

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Утенкова Владимира Михайловича на диссертацию Серкова Николая Алексеевича «Точность многокоординатных машин с ЧПУ: теория, эксперимент, практика», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.02.18 – Теория механизмов и машин и 05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение

Актуальность работы. Эффективность рабочих процессов технологических машин во многом определяется точностью изготовления рабочих поверхностей исполнительных органов (ИО) и точностью движения их по заданным траекториям.

Диссертационная работа Серкова Н. А. посвящена проблеме обеспечения точности многокоординатных машин с ЧПУ, являющихся основой инновационного прецизионного оборудования современного машиностроительного производства, и находится на стыке двух научных дисциплин: теории машин и метрологии.

Многоцелевые 5 координатные станки, промышленные роботы, измерительные машины, лазерные установки и «3-D принтеры» являются классическими примерами многокоординатных машин с ЧПУ. Несущая система (НС) радиолокаторов, оптических телескопов, радиотелескопов и аналогичного оборудования двойного назначения является многокоординатной.

Рабочие органы многокоординатной машины с ЧПУ в процессе работы движутся по сложным пространственным траекториям. Требования к точности и скорости выполнения рабочих операций и соответственно движения рабочих органов неуклонно возрастают. Так точность позиционирования для современных многоцелевых станков приближается к микронной и субмикронной.

Обеспечение высокой точности высокоскоростных многокоординатных машин с ЧПУ является важной задачей современного отечественного машиностроения.

Создание высокоточных многокоординатных станков непосредственно связано с исследованиями, направленными на развитие теоретических и экспериментальных основ обеспечения точности многокоординатных машин с ЧПУ на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации.

Поэтому актуальность направлений исследований диссертационной работы Серкова Н. А.: «Точность многокоординатных машин с ЧПУ: теория, эксперимент, практика» не вызывает сомнений.

Характеристика работы. Основной целью диссертации является разработка методов и средств анализа и синтеза конструкций прецизионных

многокоординатных машин с ЧПУ.

Проблема точности многокоординатных машин с ЧПУ состоит в том, что, при высокой точности отдельных узлов «объёмная» точность машины на 1 - 2 порядка ниже.

Решение проблемы в диссертации начато с анализа основных факторов, влияющих на точность машины, которые разбиты на три основные группы принципиально различной природы: 1) отклонения изготовления деталей и сборки машин, 2) силы, действующие на несущую систему машины, 3) температура деталей и узлов машины.

Проведен анализ направлений повышения точности многокоординатных машин с ЧПУ на примере точности металлорежущих станков с ЧПУ, сформулирован принцип повышения точности, основанный на сочетании конструкторско-технологических методов уменьшения случайной составляющей с цифровой коррекцией систематической части.

Экспериментальные исследования, результаты которых представлены в работе (глава VI), подтверждают тот факт, что современная технология изготовления комплектующих деталей и узлов достигла уровня, когда собранная многокоординатная машина имеет интегральные отклонения при движении ИО со случайной составляющей на порядок меньше функциональной. Здесь находится большой резерв повышения точности машины за счёт коррекции функциональной части.

Основное влияние в работе уделено разработке методики проведения цифровой коррекции систематической (функциональной) части отклонений движения ИО машины.

Для этого разработана методика анализа первичных отклонений звеньев механизмов с поступательными и вращательными парами и выработано правило их измерения. Разработанные математическая и имитационная модели образования интегральных отклонений позволяют анализировать точность многокоординатной машины с ЧПУ и определять баланс точности.

На основе имитационной модели автор синтезировал алгоритм поиска поправок для предложенного модифицированного способа коррекции квази-параллельными вычислительными процессами.

Результаты теоретических исследований построения модели образования отклонений, представленных в диссертации, являются дальнейшим развитием подхода использования *основ механики* («твёрдотельной») в сочетании с использованием в качестве исходных данных результатов *измерения параметров точности реальной машины*, в которых отражаются её жесткостные и тепловые свойства. Такой подход позволяет в модели, построенной в понятиях *«твёрдотельной» механики*, учитывать наряду с отклонениями (размеров, формы, расположения) изготовления присоединительных по-

верхностей деталей и узлов также жесткостные и тепловые свойства реальной машины.

В работе определены основные направления совершенствования средств измерения первичных отклонений – исходные данные для составления файлов коррекции. Отдельно рассмотрены вопросы измерения интегральных отклонений (глава V), которые необходимы для оценки результатов коррекции («объемной» точности). Так же рассмотрены различные направления оценки «объемной» точности, в том числе, альтернативные основному направлению «обработке образцов - изделий».

Результаты проведенных исследований влияния квазистатических возмущающих факторов (веса, температуры) на первичные отклонения механизмов многокоординатной машины с ЧПУ, представленные в главе VI, позволили разработать элементы методики калибровки и диагностики многокоординатной машины в процессе сборки (глава VII).

Результаты исследования влияния инерционных сил на точность воспроизведения пространственной траектории ИО многокоординатной машины представлены в главе VII. Здесь предложена динамическая модель НС многокоординатной машины с ЧПУ и разработана методика анализа её поведения на различных режимах работы, предложен опробованный способ измерения динамической податливости НС станка. Здесь же систематизированы результаты испытаний на холостом ходу многоцелевых станков с ЧПУ (МС 300, Гексамех-1, МЦ-1, ФП 17, ФП 27 и др.).

Научная новизна и достоверность полученных результатов. Автору удалось решить поставленные научные задачи и получить новые оригинальные результаты, основные из которых следующие:

- введение понятия механизма «управляемый по программе ползун/шарнир», выходное звено которого движется по направляющим (стойке) с 6 первичными отклонениями, описываемыми в функции управляемой координаты;
- методика построения модели образования интегральных отклонений ИО многокоординатной машины с НС последовательной структуры с кинематическими парами, приводящимися к парам с одной степенью свободы и установление правила измерений первичных отклонений механизмов;
- разработанные математическая и имитационная модели образования отклонений ИО многокоординатной машины и методика анализа точности многокоординатной машины с ЧПУ методом имитационного моделирования;
- синтез алгоритма определения корректирующих поправок для модифицированного способа коррекции первичных отклонений квазипараллельными вычислительными процессами;
- разработанный метод и устройство для измерения отклонений пересече-

чения осей поворота;

- динамическая модель НС многокоординатной машины с ЧПУ и методика определения динамической податливости НС;

- элементы калибровки и диагностики точности многокоординатной машины при её сборке.

Достоверность полученных результатов диссертации подтверждается:

- применением фундаментальных положений механики и метрологии,
- проведением измерений первичных и интегральных отклонений механизмов на современном измерительном оборудовании и современном многокоординатном технологическом оборудовании с ЧПУ,

- сопоставлением результатов проведенного имитационного моделирования с рядом известных частных решений,

- использованием информации о различных методах и средствах измерений из достоверных литературных источников.

Практическая значимость результатов научных исследований. На основе результатов научных исследований, выполненных автором, создана:

1. Имитационная модель вычисления отклонений исполнительных органов 5 координатных машин последовательной структуры, архитектура построения которой может быть положена в основу блока полной коррекции в системах ЧПУ. С помощью этой модели также могут проводиться исследования точности многокоординатной машины с ЧПУ, в частности, определяться баланс точности станков и выявляться резервы её повышения.

2. Предложен модифицированный способ коррекции квазипараллельными вычислительными процессами, в основу которого положена созданная имитационная модель вычисления отклонений исполнительных органов машины.

3. Проведенная систематизация методов и средств измерений первичных и интегральных отклонений многокоординатных машин с ЧПУ существенно облегчает выбор измерительных средств для проведения испытаний машин на точность и указывает направления их совершенствования и создания недостающих измерительных средств.

4. Разработанные метод и устройство для измерения отклонений пересечения осей поворота и отклонений положения зеркала стола относительно осей поворота в 5 координатных станках с ЧПУ позволяют существенно повысить точность юстировки и уменьшить трудоёмкость сборочных работ.

5. Выявленные связи дефектов изготовления станка мод. МС - 300 с первичными отклонениями механизмов позволяют определять скрытые дефекты и причины их возникновения на стадии отладки станка (используются при изготовлении многокоординатных станков и другого технологического оборудования в ОАО НИАТ).

Апробация работы и публикации. Теоретические и практические результаты диссертации Серкова Н. А. докладывались на 18 международных и российских научно-технических конференциях, симпозиумах. Основные положения диссертации изложены в 38 научных трудах, в том числе, в двух монографиях (одна в соавторстве), 18 статьях, входящих в перечень ВАК РФ, нашли отражение в трех авторских свидетельствах СССР и одном патенте РФ и одном свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также в других публикациях. Всё это свидетельствует о заметном личном вкладе соискателя в развитие теории и практики обеспечения точности многокоординатных машин с ЧПУ.

Замечания по диссертационной работе

К работе имеется ряд замечаний.

1. В работе недостаточно уделено внимания обоснованию выбора критерия и числа контрольных точек при проведении коррекции квази-параллельными процессами при 5 координатной обработке (глава III).
2. В работе не рассмотрен вопрос универсальности использования предложенного метода и устройства для измерения отклонений пересечения осей поворота столов.
3. Представляется, что ввод исходных данных в программы имитационного моделирования может быть сделан более компактно.
4. В тексте диссертации на рис. 1.3, а) по ординате должно быть указано «Плотность вероятности» вместо знака б).
5. В качестве пожелания диссертанту для планирования дальнейших работ можно отметить важное значение развития работ по определению подходов к оценке требований к уровню динамическая по-датливость НС машины (станка).

Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку научного уровня и практической ценности диссертационной работы.

Заключение. Диссертация Серкова Н. А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлены результаты решения научной проблемы обеспечения точности многокоординатных машин с ЧПУ, имеющие важное значение для создания и эксплуатации инновационного технологического оборудования с ЧПУ. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Серков Николай Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора тех-

нических наук по специальностям: 05.02.18 – Теория механизмов и машин и 05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение.

Официальный оппонент,
Заведующий кафедрой «Металлорежущие станки»,
«Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана»,
д.т.н., профессор



Утенков Владимир Михайлович



Контакты: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Телефон 8 (499) 263 65 33
Адрес электронной почты utencov@bmstu.ru