

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной

работе КубГУ,

д.т.н. Пучков С.А.

2017 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «КубГТУ» 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 технологических машин зависит от точности изготовления рабочих поверхностей исполнительных органов и точности движения их по заданным траекториям.

Точность работы машины является одним из основных показателей машин и изучается как в теории механизмов и машин, так и в метрологии.

Диссертационная работа Серкова Н. А. посвящена проблеме обеспечения точности многокоординатных машин с ЧПУ, являющихся основой 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 многокоординатными являются радиолокаторы, оптические и радио телескопы.

Исполнительные органы (ИО) многокоординатных машин с ЧПУ в процессе работы движутся по сложным пространственным траекториям. Требования к точности и скорости движения исполнительных органов неуклонно возрастают. Так точность позиционирования по отдельной координате для современных пяти координатных многоцелевых станков приближается к 1 мкм по линейной координате и $0,001^\circ$ для угловых поворотов.

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 повышения точности их конструкций. Решение указанной проблемы тесно связано как с теоретическими, так и экспериментальными исследованиями.

На основании вышеизложенного тему диссертационной работы

Серкова Н. А.: «Точность многокоординатных машин с ЧПУ: теория, эксперимент, практика» следует признать актуальной.

Анализ содержания диссертации. Основной целью диссертации является разработка методов и средств анализа и синтеза точности прецизионных многокоординатных машин с ЧПУ.

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

Диссертант работу начинает с анализа основных факторов, влияющих на точность машины, которые им разбиты на три группы, имеющие принципиально различную природу:

- первичные отклонения (отклонения размеров при изготовлении деталей и сборки машин);
- силы, действующие на несущую систему;
- температура деталей и узлов станка.

В результате анализа направлений повышения точности многокоординатных машин с ЧПУ сформулирован принцип повышения точности, основанный на сочетании конструкторских и технологических методов уменьшения случайной составляющей отклонений с цифровой коррекцией систематической части.

Современная технология изготовления комплектующих деталей и узлов достигла такого уровня, что собранная многокоординатная машина имеет интегральные отклонения при движении ИО со случайной составляющей на порядок меньше функциональной. Именно здесь, по мнению автора, находится основной резерв повышения точности машины за счёт коррекции её функциональной части.

Поэтому основная часть работы (главы II и III) посвящена разработке методики проведения цифровой коррекции систематической (функциональной) части отклонений.

Для этого развита теория точности механизмов применительно к точности многокоординатной машины с ЧПУ путем введения понятия «управляемый по программе ползун/шарнир» и разработана методика анализа первичных отклонений звеньев механизмов с поступательными и вращательными кинематическими парами и разработана методика их измерения. Здесь же приведены математическая и имитационная модели образования интегральных отклонений исполнительных органов многокоординатной машины с ЧПУ. Созданные модели позволяют проводить анализ точности многокоординатных машин с ЧПУ методом имитационного моделирования и дают возможность исследовать баланс точности машины.

На основе имитационной модели синтезирован алгоритм поиска поправок коррекции квазипараллельными вычислительными процессами.

Отметим, что при создании математической модели использовались допущения о твёрдотельности конструкции, а в качестве исходных данных о «первичных» отклонениях параметров механизмов применялись понятия, в которых также учитываются жесткостные и тепловые свойства. Такой подход позволяет учитывать наряду с отклонениями (размеров, формы, расположения) изготовления присоединительных поверхностей деталей и узлов также упругие и тепловые деформации в реальных машинах.

Для реализации разработанных методов анализа и синтеза точности многокоординатной машины с ЧПУ также были рассмотрены вопросы анализа и систематизации эффективности методов и средств измерений первичных и интегральных отклонений механизмов многокоординатных машин с ЧПУ (глава IV и V). Выявлены основные направления совершенствования средств измерения первичных и интегральных отклонений несущей системы многокоординатной машины.

На первичные отклонения механизмов НС машины, определяемые в статике, накладываются отклонения, вызываемые действием сил, возникающих в результате движения ИО машины, изменениями теплового поля НС машины и действия сил резания. Результаты исследования влияния квазистатических возмущающих факторов (веса, температуры) на первичные отклонения механизмов многокоординатной машины с ЧПУ приведены в главе VI.

В главе VII:

- исследовано влияние инерционных сил на точность воспроизведения пространственной траектории ИО многокоординатной машины;
- предложена динамическая модель НС многокоординатной машины с ЧПУ и разработана методика её применения на различных режимах работы;
- систематизированы результаты испытаний на холостом ходу многоцелевых станков с ЧПУ (МС 300, Гексамех-1, МЦ-1, ФП 17, ФП 27 и др.);
- представлены элементы методики калибровки и диагностики многокоординатной машины в процессе сборки.

Оценка научной новизны и достоверность полученных результатов.

В ходе выполнения работы автору, в целом, удалось решить поставленные научные задачи и получить ряд новых оригинальных результатов, основные из которых, на наш взгляд, являются:

- методика построения модели образования интегральных отклонений ИО многокоординатной машины с НС последовательной структуры с кинематическими парами 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 пересечения осей поворота;
- динамическая модель НС многокоординатной машины с ЧПУ и методика определения динамической податливости НС;
- методика калибровки и диагностики точности многокоординатной машины при её сборке.

Достоверность полученных результатов диссертации подтверждается:

- применением проверенных положений механики и метрологии;
- проведением измерений первичных и интегральных отклонений механизмов на современном измерительном оборудовании;
- сравнением результатов проведенного имитационного моделирования с известными решениями;
- использованием информации о различных методах и средствах измерений из достоверных литературных источников.

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

1. Создана имитационная модель вычисления отклонений ИО по первичным отклонениям звеньев механизмов для пяти 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, в основу которого положена созданная имитационная модель вычисления отклонений ИО по первичным отклонениям звеньев механизмов.

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. Разработанный метод и устройство для измерения отклонений пересечения осей поворота и отклонений положения зеркала стола относительно 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 определять скрытые дефекты и причины их возникновения на стадии отладки машины (используются при изготовлении многокоординатных станков и другого технологического оборудования в ОАО НИАТ).

Апробация работы и публикации. Теоретические и практические результаты диссертационной работы Серкова Н. А. докладывались на 18 международных и российских научно-технических конференциях, и 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, одном патенте РФ и одном свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также в других публикациях. Всё это говорит о заметном личном вкладе соискателя в развитие теории и практики обеспечения точности многокоординатных машин с ЧПУ.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе не рассмотрен случай, когда первичные отклонения являются функцией нескольких управляемых координат (раздел 6.2.1.5).
2. В диссертации не доказана возможность использования предложенных методов и устройств для измерения отклонений не пересечения осей поворота ИО машины для других компоновок пяти координатных машин.
3. Нет полного сравнения предложенного метода определения динамической податливости и широко используемого метода с динамическим молотком.
4. Нет оценки необходимой динамической податливости НС машины.
5. На графике (рис. 1.3, б) диссертации вместо «мм» указаны «мкм».

В целом указанные замечания не влияют на общую оценку научного уровня и практической ценности диссертационной работы.

Основные научные положения и практические приложения, разработанные в диссертации, рекомендуются для использования в курсах «Теории механизмов и машин» и «Метрология и взаимозаменяемость в машиностроении».

Заключение. Диссертация Серкова Н. А. является законченной 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 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 технических наук по специальностям: 05.02.18 – Теория механизмов и машин и 05.11.15 – Метрология и метрологическое обеспечение.

Отзыв обсужден на семинаре кафедры «Наземного транспорта и механики» Кубанского государственного технологического университета (ФГБОУ ВО «КубГТУ») 20 сентября 2017 г. (протокол № 3).

Заведующий кафедрой
«Наземного транспорта и механики»,
доктор технических наук, профессор

Бережной С.Б.

Наименование организации, работником которого является лицо, предоставившее отзыв:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет».

Сокращенные наименования:

ФГБОУ ВО «КубГТУ»

КубГТУ

Почтовый адрес организации:

350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, корп. «А».

Телефон (факс):

8(861)2596592

E-mail:

adm@kgtu.kuban.ru

Фамилия, имя, отчество лица, предоставившего отзыв:

Бережной Сергей Борисович.

Должность:

Заведующий кафедрой «Наземного транспорта и механики».

Подпись профессора Бережного С. Б. заверяю

21.09.2017г.