

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. Лысенко Валерия Григорьевича 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

1. Актуальность темы

Работа Серкова Н. А. посвящена проблеме обеспечения точности многокоординатных машин с ЧПУ, являющихся основой инновационного прецизионного оборудования современного машиностроительного производства.

Многоцелевые станки, промышленные роботы, измерительные машины, лазерные установки и «3-D принтеры» являются классическими примерами многокоординатных машин с ЧПУ. Также несущая система радиолокаторов, антенн, оптических и радиотелескопов, и аналогичного оборудования двойного назначения является многокоординатной.

Исполнительные органы многокоординатной машины с ЧПУ в процессе работы движутся по сложным пространственным траекториям. Требования к точности и скорости движения исполнительных органов неуклонно возрастают.

Таким образом, обеспечение высокой точности высокоскоростных многокоординатных машин с ЧПУ при их изготовлении и эксплуатации является важной задачей современного отечественного и зарубежного машиностроения.

Создание высокоточных многокоординатных машин с ЧПУ непосредственно связано с решением задач анализа и синтеза точности их несущих систем.

Решение указанной проблемы обеспечения точности многокоординатных машин с ЧПУ тесно связано с исследованиями, направленными на развитие теоретических и экспериментальных основ обеспечения точности многокоординатных машин с ЧПУ.

На основании вышеизложенного тему рассматриваемой диссертационной работы Серкова Н. А. следует считать **актуальной**.

2. Цель и задачи работы

Целью работы является разработка методов и средств анализа и синтеза точности прецизионных многокоординатных машин с ЧПУ.

Для достижения поставленной цели были рассмотрены и решены следующие задачи:

1. Развить теорию точности механизмов применительно к точности многокоординатной машины с ЧПУ.
2. Разработать математическую и имитационную модели образования интегральных отклонений исполнительных (ИО) многокоординатной машины с ЧПУ.

3. Разработать методику анализа точности многокоординатной машины с ЧПУ методом имитационного моделирования и провести исследование баланса точности конкретного станка мод. МС – 300.
4. Синтезировать алгоритм поиска поправок для модифицированного способа коррекции квазипараллельными вычислительными процессами.
5. Систематизировать и провести анализ эффективности методов и средств измерений первичных и интегральных отклонений механизмов многокоординатных машин с ЧПУ.
6. Разработать метод и создать универсальное приспособление для измерения отклонений пересечения осей вращения в многокоординатных машинах с ЧПУ.
7. Развить способ оценки объёмной точности станка, основанный на измерении «следа» действительной траектории на обработанной поверхности на примере исследования точности станка параллельной структуры (Гексамех-1).
8. Исследовать влияние квазистатических возмущающих факторов (веса, температуры) на первичные отклонения механизмов многокоординатной машины с ЧПУ с целью применения цифровой коррекции.
9. Создать методику исследования влияния инерционных сил на точность воспроизведения пространственной траектории ИО многокоординатной машины с целью повышения динамических свойств НС.
10. Разработать алгоритм калибровки и диагностики точности многокоординатной машины при её сборке.

3. Анализ содержания диссертации

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

Для решения этой проблемы диссертантом были разработаны: методика исследования баланса точности и методика синтеза точности многокоординатной машины с ЧПУ. В основу указанных методик положена разработанная математическая и имитационная модели образования интегрального взаимного отклонения ИО машины с ЧПУ. Для этого было введено понятие механизма «управляемый по программе ползун/шарнир».

Для реализации в практике машиностроения разработанных методов анализа и синтеза точности многокоординатной машины с ЧПУ также были рассмотрены вопросы: 1) измерение первичных и интегральных отклонений механизмов многокоординатных машин с ЧПУ; 2) влияние квазистатических возмущающих факторов (веса, температуры) на первичные отклонения механизмов многокоординатной машины с ЧПУ; 3) влияние инерционных сил на точность воспроизведения пространственной траектории ИО многокоординатной машины; 4) отработка методики калибровки и диагностики многокоординатной машины в процессе сборки.

Достоинствами диссертационной работы являются.

1. Сформулированный принцип повышения точности, основанный на сочетании конструкторско-технологических методов уменьшения случайной составляющей отклонений с цифровой коррекцией систематической части.

2. Выявленные способы цифровой коррекции первичных и интегральных отклонений для многокоординатной машины с ЧПУ.

3. Введение понятия механизма «управляемый по программе ползун/шарнир», методика анализа первичных отклонений звеньев механизмов с поступательными и вращательными парами и правило их измерения.

4. Методика синтеза математической и имитационной модели образования интегрального отклонения для многокоординатной машины с ЧПУ.

5. Модифицированный способ коррекции первичных отклонений машины с ЧПУ и методика анализа и синтеза точности многокоординатной машины с использованием имитационного моделирования.

6. Систематизация средств измерения первичных и интегральных отклонений для многокоординатных машин с ЧПУ и устройство для измерения отклонений пересечения осей поворота столов.

7. Анализ влияния квазистатических возмущающих факторов (веса и температуры узлов) на первичные и интегральные отклонения.

8. Динамическая модель НС многокоординатной машины с ЧПУ и методика анализа её поведения на различных режимах работы.

9. Проведение экспериментов и систематизация результатов испытаний на холостом ходу многоцелевых станков с ЧПУ (МС 300, Гексамех-1, МЦ-1, ФП 17, ФП 27 и др.).

10. Элементы калибровки и диагностики точности многокоординатной машины при её сборке.

Работа показывает направления дальнейших исследований

4. Оценка научной новизны и достоверность полученных результатов

Научная новизна работы заключается:

- во введении понятия механизма «управляемый по программе ползун/шарнир», выходное звено которого движется по направляющим (стойке) с 6 первичными отклонениями, описываемыми в функции управляемой координаты;

- в методике построения модели образования интегральных отклонений ИО многокоординатной машины с НС последовательной структуры с кинематическими парами, приводящимися к парам с одной степенью свободы;

- в установлении правила измерений первичных отклонений механизмов;

- в разработанных математической и имитационной моделях образования отклонений ИО многокоординатной машины;

- в разработанной методике анализа точности многокоординатной машины с ЧПУ методом имитационного моделирования;

- в синтезе алгоритма определения корректирующих поправок для мо-

дифицированного способа коррекции первичных отклонений квазипараллельными вычислительными процессами;

- в разработанном методе и созданном устройстве для измерения отклонений пересечения осей поворота ИО;

- в динамической модели НС многокоординатной машины с ЧПУ и методике определения динамической податливости НС;

- в методике 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.

5. Практическая значимость результатов научных исследований

Практическая ценность работы заключается:

1) Создана имитационная модель вычисления отклонений ИО по первичным отклонениям звеньев механизмов для 5 координатных машин последовательной структуры, архитектура построения которой может быть положена в основу блока полной коррекции в создаваемых системах ЧПУ. С помощью этой модели могут проводиться исследования точности многокоординатной машины с ЧПУ, в частности, определяться баланс точности и выявляться резервы её повышения.

2) Предложен модифицированный способ коррекции первичных отклонений квазипараллельными вычислительными процессами на основе созданной имитационной модели.

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 создания недостающих измерительных средств.

4) Разработанные метод и устройство для измерения отклонений пересечения осей поворота в многокоординатных машинах 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 определить скрытые дефекты и причины их возникновения на стадии отладки машины (используется при изготовлении многокоординатных станков и другого технологического оборудования в ОАО НИАТ).

6. Оценка содержания и оформления диссертационной работы

Объём работы: Диссертация состоит из введения, 7 глав, основных выводов и результатов, списка использованной литературы из 201 наименования. Работа включает в себя 335 страниц текста, в том числе 187 рисунков, 14 таблиц и 6 приложений.

7. Замечания по диссертационной работе

К работе имеется ряд замечаний:

1. В выводах главы V, стр. 171 не отмечена острая необходимость в создании оперативных и информативных методов и измерительных средств экспериментальной оценки объёмной точности многокоординатных машин с ЧПУ, как в частности, образцов-изделий, так и измерительных установок. Здесь, возможно, нужно объединение усилий организаций нескольких ведомств (РАН РФ, ГОССТАНДАРТ России, Минобрнауки России).

2. Не отмечено, отдельно, что принцип повышения точности, основанный на сочетании конструкторско-технологических методов уменьшения случайной составляющей отклонений с цифровой коррекцией систематической части применим не только к многокоординатным машинам с ЧПУ, но и к измерительным средствам (характерный пример: Углоизмерительный стол ОПТРО-УИС-041, ООО «Оптротех»).

3. Остался открытым вопрос назначения нормы – «допустимая величина коррекции». Пока есть чисто статистический подход.

4. На стр. 106 диссертации сделана описка:

вместо

для критерия Δ :

$$\begin{aligned} \max M &= 0,0255 \text{ мм}, \\ \text{mean } M &= 0,0108 \text{ мм}, \\ \text{srd } M (\sigma) &= 0,0034 \text{ мм} \end{aligned}$$

нужно читать

для критерия Δ :

$$\begin{aligned} \max \Delta &= 0,0255 \text{ мм}, \\ \text{mean } \Delta &= 0,0108 \text{ мм}, \\ \text{srd } \Delta (\sigma_{\Delta}) &= 0,0034 \text{ мм}. \end{aligned}$$

5. В качестве дальнейшего развития теории точности машин (пожелание диссертанту) можно указать направление: «Измерение траектории движения подвижных узлов машины, исходя из значений координат мгновенного центра скоростей (поворота) и текущего угла поворота». Для реализации такого подхода в практике обеспечения точности движения ИО машины необходимы дальнейшие работы по созданию средств измерения значений координат положения мгновенного центра скоростей и текущего значения угла поворота в функции управляемых координат. Нужен прибор и методика.

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

8. Заключение

Диссертация Серкова Н. А. является научно-квалификационной работой, в которой представлены результаты решения научной проблемы обеспечения точности многокоординатных машин с ЧПУ, имеющих важное значение для создания и эксплуатации инновационного технологического оборудования с ЧПУ. Диссертационная работа соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Серков Николай Алексеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.02.18 – Теория механизмов и машин и 05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение.

Официальный оппонент,
Начальник отдела метрологического обеспечения измерений геометрических параметров, ФГУП ВНИИМС,
доктор технических наук,
профессор



Лысенко В. Г.

Подпись д.т.н., проф. Лысенко В. Г.
Удостоверяю,



*Диссертация принята по персоналу Лысенко В. Г. (кампания НБ)
2 октября 2017г.*

Контакты: 119361, Москва, ул. Озерная, 46, ФГУП ВНИИМС
Начальник отдела метрологического обеспечения измерений геометрических параметров, доктор технических наук Лысенко Валерий Григорьевич.
Тел.: 8 (495) 665 30 87 доб. 2570, E-mail: lysenko@vniims.ru