

РАЗРАБОТКА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, МЕТОДИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ЗУБОНАРЕЗНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

И.В. Сурков

Приведено описание разработанного оборудования, методического и программного обеспечения для координатных измерений геометрических параметров зубчатых колес и зубонарезных инструментов. Рассмотрены вопросы практического применения методики объемной калибровки координатно-измерительных машин, приборов и систем с последующей программной компенсацией выявленных систематических погрешностей, а так же особенности размерно-точностного анализа результатов координатных измерений.

Ключевые слова: координатно-измерительные машины и системы, программное обеспечение для координатных измерений, контроль зубчатых колес и зубонарезных инструментов.

1. Введение

В большинстве современных изделий, выпускаемых предприятиями машиностроения и приборостроения, используются зубчатые передачи, которые в конструктивном, технологическом и метрологическом отношении являются одними из наиболее сложных элементов машин и механизмов. Рост требований к качеству зубчатых колес и передач приводит к непрерывному совершенствованию и усложнению методов их проектирования, технологий изготовления, средств и методов контроля.

При контроле зубчатых колес помимо универсальных и специальных средств измерения типовых геометрических параметров (размеров элементов: диаметра и отклонения от цилиндричности базового отверстия, шеек под подшипники вала–шестерни; расстояний между торцами; отклонений от перпендикулярности или параллельности и т. д.) применяют большое число специализированных приборов контроля параметров, характеризующих эксплуатационные показатели зубчатого колеса или зацепления [1].

На российских предприятиях машиностроения и приборостроения сегодня применяется широкая номенклатура средств измерения геометрических параметров зубчатых колес. Это в основном ручные не автоматизированные приборы традиционной конструкции, выпущенные советскими инструментальными заводами (в т.ч. Челябинским инструментальным заводом (ЧИЗ)) в 60–80-х годах прошлого века. Эти приборы морально устарели и в результате длительной эксплуатации потеряли свои точностные характеристики. Учитывая некоторый здоровый «консерватизм» присущий

большинству работников метрологических и технологических подразделений предприятий ЗАО «Челябинский научно-исследовательский и конструкторский институт средств контроля и измерений в машиностроении» (ЗАО «ЧелябНИИконтроль») продолжает выпускать большинство моделей зубоизмерительных приборов традиционной номенклатуры ЧИЗ (биениемер Б-10М, межцентромеры МЦ-160, МЦ-400, кинематомер 5094). Но большой проблемой является низкий уровень автоматизации и узкая специализация этих приборов, т. е. для каждого контролируемого параметра необходимо применять свое средство измерения [2]. Это неудобно и потребителю (необходимо иметь полный комплект разнообразных приборов) и производителю (широкая номенклатура конструкций приборов, выпускаемых неритмично и единичными экземплярами).


Анализ современных тенденций развития машиностроительного комплекса показал, что обеспечение качества выпускаемой продукции в современном многономенклатурном производстве невозможно без гибких систем автоматизированного контроля. На российских предприятиях необходимо внедрять новые методы и средства контроля, в том числе наиболее эффективные на сегодняшний день координатные измерительные машины (КИМ), приборы и системы (КИС) различных компоновок и типоразмеров. Положенный в основу работы КИМ и КИС координатный метод измерения является наиболее универсальным и может эффективно применяться для автоматизированного контроля широкой номенклатуры прецизионных деталей и инструментов (в том числе зубчатых колёс различного профиля).

2. Принципы координатных измерений

Принципиальная основа координатного метода измерения заключается в том, что любую поверхность или профиль можно представить состоящей из бесконечного числа отдельных точек и если известно положение в пространстве какого-то ограниченного числа этих точек (массив точек), т. е. определены их координаты, то по соответствующим формулам (алгоритмам) можно рассчитать размеры этих поверхностей (профилей) и отклонения формы, а также определить расположение поверхностей (профилей) в пространстве и между собой (координатные размеры и отклонения расположения) [3].

Можно выделить два взаимосвязанных технических комплекса, необходимых для выполнения координатных измерений и оказывающих влияние на их точность:

1. Аппаратная часть – это комплекс из оборудования, на основе интегрированных мехатронных модулей (механические узлы, электронные компоненты, программное обеспечение низшего уровня), измерительных устройств, калибровочной и вспомогательной оснастки, которые обеспечивают получение массивов значений координат отдельных точек, принадлежащих контролируемым поверхностям детали. В машиностроении



широко используют КИМ и КИС различных типов с контактными и/или оптическими головками, а также контактные и лазерные измерительные головки для решения технологических задач при обработке на станках с ЧПУ. Качество проектных решений, точность изготовления и сборки измерительного оборудования напрямую влияет на величину погрешности определения координат измеряемых точек.

2. Программно-методическая часть – это, прежде всего, базовый комплекс информационно-методических материалов (стандарты, технические условия, эксплуатационная документация, методики выполнения измерений), интеллектуальных ресурсов (уровень подготовки, практический опыт и навыки инженеров-метрологов и операторов КИМ и КИС), математических моделей и алгоритмов для управления измерительным оборудованием, анализа измеренных данных и расчета заданных линейно-угловых параметров. Для эффективной реализации каждой составляющей базовой части комплекса применяют специализированное метрологическое программное обеспечение (ПО) для координатных измерений.

3. Разработка и производство оборудования для координатных измерений

В соответствии с планом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) ЗАО «Челябинский научно-исследовательский и конструкторский институт средств контроля и измерений в машиностроении» (ЗАО «ЧелябНИИконтроль») выполняется разработка новой серии многофункциональных измерительных приборов и систем модульной конструкции, предназначенных для высокоточных измерений деталей и инструментов со сложнопрофильными поверхностями, по сути специализированных КИС. На стадиях проектирования, изготовления и испытаний новых приборов проводятся исследовательские работы и выполняются мероприятия для снижения нормируемой погрешности координатных измерений (рис. 1).

Для проведения предварительного анализа кинематики приборов, особенностей закрепления различных конструкций и типоразмеров измеряемых деталей специалисты ЗАО «ЧелябНИИконтроль» выполняют компьютерное моделирование новых вариантов структур и компоновок измерительных систем. Широко используются принципы сквозного компьютерного проектирования (CALS технологии). Сокращение времени разработки и снижение себестоимости изготовления новых измерительных приборов достигается за счет обеспечения модульности конструкций механических узлов, электронных блоков и программного обеспечения. Унификация модулей позволяет получить широкую гамму измерительных приборов и систем различного назначения и компоновки из ограниченного числа функциональных модулей и узлов. Используются модули и узлы собственной разработки, комплектующие ведущих мировых производителей (Renishaw,

Siemens, INA и др.), а также модернизированные узлы существующих конструкций приборов. Замена механических модулей мехатронными позволяет значительно сократить длину кинематических, функциональных и размерных цепей, повысить точность и степень автоматизации процессов контроля.

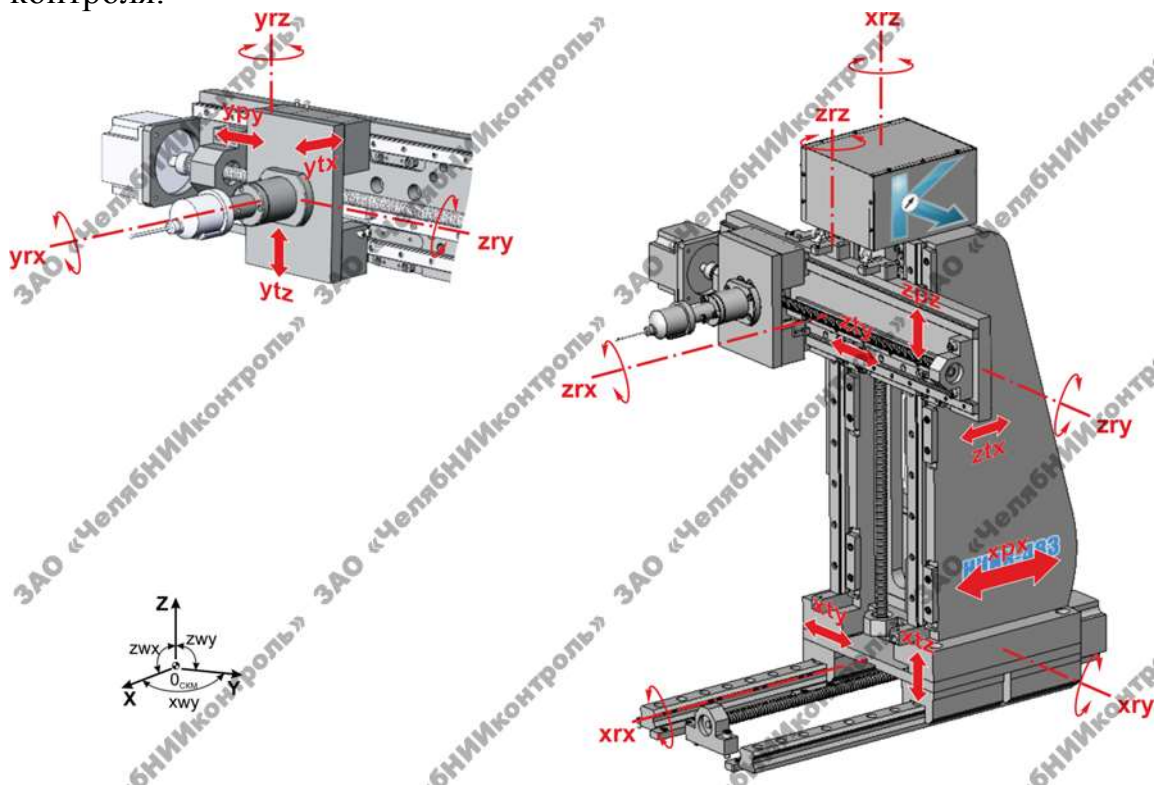


Рис. 1. Расчетная схема калибровки геометрических погрешностей специализированной КИС НИИК-483

Часть традиционных зубоизмерительных приборов за счет установки мехатронных модулей, применения систем компьютерного управления и специализированного метрологического программного обеспечения (ПО) преобразована в современные информационно-измерительные комплексы и системы.

В 2008 г. изготовлена и внесена в Госреестр средств измерения трехкоординатная многофункциональная измерительная система НИИК-484 (для контроля параметров зубчатых колес, червячных фрез, долбяков). Управление системой, перемещение узлов осуществляет оператор, съём измерительной информации, расчеты, оформление протоколов автоматизированы за счет использования ПО «ТЕХНОкоорд».

Для реализации полностью автоматизированного цикла координатных измерений высокоточных деталей и инструментов со сложнопрофильными поверхностями в 2008–2013 гг. выполнен большой объём НИОКР, изготовлены и испытаны несколько прототипов новой четырехкоординатной измерительной системы с компьютерным управлением НИИК-483. КИС

НИИК-483 (рис. 2) является многофункциональной и гибкой базовой платформой для создания целого комплекса координатно-измерительных приборов, машин и систем. Например, по заказу ОАО «НИИИзмерения» были разработаны и изготовлены механические части КИС для контроля червячных фрез (БВ-5139) и долбяков (БВ-5140). Результаты испытаний учтены в новой усовершенствованной серии КИС НИИК-485. В зависимости от требований заказчиков для сборки готовой системы используются типовые функциональные модули, узлы и электронные блоки собственной разработки, комплектующие ведущих мировых производителей (энкодеры и измерительные головки Renishaw, привода и контроллеры Siemens, Bosch Rexroth, линейные направляющие и подшипники INA и др.). Разработанное ПО «ТЕХНОкоорд-4К» с дополнительными программными модулями обеспечивает выполнение автоматизированных циклов контроля геометрических параметров насадных и валковых зубчатых колес (рис. 3), резьбовых калибров, червячных фрез и других высокоточных деталей и инструментов со сложнопрофильными поверхностями.



Рис. 2. Четырехкоординатная измерительная система НИИК-483



Рис. 3. Контроль зубчатого колеса на КИС НИИК-483

4. Разработка программного обеспечения для координатных измерений

Новые и модернизированные приборы оснащаются специализированным метрологическим ПО собственной разработки, которое включает в себя не только модули для получения, обработки и анализа измерительной информации, но и удобные графические интерфейсы пользователя, настраиваемые на конкретную операцию измерения, а также средства для формирования подробных отчетов, для статистической обработки результатов измерения. Разработанное программистами института ПО для КИМ «ТЕХНОкоорд» (Технология Координатных Измерений) обеспечивает работу с трехмерными моделями измеряемых деталей в соответствии со стандартами CALS-технологий. В зависимости от функционального назначения КИМ или КИС в базовое ПО «ТЕХНОкоорд» включаются дополнительные программные модули: «ТЕХНОкоорд-ОпТИС» (работа с «системой технического зрения»), «ТЕХНОкоорд-Эвольвента» (измерение зубчатых колес (рис. 4)), «ТЕХНОкоорд-4К» (управление четырехкоординатными измерительными системами с поворотным столом (типа НИИК-483)).

В ПО «ТЕХНОкоорд» разработанные математические модели и расчетные алгоритмы реализованы в виде модуля размерно-точностного анализа результатов координатных измерений [4].

По координатам измеренных точек, принадлежащих реальным геометрическим элементам детали (первичная информация о реальной геометрии), рассчитывается ассоциированная (числовая) модель детали в виде комплекта заменяющих элементов, упорядоченно расположенных в обобщенной системе координат. Для анализа действительных размеров, отклонений формы и расположения элементов контролируемой детали разработаны комплекты типовых размерно-точностных моделей. Наглядные трехмерные структурно-геометрические схемы облегчают выбор адекватной модели и снижают вероятность ошибок.

ПО «ТЕХНОкоорд» дает возможность пользователю создавать нестан-

дартные размерно-точностные модели, например, применять для расчета параметров заменяющей поверхности другие критерии аппроксимации или использовать для одной поверхности несколько критериев одновременно.

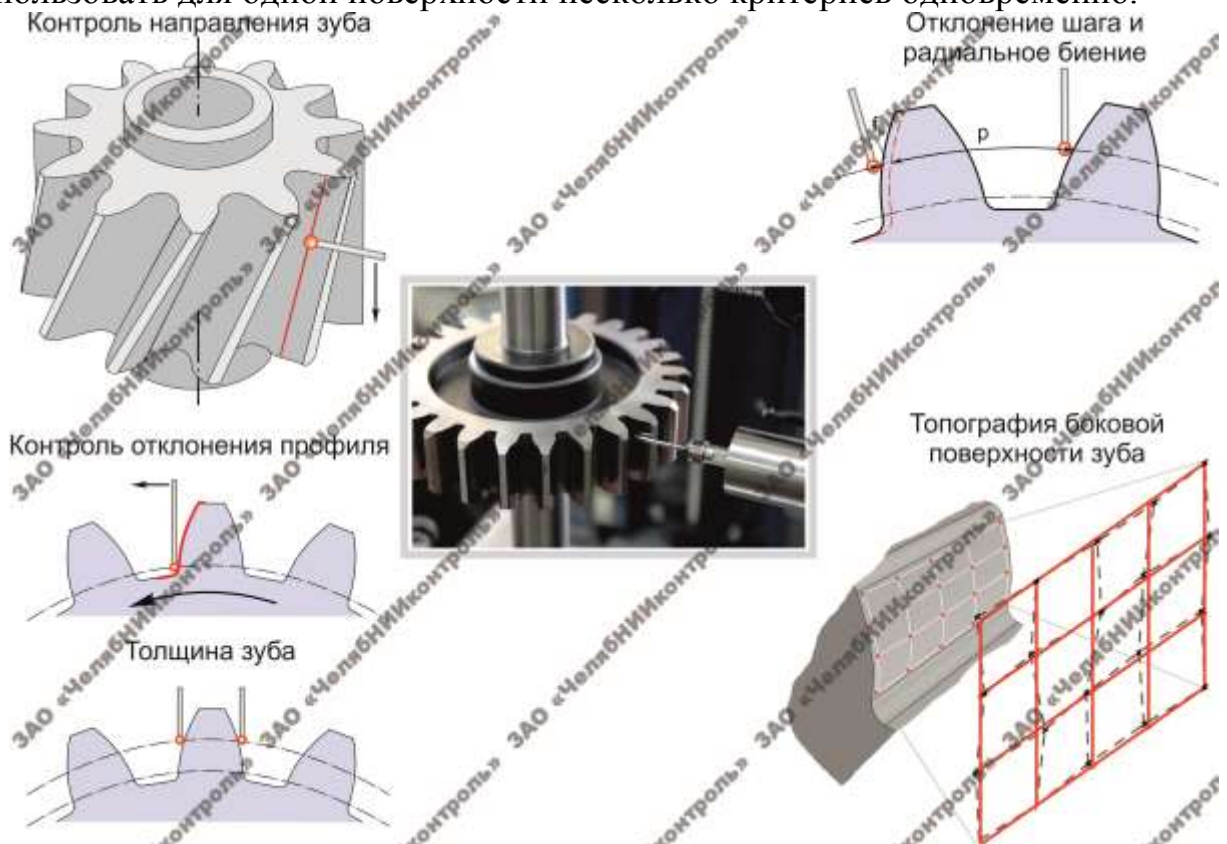


Рис. 4. Методика измерений зубчатого колеса на КИС с поворотным столом

Для комплексного анализа контролируемой детали из набора упорядоченно расположенных в обобщенной системе координат стандартных и пользовательских структурно-геометрических схем создается размерно-точностная модель детали. Кроме простейших функций технического контроля (разбраковка или сортировка по группам), эта модель может эффективно применяться для целей управления технологическими операциями обработки деталей или сборки изделий, например, для анализа операционных размеров и припусков, сборочных размеров, расчета фактических натягов и зазоров.

5. Обеспечение точности координатных измерений

Повышение точности и достоверности координатных измерений заданных размеров, отклонений формы и расположения поверхностей контролируемых деталей и инструментов в основном обеспечивается за счет использования КИМ и КИС с минимально возможной нормируемой погрешностью определения координат измеряемых точек, а также за счет правильного выбора стратегии измерений (количество точек и их расположение на измеряемой поверхности), адекватности применяемых математических моделей и точности расчетных алгоритмов.


Обеспечение необходимой точности аппаратной части выпускаемых приборов и измерительных систем достигается как за счет качества изготовления и сборки, так и с помощью разработанных процедур объёмной калибровки рабочего пространства [5]. С помощью лазерного интерферометра Renishaw ML10 для каждого узла линейных координатных перемещений определяются систематические погрешности позиционирования и остаточная криволинейность направляющих (см. рис. 1). Отклонения от перпендикулярности осей рассчитываются при выполнении «диагонального» теста или при калибровке с помощью специальной наладки для лазерного интерферометра. Для калибровки узлов угловых координатных перемещений (поворотные столы, делительные головки) также применяется специальная наладка для лазерного интерферометра. Хорошие результаты калибровки (при значительно меньшей стоимости) обеспечивают аттестованные эталоны, разработанные и изготовленные специалистами ЗАО «ЧелябНИИконтроль». Полученные значения систематической погрешности в исследованных точках рабочего пространства при линейных и угловых движениях узлов прибора интерполируются на весь диапазон перемещений и используются для внесения поправок в величину измеренных координат точек.

В ПО «ТЕХНОкоорд» интегрированы модули для выполнения процессов калибровки аппаратной части, учета результатов калибровки при определении и коррекции координат измеренных точек.

Кроме того, для уменьшения влияния методических и расчетных погрешностей на точность координатных измерений проводятся исследования, разрабатываются новые алгоритмы и программные модули для ПО «ТЕХНОкоорд», обеспечивающие проектирование оптимальных стратегий измерения и расчет геометрических (линейно-угловых) параметров типовых деталей и инструментов (в т. ч. с поверхностями сложного профиля).

Библиографический список

1. Тайц, Б.А. Точность и контроль зубчатых колес / Б.А. Тайц. – М.: Машиностроение, 1972. – 369 с.
2. Сурков, И.В. Метрологическое обеспечение процесса контроля зубчатых колес / И.В. Сурков, Н.В. Сырейщикова // Измерения: состояние, перспективы развития // Тезисы докладов международной научно-практической конференции. Т. 1 – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – С. 225–227.
3. Surkov, I.V. Development of methods and means of coordinate measurements for linear and angular parameters of cutting instruments / Measurement Techniques: Volume 54, Issue 7 (2011), Page 758–763.
4. Сурков, И.В. Разработка математического обеспечения для размерноточностного анализа результатов координатных измерений / И.В. Сурков, А.И. Буртовая // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – С. 101–104.
5. Сурков, И.В. Разработка методики объёмной калибровки координатно-



измерительных машин, приборов и систем / И.В. Сурков, А.С. Курочкин,
В.А. Плюснин // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. –
Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – С. 187–190.

