

В диссертационный совет 24.2.332.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., с.н.с. Серкова Николая Алексеевича на диссертационную работу Пимушкина Ярослава Игоревича на тему: «Разработка метода повышения объёмной точности многокоординатного металлорежущего оборудования на основе цифровой коррекции перемещений рабочих органов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Актуальность работы.

Диссертационная работа Пимушкина Я. И. посвящена проблеме обеспечения точности работы технологического оборудования с ЧПУ, являющегося основой инновационного современного машиностроительного производства.

Многоцелевые 5 координатные станки с ЧПУ, промышленные роботы с ЧПУ, измерительные машины (КИМ с ЧПУ), лазерные установки с ЧПУ и «3-D принтеры с ЧПУ» и др. являются классическими примерами современного машиностроения.

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 технологических машин с ЧПУ неуклонно возрастают и приближаются к микронной и субмикронной.

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

Поэтому **актуальность** направлений исследований диссертационной работы Пимушкина Я. И.: «Разработка метода повышения объёмной точности многокоординатного металлорежущего оборудования на основе цифровой коррекции перемещений рабочих органов» **не вызывает сомнений.**

Характеристика работы. Основной целью диссертации является разработка метода и методики повышения объёмной точности многокоординатного металлорежущего оборудования на основе цифровой коррекции перемещений

рабочих органов. Диссертант Пимушкин Я. И. удачно развил тематику к.т.н. Соколова В. А., который сумел разработать способ повышения объёмной точности путем измерения объёмной точности и выделения особой области с наивысшей точностью в рабочей зоне станка с ЧПУ и помещения в неё обрабатываемой детали.

Диссертант Пимушкин Я. И. на основе измерения объёмной точности станка разработал метод размещения траектории движения режущего инструмента и обрабатываемой детали в рабочем объёме станка так, чтобы движение происходило в плоскости, перпендикулярной направлению векторов отклонений в точках, и отклонения по нормали были минимальными.

Решение проблемы диссертант начал с подробного изучения задач измерения и коррекции объёмных погрешностей технологических машин с ЧПУ (глава 1). Он выяснил, что, хотя данному вопросу посвящено огромное число публикаций, вопрос остается до конца не решенным, и требуется поиск новых путей измерения объёмных погрешностей и алгоритмов коррекции. Предложенные диссертантом методы измерения и коррекции подробно рассмотрены в 2 – 4 главах диссертации.

Во второй главе приводятся результаты разработки и апробации методов повышения геометрической точности станков на основе математической процедуры калибровки их с помощью лазерного трекера. Они названы тангенциальными: 1. Тангенциальный статический метод, 2. Тангенциальный интервальный метод, 3. Тангенциальный квазидифференциальный метод.

Под тангенциальным методом в работе понимается метод повышения объёмной геометрической точности путем перемещения материальной точки (центра шаровой фрезы, осуществляющей формообразование обрабатываемой поверхности), в направлении движения, перпендикулярном к вектору объёмного (интегрального) отклонения в данной точке рабочего пространства данного экземпляра станка.

Для реализации тангенциальных методов необходимо иметь картину (облако) отклонений (погрешностей) позиционирования рабочего органа станка в каждой точке сетки рабочего объёма при заданном направлении позиционирования. Для этих целей диссертант использовал лазерный трекер мод. Leica Tracker LTD800.

Экспериментальные исследования, проведенные диссертантом, показали практическую эффективность разработанных тангенциальных методов повышения объёмной точности, применительно к многоцелевому станку мод. СТАН S500

Наибольшую эффективность имеет квазидифференциальный тангенциальный метод, учитывающий дискретную модель поля касательных направлений в каждой точке координатной «сетки» рабочего пространства станка.

В третьей главе автор провел численные эксперименты по анализу нелинейной теоретической модели объёмной точности комплекса СТАН S500 и обоснованно показал, что в диапазоне угловых погрешностей до 2,5 угловых минут можно ограничиться учётом в задачах прецизионной обработки на многокоординатном металлорежущем оборудовании рассмотрением величин погрешностей не выше 1-ого порядка малости без последующего оценивания величины вычислительной ошибки. Это существенно уменьшает трудоемкость подготовки производства.

В четвертой главе построена сетка точек рабочего пространства станка, в каждой из которых численно сформирована таблица параметрических погрешностей методом лазерной интерферометрии с высокой точностью.

Разработаны методы решения обратной задачи кинематики в криволинейной системе координат, учитывающие специфику лазерных измерительных систем, используемых в составе обрабатывающих центров. Экспериментальные исследования показали эффективность разработанных методов: наибольшую эффективность имеет квазидифференциальный метод на основе таблиц параметрических погрешностей в рабочем пространстве станка, основанный на численном вычислении криволинейных интегралов при астатическом законе управления движением.

Как показал эксперимент на обрабатывающем центре СТАН S500, применение данного метода позволяет повисить объёмную точность многокоординатного обрабатывающего центра на порядок.

Диссертант разработал программу решения обратной задачи кинематики в криволинейной системе координат, моделирующей систему физических осей движения многокоординатного технологического оборудования и предлагает её использовать при проектировании нового оборудования цифрового машиностроения как основу функционирования постпроцессора управления современными станками, робототехнологическими и контрольно - измерительными комплексами в условиях высокоточного позиционирования в сложных производственных процессах обработки и контроля продукции.

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

- разработать алгоритмы повышения объёмной точности на основе решения обратной задачи кинематики (ОЗК) рабочего органа станка в условиях дифференциально-геометрического подхода к оценке распределения объёмной погрешности в рабочем пространстве с учётом специфики используемой лазерной измерительной системы;

- провести необходимые работы на лабораторном оборудовании для создания числовой экспериментальной базы аналитического исследования;

- провести вычислительный и натурный эксперименты с целью параметрического синтеза алгоритма повышения объёмной точности многокоординатного обрабатывающего центра в рабочем пространстве с заданной сеткой распределения погрешностей;

- на основе теории конечных поворотов разработана математическая модель объёмной точности станка на сетке параметрических погрешностей, оцениваемых способом лазерной интерферометрии;

Достоверность полученных результатов диссертации подтверждается:

- применением фундаментальных положений механики и метрологии;

- проведением измерений отклонений позиционирования рабочих органов станка на современном измерительном оборудовании и современном технологическом оборудовании с ЧПУ;

- научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, подкреплены фактическими данными, представленными в приведенных рисунках и таблицах.

Практическая значимость результатов научных исследований.

1. Обоснованно упрощена процедура решения задач вычисления объёмных погрешностей в рабочем пространстве металлорежущего станка.

2. Предложен инженерный, не требующий значительных вычислительных мощностей, метод снижения геометрических погрешностей трехкоординатных обрабатывающих центров на основе калибровки их кинематики с помощью лазерного трекара.

3. Разработана программа решения обратной задачи трехкоординатной кинематики металлорежущих станков в системе физических осей движения, которая может быть положена в основу функционирования постпроцессора с контролем лазерного интерферометра в условиях высокоточного позиционирования.

Апробация работы и публикации. Теоретические и практические результаты диссертации Пимушкина Я. И. докладывались на 7 международных и российских научно-технических конференциях. Основные положения диссертации изложены по теме диссертации в 12 статьях, в том числе 6 статей в изданиях, включённых в перечень ВАК, 3 статьи – в изданиях, индексируемых в базах данных SCOPUS.

Замечания по диссертационной работе

К работе имеется ряд замечаний.

1. В работе не рассмотрена методика выбора направления подхода к точке позиционирования в рабочем пространстве станка при использовании прибора лазерного трекара мод. Leica Tracker LTD800. Рассматривается только подход с одного направления (односторонний

- подход). В действительности необходим минимум двусторонний подход. В этом случае будет два вектора и неоднозначность.
2. Для оценки точности позиционирования необходимо измерение точности позиционирования режущего инструмента (присоединительные поверхности шпинделя) относительно обрабатываемой детали (присоединительные поверхности рабочего стола). Это необходимо учитывать при применении лазерного трекера.
 3. В работе не приводится оценка насколько уменьшается рабочая зона станка при применении разработанных методов повышения объёмной точности многокоординатного металлорежущего оборудования и какие подходы могут быть для этой оценки.
 4. В качестве пожелания диссертанту для дальнейших работ можно посоветовать привлечь графическое моделирование, а в дальнейшем, и натурную обработку для проверки достоверности и эффективности предлагаемых методов повышения точности обработки.

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

Заключение. Диссертация Пимушкина Я.И. является законченной научно-квалификационной работой, в которой представлены результаты решения научной проблемы повышения объёмной точности многокоординатного металлорежущего оборудования с ЧПУ. Диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Пимушкин Ярослав Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Официальный оппонент,
ведущий научный сотрудник отдела
«Механики машин и управления машинами»
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института машиноведения
им. А.А. Благонравова Российской академии наук
д.т.н., с.н.с.



Серков Николай Алексеевич

08.12.2023г.

Подпись заверяю

Серков Николай Алексеевич

Контакты: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук
(ИМАШ РАН)

101000, Москва, Малый Харитоньевский пер., дом 4, тел. +7(495) 628-
87-30, e-mail: info@imash.ru