

*Е.В. НАБОКА*, канд. техн. наук, *В.В. ЛЫСЮК*, НТУ «ХПИ», г. Харьков

## **АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ НА КООРДИНАТНО – ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ**

В статье рассмотрены вопросы точности измерений на координатно-измерительных машинах, предложена схема погрешности координатных измерений с основными составными компонентами и действующими на них факторами. Рассмотрены методы оценки погрешности КИМ.

In a paper questions of an exactitude of measurements on coordinate measuring machines surveyed, the scheme of a lapse of coordinate measurements with the basic compound components and factors operating on them is offered. Methods of error estimation CMM surveyed.

Повышение качества показателей машиностроительного производства – наиважнейшая научно – техническая проблема отечественного машиностроения. В связи с этим повышаются требования и к качеству контроля производимой продукции. Для измерения деталей с соблюдением требований ISO применяются координатно – измерительные машины (КИМ) последнего поколения.

В процессе измерения с помощью КИМ участвует большое число взаимодействующих узлов и систем, измерения выполняются в пространстве, результаты измерения определяются на базе значительного объема информации, решаются различные метрологические задачи, в том числе сложные, определяемые по нескольким криволинейным поверхностям, используются разные средства представления результатов измерения. Условия автоматизированного, интенсивного производства предъявляют требования выполнения измерений непосредственно в производственных условиях. Поэтому вопросы точности координатных измерений являются наиболее сложными.

Достижимая точность измерений зависит от конструкции объекта и его компонентов. При этом нужно различать ошибки отдельных частей устройства и ошибки, возникающие при измерениях.

Погрешности, зависящие от компонентов устройства:

- Отклонения от позиционирования;
- Отклонения от прямолинейности;
- Отклонения от прямоугольности;
- Отклонения при вращении;
- Погрешности зондирования.

Погрешности измерения:

- Погрешность измерения длины.

Для отдельных частей прибора могут быть использованы данные из спецификации точности для координатных измерительных приборов СММА (Ассоциация производителей координатно-измерительных машин), которая возникла из-за отсутствия стандарта, такого как ISO. В рекомендациях СММА определяется также общая погрешность измерения.

Спецификация описывает:

- независимые методы для определения геометрических ошибок приборов. Они включают измерения прямолинейности осей, их перпендикулярности, а также ошибки при позиционировании;
- определение окончательных мер для установления общей погрешности измерений. Они включают аксиальную погрешность измерения длин, объемную погрешность их измерения и воспроизводимость этих измерений.

Для обеих категорий изготовители указывают характеристики на основе статистической вероятности 95%. Для получения достаточно надежных статистических данных необходимо провести большое число измерений, что для конечной приемки потребителем является нецелесообразным, так как требует больших затрат времени, сложного испытательного оборудования и весьма стабильных параметров окружающей среды. Кроме того, и другие учреждения занимаются определением точности: например, рабочая группа CIRP, задачей которой является определение объемной погрешности измерений координатно-измерительных приборов. В ФРГ в этой области действует специальный комитет Обществ немецких инженеров и немецких электротехников (VDI/VDE) по измерительной регулирующей технике (GMR), считающий это направление основным в своей деятельности. В США в рамках Американского общества инженеров-механиков (ASME) разработкой руководящих указаний по приемке координатно-измерительных машин занимается комитет В 98.1.12.

Схема погрешности координатных измерений с основными составными компонентами и действующими на них факторами представлена на рисунке (рис. 1). По степени влияния на погрешность КИМ, определяемой аппаратурной ее частью, основными и практически равноценными являются механическая конструкция, реализующая координатную систему КИМ, измерительные системы и ИГ. Анализ различных КИМ свидетельствует, что между погрешностями, вносимыми измерительными системами, механической конструкцией координатных перемещений и ИГ, существует соотношение  $1:(1...2):1$  – для прецизионных и малогабаритных КИМ;  $1:(1...1,5):(0,1...0,5)$  – для производственных и крупногабаритных КИМ. Большое влияние на их значение оказывают факторы окружающей среды, в первую очередь температура и ее изменение во времени. Вследствие этого происходят не только линейные удлинения измерительных линеек, но и потеря точности узлов координатных перемещений из-за деформации корпусов, к которым прикреплены направляющие. Также следует обратить внимание на чувствительность к быстротечным изменениям температуры удлинителей и стержней измерительных щупов ИГ при длительном измерении сложных деталей.

Основной, наиболее распространенной характеристикой точности КИМ является максимальная погрешность измерения длины  $E$  в направлениях, параллельных координатным осям, выражаемая зависимостью от измеряемой длины  $L$  (ISO 10360-2):

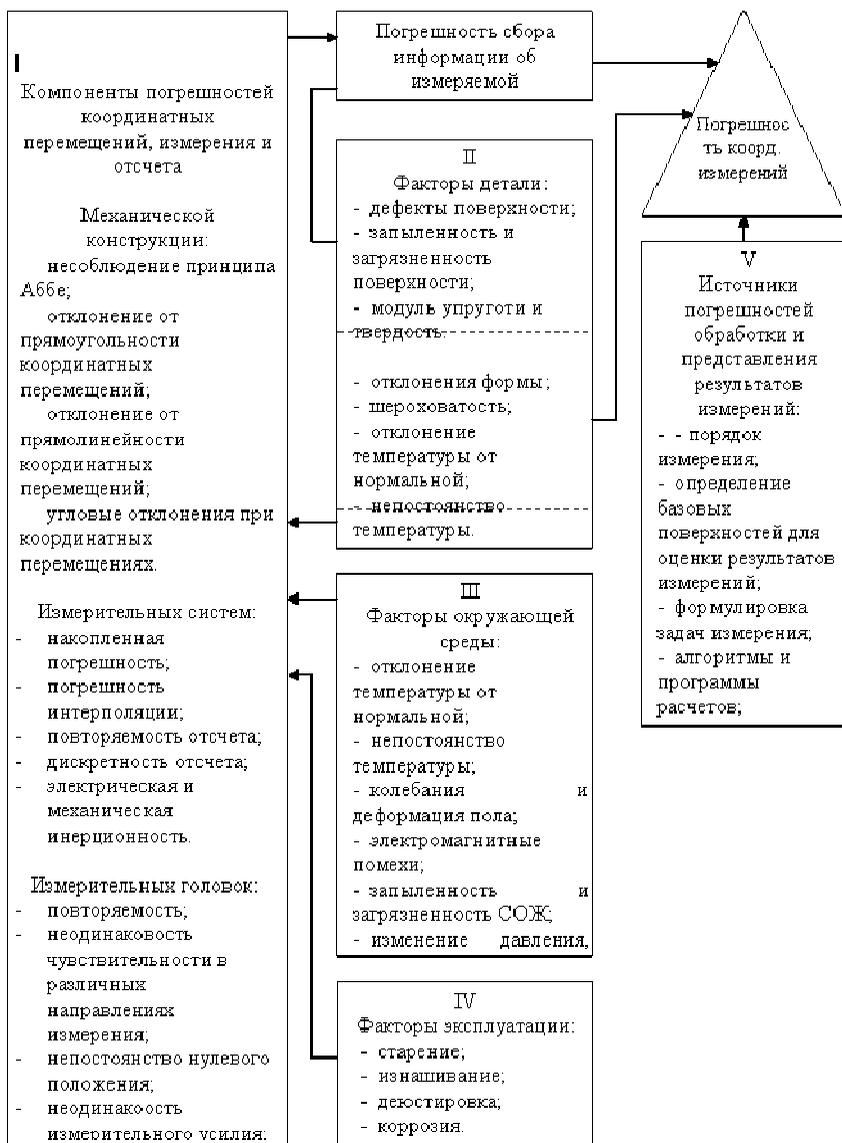


Рис. 1. Схема погрешности координатных измерений.

$$E = k_0 + k_1L,$$

где  $k_0$  – коэффициент, определяемый компонентами погрешности измерения, не зависящими от измеряемой длины (погрешности ИГ, электрическая инерционность, дискретность и короткопериодические погрешности узлов координатных перемещений, погрешности, связанные с динамическими яв-

лениями);

$k_1$  – коэффициент, определяемый компонентами, зависящими от измеряемой длины  $L$  (длиннопериодические погрешности измерительных систем измерительных систем и узлов координатных перемещений, воздействие температуры окружающей среды, деформации устройств координатных перемещений).

Задачей поверки КИМ является определение погрешностей ее параметров и пригодности для измерения определенных геометрических размеров деталей. Указанными рекомендациями предусматриваются и на практике используются два метода поверки – комплексный и поэлементный.

Оба метода не исключают один другого, а дополняют. При выпуске из производства КИМ поверяются обоими методами. В период эксплуатации поэлементным методом КИМ поверяется обычно 1 – 2 раза в год, а для выявления причин потери точности проводится комплексная поверка с периодичностью от 1 до 4 раз в месяц.

При комплексной поверке оцениваются все компоненты погрешностей КИМ, которые влияют на точность измерения геометрических параметров применяемых образцов. Комплексная поверка более оперативна, оценивает погрешности как сбора информации, так и ее обработки и представления. Однако она имеет ограниченный характер, так как выявляет только погрешности, присущие измерению тех геометрических параметров, которые содержат образцы, используемые для поверки КИМ. Ограниченность данного метода заключается в сложности изготовления образцов, с помощью которых можно было бы поверить КИМ в полном объеме ее метрологических возможностей, а также в аттестации образцов. Как правило, в качестве образцов для комплексной поверки КИМ используются высокоточные детали простой формы, погрешности которых достоверно могут быть аттестованы с помощью образцовых универсальных специальных измерительных средств.

Поэлементная поверка необходима для оценки отдельных элементарных погрешностей, связанных с конструкцией КИМ. Погрешности, обусловленные обработкой и представлением результатов измерения, при поэлементной поверке не выявляются.

Поэлементная поверка КИМ поверяет следующие нормы точности: погрешность измерения линейных координатных перемещений; отклонение от прямолинейности координатных перемещений; отклонение от взаимной перпендикулярности координатных перемещений; угловые колебания подвижных узлов координатных перемещений; погрешности измерительной головки.

Поверка погрешностей измерения линейных координатных перемещений производится по всем осям с помощью средств измерения линейных перемещений. Наиболее перспективным и широко используемым средством является лазерный интерферометр. Основными его достоинствами являются высокая точность, удобство измерения в любых направлениях, возможность автоматизации процесса поверки и обработки результатов измерения. Для

этого лазерный интерферометр используется в комплекте с подключаемой к нему ЭВМ с периферийными устройствами и специальным программным обеспечением.

Проверка отклонений от прямолинейности координатных перемещений производится вдоль каждой оси в совпадающих с линией измерения двух плоскостях, перпендикулярных между собой и параллельных двум координатным осям. Для ее реализации используется лазерный интерферометр, оснащенный специальной оптикой для измерения прямолинейности и образцовые меры прямолинейности.

Проверка отклонений от взаимной перпендикулярности координатных перемещений осуществляется для всех трех осей и осуществляется также интерферометрическим методом.

Проверка угловых колебаний узлов координатных перемещений производится по всем трем координатным осям в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, параллельных координатным плоскостям. Две плоскости проходят через линию измерения, а третья – перпендикулярна данной линии.

Проверка погрешностей ИГ включает оценку трехмерной, двумерной и одномерной погрешности измерения.

Трехмерную погрешность измерения проверяют измерением калибровочной сферы в 50 точках, равномерно расположенных в полусфере, при подведении шупа по нормали к поверхности. Вычисляется средняя сфера, ее центр и расстояние отдельных измеренных точек от центра средней окружности. Трехмерная погрешность определяется разностью расстояния точек от центра средней сферы и радиусом средней сферы.

Двумерная погрешность проверяется измерением 50 точек, равномерно расположенных по окружности на образцовом кольце. Результат проверки определяется разностью расстояния отдельных точек от центра средней окружности, рассчитанной по измеренным 50 точкам, и радиусом средней окружности. Погрешности формы сферы и кольца не должны превышать 0,2 допустимых трехмерной и двумерной погрешностей ИГ.

Одномерная погрешность определяется измерением концевой меры небольшой длины в 50 точках. Результат проверки определяется разностью отдельных и средних значений длины.

Не менее 95% результатов измерения отдельных точек каждой проверки должны находиться в заданных пределах.

**Список литературы:** 1. *Шухгальтер Л.Я.* Управление качеством машин. М.: Машиностроение, 1977. 96 с. ; 2. Технологические основы обеспечения качества машин / К.С. Колесников, Г.Ф. Баландин, А.М. Дальский и др. М.: Машиностроение, 1990. 256. 3. *Гаврылюк Ю.Р., Бочаров В.Б.*, Анализ современных компьютерных систем для металлорежущего оборудования./ Інформаційні технології Т.: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я Праці науково – практичної конференції. – Харків: НТУ «ХП», 2004. 4. *Технология машиностроения: В 2т. Т. 1. Основы технологии машиностроения.* / Под ред. А.М. Дальского. М.: МГУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 564 с.

*Поступила в редколлегию 16.04.2010*