контактные и бесконтактные СКИ. Как было отмечено выше, бесконтактные СКИ реализуют оптические физические принципы измерения, а контактные – механические.

В настоящее время для решения задач операционного контроля все чаще применяют бесконтактные СКИ, причем наибольшее распространение на сегодняшний день получили установки лазерного сканирования (УЛС). УЛС могут быть реализованы на различных принципах измерения, в частности на принципе трилатерации либо реализации полярной системы координат.

Исходя из области применения все СКИ можно разделить на рабочие и эталонные. К рабочим относятся средства измерений, используемые на практике для измерения параметров различных объектов (промышленной продукции, процессов и т. д.). При этом цели таких измерений могут существенно отличаться. В то

же время эталонные средства измерений не предназначены для практических измерений физических величин, а служат только для передачи размеров единиц физических величин нижестоящим по метрологической соподчиненности средствам измерений, вплоть до рабочих. Таким образом, основное назначение таких средств измерений состоит в обеспечении прослеживаемости результатов измерений физических величин, получаемых с помощью рабочих средств измерений, до единиц физических величин Международной системы измерения (СИ), воспроизводимых с помощью национальных или международных эталонов.

В зависимости от степени универсальности СКИ подразделяют на универсальные, ограниченной универсальности и специальные. Основным критерием универсальности, по которому СКИ подразделяют на три класса, является гибкость реализуемой на их базе измерительной процедуры – интегральный показатель, сочетающий в себе:

- количество измерительных задач, при решении которых может быть использовано данное СКИ;
- степень автоматизации процесса измерения;
- возможность измерения геометрических параметров деталей различных габаритов и массы;
- возможность измерения геометрических параметров деталей с различными по номинальной форме поверхностями;
- возможности по перенастройке и перепрограммированию СКИ при переходе от измерения одной детали к другой.

Универсальные СКИ характеризуются максимальной гибкостью измерительной процедуры. СКИ, являющиеся универсальными, позволяют решать практически весь круг задач, относимых к линейным и угловым измерениям, т. е. определять отклонения размеров, формы и расположения любых поверхностей широкой номенклатуры деталей. Некоторые СКИ имеют в своем составе также интегрированные средства измерения параметров микрогеометрии деталей. Процесс измерения при использовании универсальных СКИ в значительной степени автоматизирован. К данному классу относятся такие СКИ, как КИМ, установки промышленной томографии и лазерного сканирования.

СКИ ограниченной универсальности характеризуются средней степенью гибкости изме-

рительной процедуры. Использование данных СКИ (в том числе с различными вспомогательными приспособлениями) позволяет производить измерения большинства параметров макрогеометрии поверхностей деталей. Кроме того, данные СКИ могут использоваться при измерении геометрических параметров широкой номенклатуры деталей практически без ограничений по габаритным размерам и массе. Примеры использования СКИ ограниченной универсальности при измерении параметров габаритных массивных деталей (турбинные, прокатные и коленчатые валы) можно найти в [3]. Единственным серьезным ограничением их применения является наличие у объекта измерения «сложных» поверхностей второго и более высоких порядков (эллиптические, тороидальные, параболоидные и другие поверхности). Вместе с тем измерения с использованием таких СКИ являются чаще всего неавтоматизированными, и данные средства измерения редко позволяют получить электрический сигнал измерительной информации для его последующей обработки, что приводит к необходимости ручного расчета измеряемых параметров.

К СКИ ограниченной универсальности относятся как простейшие средства измерения – штангенциркули, микрометры, индикаторные головки часового типа и рычажно-зубчатые измерительные головки, микаторы и другие, так и более сложные по своей конструкции ДИП, измерительные микроскопы, интерферометры и т. д.

Специальные СКИ рассчитаны на измерение одного или нескольких геометрических параметров детали определенного типоразмера. Гибкость измерительной процедуры в этом случае является минимальной. При этом данные СКИ могут характеризоваться высокой степенью автоматизации измерительной процедуры, автоматическим расчетом измеряемых параметров, широкими возможностями по перепрограммированию. Кроме того, использование данных СКИ часто позволяет повысить производительность измерений и не требует высокой квалификации оператора и специальных условий окружающей среды (термостатирование помещения, виброизоляция и др.).

Немаловажной особенностью специальных средств измерения является их приспособленность к измерению сложных поверхностей. На

машиностроительных предприятиях нашли широкое применение специальные средства измерения параметров колец подшипников, сфер и конусов, лопаток турбин, кулачков и других деталей со сложными поверхностями.

Сравнительная характеристика универсальных, специальных и СКИ ограниченной универсальности приведена в табл. 1.

Таблица 1

Вид СКИ	Характеристика	Особенности методик выполнения измерений (МВИ)	Пример реализации
Универсальные	<p>Позволяют обеспечить максимальную гибкость измерительной процедуры, что выражается в:</p> <ul style="list-style-type: none"> • возможности измерения всей совокупности параметров макро- и микрогеометрии детали; • полной автоматизации процесса измерения, включающей выполнение измерения, обработку измерительной информации, хранение информации, печать отчетов и т. д.; • возможности измерения широкой номенклатуры деталей с ограничениями по габаритным размерам и массе 	<p>При использовании данных СКИ могут применяться типовые МВИ, позволяющие решать широкий спектр измерительных задач. В связи с высокой производительностью средств измерений МВИ не требует специальной оптимизации количества контрольных точек и методики обработки результатов измерений. Вместе с тем для некоторых поверхностей (например, для поверхностей вращения с элементами прерывания) применение типовых МВИ приводит к возникновению в результате измерения существенной методической составляющей погрешности [4]. В таких случаях требуется применять оптимизированные МВИ</p>	<ul style="list-style-type: none"> • КИМ; • установки промышленной томографии; • установки лазерного сканирования и т. д.
Ограниченной универсальности	<p>Характеризуются средней степенью гибкости измерительной процедуры, что выражается в:</p> <ul style="list-style-type: none"> • возможности измерения большинства параметров макро- и микрогеометрии детали; • как правило, отсутствие средств автоматизации обработки результатов измерений; • возможности измерения широкой номенклатуры деталей практически без ограничений на габаритные размеры и массу; • ограниченных возможностях по измерению параметров геометрии сложных поверхностей (второго и более высоких порядков) 	<p>При использовании данных СКИ могут применяться типовые МВИ, позволяющие производить измерения геометрических параметров деталей широкого диапазона типоразмеров. Типовые МВИ предполагают ограниченное количество контрольных точек и единую методику обработки результатов измерений. Применяемые при этом МВИ не позволяют измерять параметры сложных поверхностей второго и более высоких порядков, а для решения этих задач необходимо создать специализированные МВИ</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Штангенциркули; • микрометры; • индикаторные головки; • микаторы; • ДИП; • измерительные микроскопы; • интерферометры и т. д.
Специальные	<p>Характеризуются низкой степенью гибкости измерительной процедуры, что выражается в возможности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • измерения одного или нескольких геометрических параметров определенной детали; • обеспечения высокой степени автоматизации процесса измерения; • обеспечения высокой производительности измерения 	<p>Специальные средства измерений создаются непосредственно для реализации той или иной МВИ, т. е. в этих средствах конструктивно реализован определенный набор чувствительных элементов, позволяющий измерить координаты необходимого количества контрольных точек детали. Как правило, при проектировании МВИ решают задачу оптимизации числа контрольных точек</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Специальные средства измерения геометрических параметров деталей

ВЫВОД

Таким образом, приведенная система классификации СКИ включает в себя особенности, влияющие на проектирование методик выполнения измерений геометрических параметров деталей машиностроения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Технический** контроль в машиностроении: справ. проектировщика / В. Н. Чупырин [и др.]; под общ. ред. В. Н. Чупырина, А. Д. Никифорова. – М.: Машиностроение, 1987. – 512 с.
2. **Марков, Н. Н.** Погрешность и выбор средств при линейных измерениях / Н. Н. Марков, Г. Б. Кайнер, П. А. Садеротов. – М.: Машиностроение, 1967. – 392 с.
3. **Радев, Х.** Метод измерения отклонений формы и расположения поверхностей и осей ротационных деталей относительно виртуальной базовой оси / Х. Радев // Метрология и метрологическое обеспечение: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–27 апр. 2007 г. / редкол. В. Н. Корешков [и др.]; под общ. ред. В. Н. Корешкова. – Минск: БелГИМ. – С. 54–59.
4. **Кротова, О. А.** Координатные измерения ограниченных участков поверхности с учетом коэффициентов воспроизводимости технологического процесса / О. А. Кротова // Вестник БНТУ. – 2005. – № 3. – С. 52–56.

Поступила 02.12.2009