

## Отзыв

на автореферат диссертационной работы Пимушкина Ярослава Игоревича на тему «Разработка метода повышения объёмной точности многокоординатного металлорежущего оборудования на основе цифровой коррекции перемещений рабочих органов», представленный на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)

Диссертационная работа посвящена методам повышения геометрической точности позиционирования рабочих органов многокоординатных металлорежущих станков в условиях систематических погрешностей. Тема исследования актуальна, так как востребованы методы построения наиболее адекватных и точных геометрических моделей погрешностей станка, основанные на экспериментальных измерениях элементарных геометрических составляющих структуры погрешностей.

В диссертационной работе проведен анализ способов коррекции объёмных погрешностей металлорежущих станков. Автором проведены испытания станков согласно действующим стандартам с использованием современного высокоточного измерительного оборудования. В результате были определены оптимальные подходы к построению модели объёмной точности трехкоординатного станка.

Автором разработаны несколько методов программной коррекции точности позиционирования. Примечательно наблюдение о том, что станок без использования коррекций не соответствовал даже требованиям к станкам нормального класса точности. Особый интерес также представляют технические аспекты работы с программной коррекцией ЧПУ «Перспектива», не указанные в автореферате.

В результате изучения автореферата диссертационной работы возникли вопросы:

1. Кроме измерения точности заданных перемещений интерес представляет причина отклонений. Как можно определить эти причины на основе разработанных процедур?
2. Можно ли, осуществить процедуру составления таблиц параметрических погрешностей используя цифровые линейки по осям? Какая точность измерения необходима?

3. С чем связана значительная разница между оптимальным шагом при построении сетки тангенциальных направлений и шагом при построении модели движения?

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Методы коррекции перемещений рабочих органов, предложенные в этой работе, заключают в себе практическую пользу и научную новизну.

В целом представленная диссертационная работа является законченным научно-исследовательским трудом. Работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).


Попов Андрей Юрьевич  
Профессор кафедры «Металлорежущие  
станки и инструменты»  
ФГАОУ ВО «ОмГТУ» д.т.н.  
по специальности 05.03.01 –  
«Процессы механической и  
физико-технической обработки,  
станки и инструмент», профессор

 А.Ю. Попов

Блохин Дмитрий Андреевич  
Старший преподаватель кафедры  
«Металлорежущие станки  
и инструменты» ОмГТУ

 Д. А. Блохин

Подписи удостоверяю  
Начальник управления персоналом ОмГТУ

 Ю. А. Духовских

Дата: 15.11.2023



644050, г. Омск, пр-т Мира, д. 11, ауд.1-261.

e-mail: [popov\\_a\\_u@list.ru](mailto:popov_a_u@list.ru) тел. 8-(3812)-65-24-39

e-mail: [info@omgtu.ru](mailto:info@omgtu.ru) тел. 8 (3812) 65-34-07

В диссертационный совет 24.2.332.01  
Созданный на базе ФГБОУ ВО «Московский го-  
сударственный технологический университет  
«СТАНКИН»  
127994, г. Москва, ГСП-4, Вадковский пер., д. 1  
Сотовой Е.С.

### Отзыв

на автореферат диссертации  
ПИМУШКИНА ЯРОСЛАВА ИГОРЕВИЧА  
«Разработка метода повышения объемной точности многокоординатного  
металлорежущего оборудования на основе цифровой корреляции  
перемещений рабочих органов»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физи-  
ко-технической обработки»

В современной промышленности для изготовления высокотехнологичной продукции широко применяются многокоординатные станки с ЧПУ. При повышении требований к точности производимой продукции повышаются требования и к оборудованию для ее изготовления.

Одной из составляющих погрешностей многокоординатных станков с ЧПУ является геометрическая погрешность, связанная с неточностью изготовления и сборки такого оборудования, отклонениями позиционирования и прямолинейности каждой управляемой оси, износом станка. Это оказывает влияние на точность обработки.

В данном виде погрешности можно выделить случайную и систематическую составляющие. Случайная составляющая ввиду своей непредсказуемости может компенсироваться либо путем внедрения систем с обратной связью, либо на основе анализа статистических данных ее возникновения. Вместе с этим данный вид погрешности мало изучен и требует предварительного исследования систематических погрешностей. Характер систематической погрешности более предсказуем и связан с неточностью, деформацией или износом станка. Однако остаются востребованными решения задач, связанных с моделированием и анализом их распределения в рабочей зоне оборудования для создания алгоритмов цифровой коррекции перемещения рабочих органов многокоординатных станков.

Таким образом, разработка метода повышения объемной точности на основе цифровой коррекции перемещения рабочих органов многокоординатных станков в условиях систематических геометрических погрешностей является актуальной задачей.

В связи с этим цель, поставленная в работе, заключающаяся в повышении точности перемещений рабочих органов многокоординатного металло-режущего оборудования на основе методов дифференциальной геометрии не вызывает сомнений в плане своей актуальности.

Основное содержание диссертационной работы изложено в автореферате достаточно полно. Структура изложения и его объём дают представление о содержании диссертации, что также отражено в списке работ, опубликованных в научной печати. Краткая передача сути исследования дает достаточно четкое представление о результатах проведенной работы. Выводы по результатам работы соответствуют поставленным задачам.

По актуальности решенных задач, научной новизне, полученным результатам и их практической значимости работа является законченным научным исследованием.

Апробация работы:

работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSFS-2021-0003).

Основные положения работы докладывались и обсуждались на международных, общероссийских, региональных и межвузовских научно-технических конференциях (г. Москва – 2017, 2020 гг., г. Омск – 2017, 2019 гг., г. Красноярск – 2023 г.).

Публикации по теме:

По теме работы опубликовано 12 печатных работ, в том числе 6 из них в изданиях из списка ВАК и 3 статьи в изданиях из базы Scopus.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. В обзоре не отражена (в процентном или числовом значении) доля геометрической систематической в суммарной погрешности станка(ов).
2. Многокоординатной обработкой называют обработку, при которой задействованы дополнительные координаты (поворотные оси) помимо декартовых, поэтому не до конца ясно почему рассматривается 3х координатная обработка.
3. В части автореферата, не отражено или неявно отражено влияние поворотных осей шпинделя или поворотного (глобусного) стола на значение геометрической систематической погрешности.

В целом, диссертация Пимушкина Ярослава Игоревича «Разработка метода повышения объемной точности многокоординатного металлорежущего оборудования на основе цифровой корреляции перемещений рабочих органов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является научной квалификационной работой и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г.) а её автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Гузеев Виктор Иванович



д.т.н. (05.02.08 – «Технология машиностроения»), профессор,  
Заведующий кафедрой

«Технология автоматизированного машиностроения»

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

(454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76)

Тел. 267-92-67

E-mail: tbikump@susu.ru

Батуев Виктор Викторович



к.т.н. (05.02.08 – «Технология машиностроения»), доцент кафедры  
«Технология автоматизированного машиностроения»

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

(454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76)

Тел. 267-92-67

E-mail: tbikump@susu.ru



ВЕРНО  
Начальник службы  
делопроизводства ЮУрГУ



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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

Металлорежущие станки с ЧПУ являются одними из наиболее важных компонентов технологического обеспечения производственных предприятий, при этом сохранение и повышение объёмной точности перемещений их рабочих органов является актуальной проблемой, так как это оказывает влияние на точность изготовления отдельных деталей и изделий в целом. Существует большое количество погрешностей технологического оборудования – погрешности: установки заготовки в приспособление; колебания упругих деформаций динамической системы станка; наладки технологической системы; в результате износа режущего инструмента; геометрические погрешности станка; колебания температурных деформаций, оказывающие влияние на точность изготовления. Несомненно, работа, направленная на повышение точности перемещений рабочих органов многокоординатного металлорежущего оборудования, является актуальной и имеет практическую значимость для промышленности.

Новизна работы, заключающаяся в разработанном методе повышения геометрической точности станка на основе математической процедуры калибровки его кинематики, в математической модели объёмной точности станка на сетке параметрических погрешностей и разработанном методе коррекции трёхкоординатных движений обрабатываемого центра путём нового решения обратной задачи кинематики в криволинейной системе координат его исполнительного привода полученных за счет лазерной интерферометрии (лазерного трекера) не вызывает сомнений.

Автореферат написан хорошим техническим языком и отражает логику и результаты выполненной работы, при этом по автореферату можно отметить следующие замечания:

1. В работе рассмотрен вопрос повышения объёмной точности перемещения узлов, однако больший интерес вызывает повышение точности изготавливаемой детали. Как технологические мероприятия, предложенные в работе, влияют на точность детали?

2. Различные режимы обработки, размеры и масса заготовки, режущий инструмент и т.д. обеспечат различную объёмную точность и точность

обработки. Из автореферата не ясно как различные виды погрешностей учитывались при корректировке?

3. В некоторых местах автореферата не приведены единицы измерения, что усложняет восприятие работы.

Диссертация на тему «Разработка метода повышения объёмной точности многокоординатного металлорежущего оборудования на основе цифровой коррекции перемещений рабочих органов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является научной квалификационной работой и соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ «842 от 24.09.2013 г.), а ее автор Пимушкин Ярослав Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Проректор по научной работе, доктор технических наук, доцент, государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт»  
423450, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Ленина, д. 2  
Тел. 8(8553) 31-00-04, 8(8553) 43-88-35, alni@rambler.ru, info@agni-rt.ru  
e-mail: rechenko-denis@mail.ru.

научная специальность 05.02.07 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки

Денис Сергеевич Реченко  
20.11.2023 г.

Подпись Д.С. Реченко заверяю  
Начальник отдела кадров

С.А. Норкина



ФГБОУ ВО «Московский государственный  
технологический университет «СТАНКИН»  
Ученому секретарю диссертационного  
совета 24.2.332.01 канд. техн. наук  
Е.С. Сотовой  
127994, г. Москва, ГСП-4, Вадковский пер., д.1.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Пимушкина Ярослава Игоревича «Разработка метода повышения объемной точности многокоординатного металлорежущего оборудования на основе цифровой коррекции перемещений рабочих органов», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Тенденции развития современного машиностроения неразрывно связаны с традиционными требованиями постоянного повышения производительности изготовления, точности и качества обработки деталей, надежности, экономичности, повышения объемной точности на основе цифровой коррекции перемещений рабочих органов многокоординатных станков в условиях систематических геометрических погрешностей.

Решением поставленных задач является использование метода снижения геометрических погрешностей трехкоординатных обрабатывающих центров на основе калибровки их кинематики с помощью лазерного трекара. 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.

Научный интерес представляют разработанные соискателем метод коррекции трехкоординатных движений обрабатывающего центра путем нового решения обратной задачи кинематики в криволинейной системе координат его исполнительного привода.

Диссертационная работа выполнена на достаточно высоком научном и методическом уровне; обоснованность выводов диссертационной работы подкреплена использованием современных методов исследования экспериментального оборудования. Ценность научных работ Пимушкина Я.И.



заключается в представленных результатах диссертационного исследования, имеющих научную новизну и практическую значимость, которые были опубликованы в 12 печатных работах, включая 6 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 3 статьи в изданиях, индексируемых в базах данных SCOPUS.

О качестве работы свидетельствуют рациональная структура и объем диссертации, внушительный список используемой литературы.

При общей положительной оценке имеются некоторые замечания по автореферату диссертации:

1) В автореферате отсутствует информация о режимах настройки станка и режимах резания используемых в период исследований.

2) По оформлению автореферата, не совсем понятно, для чего приведены отрывки из статей стр. 12, 17 (Школа молодых ученых - 2021)?

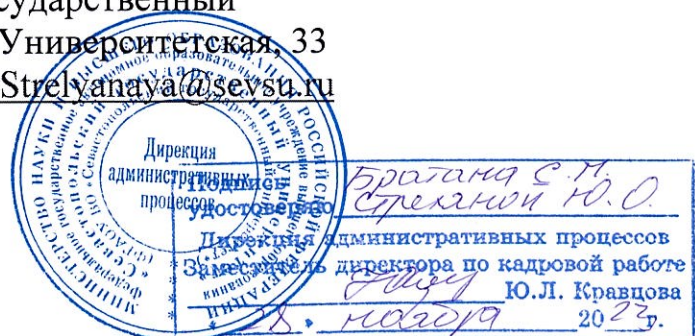
В целом, диссертация Пимушкина Ярослава Игоревича является завершённой научно-исследовательской работой, которая содержит новые научно-обоснованные результаты. Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а её автор Пимушкин Ярослав Игоревич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Доктор техн. наук 2.5.6 (05.02.08), профессор,  
«Заслуженный работник высшей школы  
Российской Федерации», «Заслуженный деятель  
науки и техники республики Крым»,  
заведующий кафедрой «Технология машиностроения»  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный  
университет», г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
299053, тел. +7 (8692) 540-667, [bratan@sevsu.ru](mailto:bratan@sevsu.ru)  
28.11.2023 г.

Братан Сергей Михайлович

Кандидат техн. наук 2.5.6 (05.02.08),  
доцент кафедры «Цифровое проектирование»  
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный  
университет», г. Севастополь, ул. Университетская, 33  
299053, тел. +7 (8692) 540-667, [YOSTrelyanaya@sevsu.ru](mailto:YOSTrelyanaya@sevsu.ru)  
28.11.2023 г.

Стреляная Юлия Олеговна



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Пимушкина Я.И. «Разработка метода повышения объемной 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

Целью представленной диссертационной работы является повышение точности перемещений рабочих органов многокоординатного металлорежущего оборудования со схемами прямолинейных движений на основе методов дифференциальной геометрии. Оценивалась точность позиционирования рабочих органов станков в условиях систематических погрешностей.

Многокоординатные металлорежущие станки с ЧПУ широко применяются в современном производстве, поэтому повышение точности их работы является актуальной задачей.

Предложено решать поставленную задачу путем разработки метода повышения объемной точности на основе цифровой коррекции перемещений рабочих органов станков.

Проведенные при этом исследования и полученные результаты имеют научную новизну. Разработаны метод повышения точности на основе математической процедуры калибровки кинематики станка с помощью лазерного трекера, метод коррекции трёхкоординатных движений обрабатываемого центра с новым решением обратной задачи кинематики и математическая модель объемной точности станка на сетке параметрических погрешностей.

Для исследований применены общепринятые и аттестованные методики и специальное оборудование, использованы математические методы и компьютерные программы.

Результаты работы достаточно широко апробированы на конференциях различного уровня. По теме диссертации опубликовано 12 статей.

Практическая значимость работы заключается в предложении и обосновании нескольких инженерных методов и программ, упрощающих или повышающих техническую эффективность решения вопросов проектирования и эксплуатации станков.

К замечаниям по автореферату можно отнести отсутствие примеров практического применения результатов работы.

В целом представленная диссертационная работа является законченным научно-квалифицированным исследованием, по степени актуальности, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013г.), а её автор Пимушкин Я.И..

заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Багайсков Юрий Сергеевич  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиал) Волгоградского государственного технического университета  
404121, Волжский, Волгоградской обл., ул. Энгельса, 42а.  
8(8443)381049, 8(902)3130738  
[astra@post.volpi.ru](mailto:astra@post.volpi.ru), [bagaiskov@bk.ru](mailto:bagaiskov@bk.ru)

08.12.2022г.

Подпись тов. Багайскова Ю.С.  
удостоверяю М. Голунова Л.В.  
Зав. канцелярией ВПИ (филиал) ВолгГТУ

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Пимушкина Ярослава Игоревича «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 физикотехнической обработки

Рассматриваемая работа Пимушкина Ярослава Игоревича «Разработка метода повышения объёмной точности многокоординатного металлорежущего оборудования на основе цифровой коррекции перемещений рабочих органов», представлена на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 □ Технология и оборудование механической и физикотехнической обработки и посвящена решению актуальной задачи – проблеме повышения точности и эффективности обработки изделий со сложной поверхностью с применением многокоординатных станков.

Актуальность данной работы обусловлена широким использованием многокоординатных машин в современном производстве деталей со сложной формой поверхности в основных стратегических отраслях машиностроения – авиационной, ракетно-космической, оптической, оборонной и других.

В диссертации рассмотрены методы повышения точности многокоординатных систем и показано, что повышение объёмной точности позволяет существенно повысить качество изготовления и обработки. На основе этого выработаны основные принципы методики измерения объёмной погрешности многокоординатных систем с использованием лазерных интерференционных измерительных систем.

Существенным научным результатом работы является представление погрешности по программно управляемым осям машины и разработка метода коррекции трёхкоординатных движений обрабатывающего центра путём нового решения обратной задачи кинематики в криволинейной системе координат его исполнительного привода.

Практическая значимость работы заключается в проведении большого объёма измерений на реальном оборудовании с целью построения распределения объёмной погрешности в рабочем пространстве машины и разработке инженерного, т.е. не требующего значительных вычислительных мощностей, метода снижения геометрических погрешностей трехкоординатных обрабатывающих центров на основе калибровки их кинематики с помощью лазерного трекера.

Работа выполнена на высоком научном уровне, имеет научную новизну и практическую значимость. Автореферат имеет структуру, полностью отражающую как ход исследований, так и полученные результаты.

Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, в полной мере опубликованы в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов работ по диссертациям на соискание ученой

степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 □ Технология и оборудование механической и физикотехнической обработки, а также представлены на ведущих российских и международных конференциях.

В качестве замечаний к автореферату следует отнести следующее:

- измерения, проведенные в рамках работы, были выполнены только на многокоординатных металлорежущих станках. Проведение аналогичных измерений на координатно-измерительных машинах позволило бы повысить ценность работы;

- в работе Пимушкин Ярослав Игоревич сконцентрировал внимание только на систематических геометрических погрешностях многокоординатных систем, не уделив внимания другим источникам погрешностей.

Приведенные замечания не снижают общего положительного, впечатления от высокого научного уровня работы и носят рекомендательный характер.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, Пимушкин Ярослав Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Профессор кафедры «Физика»  
Академия Базовой Подготовки  
Федерального государственного  
автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Российский университет транспорта»

д.т.н., доцент



Антипенко Виталий Сафронович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)) 127994, Россия, г. Москва, ГСП-4, ул. Образцова, д 9, стр. 9 тел. +7 (495) 274-02-74 доб. 4220.

e-mail: antipenkovs7@mail.ru (Антипенко В.С.)

Подпись В.С. Антипенко заверяю  
Начальник управления  
развития персонала



  
11.12.2013

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Пимушкина Ярослава Игоревича ” Разработка метода повышения объемной 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”

Задача повышения объемной точности многокоординатных металлорежущих станков в настоящее время является актуальной. Известно, что величина объемной погрешности станка складывается из систематической и случайной составляющих. Диссертационная работа посвящена разработке метода повышения точности станков путем снижения систематической погрешности, которая, в основном, зависит, от геометрической точности деталей станка.

Предметный детальный анализ причин возникновения систематических погрешностей позволяет решать задачи превентивной диагностики станков на этапах изготовления, сборки и выходного контроля, что указывает на перспективность выбранного диссертантом научного направления исследований.

Заслуживает внимания предлагаемый автором “тангенциальный метод” повышения геометрической точности, основанный на методах дифференциальной геометрии. Это расширяет диапазон применения предлагаемого метода и позволяет применять его для пространственных механизмов и, в частности, для механизмов параллельной структуры, где исполнительное звено механизма совершает сложное пространственное движение. Такая возможность основана на решении обратной задачи кинематики в криволинейной системе координат.

Предложенная автором математическая модель формирования объемной точности станка построенная как нелинейная модель второго порядка, позволяет на основе аналитического выражения, обоснованно, определять порядок малости слагаемых, образующих объемную погрешность.

В качестве замечаний следует отметить:


1. В автореферате соискатель приводит только наиболее важные, по его мнению, результаты измерений в виде таблиц, графиков и диаграмм. Целесообразно было бы привести большее количество графических материалов, позволяющих составить более полное представление о масштабе проделанной работы.

2. измерения, проведенные в рамках работы, были выполнены только на многокоординатных металлорежущих станках. Проведение аналогичных измерений на координатно-измерительных машинах или роботах позволило бы повысить ценность работы.

3. В работе соискатель сконцентрировал внимание только на систематических геометрических погрешностях многокоординатных систем, не уделив внимания другим источникам погрешностей и их влиянию.

4. В автореферате недостаточно описаны критерии применимости предложенных методов ко всему многообразию многокоординатных систем.


В целом, несмотря на указанные замечания, диссертационная работа Пимушкина Ярослава Игоревича соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп.9-11,13, 14 “Положения о присуждении ученых степеней”, утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико -технической обработки”.

Ведущий научный сотрудник, д. т. н., доцент  А. К. Алешин

Алешин Александр Константинович, доктор технических наук, доцент (05.02.18 – теория механизмов и машин) выражаю свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Пимушкина Ярослава Игоревича и их дальнейшую обработку. E-mail: aleshin\_ak@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук  
Адрес: Россия, 101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4  
Телефон: +7 (495) 628-87-30  
Факс: +7 (495) 624-98-63

*Алешин Александр Константинович*  
*Согласен с включением своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Пимушкина Ярослава Игоревича и их дальнейшую обработку*  
*15.12.2023 г.*



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Пимушкина Ярослава Игоревича «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

Проблема повышения точности многокоординатного технологического (станки, роботы) оборудования становится с каждым годом всё более актуальной. Это обусловлено тем, что во многих отраслях промышленности создаётся всё большее число деталей сложной пространственной формы, занимающих большое место в объёме рабочего пространства станка. Поскольку точность изготовления определяется точностью этого оборудования, становится недостаточным измерять только линейные или угловые погрешности, необходимо оценивать объёмные погрешности машины в каждой точке рабочего пространства. Объёмные погрешности, в отличие от линейно-угловых, имеют более сложную структуру и включают в себя отклонения, связанные с непрямолинейностью, неперпендикулярностью, угловыми поворотами и другими отклонениями взаимодействующих узлов машины. Поэтому диссертационная работа Пимушкина Я.И., направленная на учёт всех составляющих объёмных погрешностей и разрабатывающая методы их коррекции, является, безусловно актуальной.

В диссертации рассмотрены методы повышения точности многокоординатных систем и показано, что повышение объёмной точности позволяет существенно повысить качество изготовления и обработки. На основе этого выработаны основные принципы методики измерения объёмной погрешности многокоординатных систем с использованием лазерных измерительных систем.

Существенным научным результатом работы является разработка метода коррекции трёхкоординатных движений обрабатываемого центра путём нового решения обратной задачи кинематики в криволинейной системе координат его исполнительного привода.

Достоинством работы является её экспериментальное подтверждение. Автор демонстрирует огромный объём лазерных измерений параметрических составляющих погрешностей по управляемым осям, демонстрируя создание разнообразных лазерных наладок ЛИИС.

Научным аспектом работы является математический аппарат расчёта целевой позиции перемещения рабочего органа многокоординатного станка в рамках дифференциально-геометрической концепции его рабочего пространства, основанный на вычислении криволинейного интеграла, что значительно повышает объёмную точность.

Экспериментальные измерения подтверждают разработанный автором метод повышения точности и вызывают доверие. По существу, создан новый метод исследования точности многокоординатных машин с ЧПУ, открывающий возможности для принятия конструкторских, метрологических и технологических решений по проектированию реальных процессов цифрового производства прецизионных изделий сложной формы. Можно сказать, что имеет место новый принцип активного контроля, связанный с установлением связи метрологической базы изделия с участком рабочего пространства, в котором проводится первоначальная калибровка. В этом заключается научная новизна и практическая значимость работы.

Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, в полной мере опубликованы в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов работ по диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической



обработки, а также представлены на ведущих российских и международных конференциях.

К сожалению, работа не лишена недостатков:

- 1) автор изучал коррекцию систематической составляющей геометрической объёмной погрешности, игнорируя случайные факторы. Очевидно, за данной работой в будущем должны последовать работы, изучающие влияние случайных факторов на объёмную геометрическую погрешность. В настоящее время таких работ, к сожалению, практически нет.
- 2) в автореферате не описана возможность внесения коррекции на этапе подготовки программы для системы ЧПУ в САМ-системах и целесообразность такой коррекции.
- 3) в автореферате недостаточно подробно описана методика сбора измерительной информации в процессе выполнения работы.


Однако данные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы и носят рекомендательный характер.

В целом, автором проведена глубокая работа по исследованию проблематики повышения точности многокоординатных машин и предложены решения ряда задач в указанной предметной области. Работа является законченным исследованием, обладающим научной новизной и практической ценностью. Диссертация выполнена на высоком научном уровне.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, Пимушкин Ярослав Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».


Доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника» Федерального Государственного Бюджетного Образовательного Учреждения Высшего Образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный Исследовательский Университет)»

к.т.н., доцент

 Воротников Сергей Анатольевич  
15.12.2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (ФГБОУ ВО «МГТУ имени Н. Э. Баумана») 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.7  
тел. 89055967184  
e-mail: vorotn@bmstu.ru (Воротников С.А.)



  
О. В.  
499-263-60-48

Личную подпись кандидата технических наук, доцента Воротникова Сергея Анатольевича заверяю

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Пимушкина Ярослава Игоревича «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

На отзыв представлена работа, посвящённая исследованию методов повышения геометрической точности многокоординатного металлорежущего оборудования с числовым программным управлением (обрабатывающие станки и центры), составляющего основу современного цифрового производства. В основу методов повышения точности положена цифровая коррекция перемещения рабочего органа металлорежущего станка по результатам лазерных измерений.

Важнейшей характеристикой качества любой технологической формообразующей машины является её геометрическая точность. Повышению точности многокоординатного оборудования посвящено большое количество исследований. Однако все они касаются, в основном, проблемы точности позиционирования, в то время как объёмная точность рассмотрена существенно меньше, и потребность в её изучении сохраняется. Между тем, совершенствование изделий во многих отраслях машиностроения (авиационной, ракетно-космической, нефтегазовой, судостроительной, оборонной и др.), имеющих стратегическое значение, приводит к созданию изделий сложной пространственной формы, точность которых непрерывно возрастает. Такой класс изделий, занимающих определённое пространство рабочей зоны при обработке или контроле, приобретает в последнее время всё более широкое распространение. В связи с этим было введено понятие объёмной геометрической точности и объёмной погрешности, и началась разработка методов их оценки. Тема диссертационной работы актуальна, поскольку необходимость разработки методов определения и управления объёмной точностью сохраняется.

Решению именно этой задачи посвящен рецензируемый автореферат диссертации Пимушкина Я.И. Предметом исследования в представленной работе являются методы повышения геометрической точности позиционирования рабочих органов многокоординатных металлорежущих станков в условиях систематических погрешностей. Цель работы состоит в повышении точности перемещений рабочих органов многокоординатного металлорежущего оборудования на основе методов дифференциальной геометрии. Актуальность не вызывает сомнений.

Автор отмечает, что алгоритмы коррекции объёмных погрешностей во всем объёме большого числа исходных данных весьма затруднительны как с измерительно-информационной, так и с вычислительной точек зрения. Поэтому практический интерес представляют «первые приближения» решения задачи повышения объёмной точности многокоординатных металлорежущих станков, основанные на некоторых допущениях распределения объёмных погрешностей в рабочем пространстве. При этом необходима экспериментальная проверка каждого такого решения, как инструмент его обоснования и возможного совершенствования.

Научная новизна диссертации Пимушкина Я.И. заключается в разработке методов оценки и повышения объёмной геометрической точности многокоординатных технологических систем (обрабатывающие станки и центры) на основе цифровой коррекции перемещений их рабочих органов, а также нового решения обратной задачи кинематики в криволинейной системе координат, учитывающих специфику лазерных измерительных систем в составе многокоординатных обрабатывающих центров.

Практическая значимость работы заключается в создании алгоритмов и программ решения обратной задачи трехкоординатной кинематики металлорежущих станков в

системе физических осей движения, которые могут быть использованы для создания постпроцессора с контролем лазерного интерферометра в условиях высокоточного позиционирования.

Автореферат имеет понятную структуру, полностью отражает ход исследований и полученные результаты.

Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, в полной мере опубликованы в ведущих научных изданиях, входящих в базы данных *Scopus* и рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов работ по диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, а также представлены на ведущих российских и международных конференциях.

В качестве замечаний к автореферату следует отнести следующее.

При лазерных интерференционных измерениях параметрических составляющих объёмной геометрической погрешности в точках рабочего пространства следовало провести оценки погрешностей самого средства измерения – многофункциональной лазерной интерференционной измерительной системы (ЛИИС) в режиме линейных и угловых измерений.

Однако эти замечания не влияют на общее, положительное, впечатление от работы и носят рекомендательный характер.

Результаты диссертации, её научные и практические выводы имеют существенное значение для систем электронного машиностроения и позволяют путём предложенного автором анализа повысить точность механической части многокоординатных устройств в этой области.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, Пимушкин Ярослав Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Профессор кафедры 1203 «Технологии производства приборов и информационных систем управления летательных аппаратов»  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)»  
д.т.н., доцент


  
\_\_\_\_\_ Андрианова Наталья Николаевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)» (МАИ (НИУ))

125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4  
тел. +7 (495) 915-54-41

e-mail: andrianova\_nn@mail.ru (Андрианова Н.Н.)

*Подпись Андриановой Н.Н.  
заверено зам. дир. Института  
Жозлова ОВ 18.12.23*



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Пимушкина Ярослава Игоревича  
**«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

Современное машиностроение невозможно представить без деталей, имеющих элементы, зачастую обладающие формой, весьма далекой от геометрических примитивов. Требования к точности изготовления таких деталей предъявляются самые высокие, а их изготовление производится на сложнейшем многокоординатном оборудовании. Их контроль осуществляется на координатных измерительных машинах, точность измерений которых, в свою очередь, не должна уступать точности производственного оборудования. Достижение высоких требований возможно только с помощью контроля оборудования высокоточными измерительными приборами. Обеспечить такую точность на данный момент могут только средства измерений, основанные на принципе интерференции лазерных лучей – интерферометры и лазерные трекары.

В свою очередь, предъявляемые высокие требования к изделиям требуют очень высокоточных движений обрабатывающего инструмента при выполнении технологического процесса, что, в свою очередь, заставляет учитывать влияние множества внешних факторов. Поэтому в данной ситуации недостаточно контролировать геометрическую точность направляющих и точность перемещения подвижных узлов станков, необходимо обеспечивать пространственную точность обработки, учитывающие множество дополнительных факторов, таких как, например, поворотные отклонения, наблюдаемые в рабочем пространстве станков. Поэтому решение задачи объёмной точности является важнейшей задачей современного машиностроения.

Работа Пимушкина Я.И. посвящена разработке метода повышения объёмной точности многокоординатного технологического оборудования путём цифровой коррекции перемещений рабочих органов.

Проведенные исследования позволили автору разработать и исследовать математическую модель объёмной точности технологического оборудования, применение которой в разработанных методах позволяет повысить не только точность позиционирования станка, но точность изготовления и измерений деталей сложной формы. Разработанная модель верифицируема в рамках установленных ограничений.

Экспериментально подтверждено, что применение предложенной математической модели позволит не только повысить точность путем внесения коррекции в управляющую систему (ЧПУ), но и без него путем выбора оптимального использования части рабочего пространства. Предложенные методы обладают большим потенциалом для применения в промышленности.

Результаты исследований достаточно полно опубликованы в научной литературе, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, доложены на международных конференциях.

Результаты исследований реализованы на практике в виде разработанной математической модели объёмной погрешности многокоординатных систем, которая может быть применена для повышения точности обработки деталей сложной формы или координатных измерений на современном измерительном и производственном оборудовании.

Практическая значимость работы заключается в создании алгоритмов и программ решения обратной задачи трехкоординатной кинематики металлорежущих станков в

системе физических осей движения, которые могут быть использованы для создания постпроцессора с контролем лазерного интерферометра в условиях высокоточного позиционирования.

Автореферат имеет понятную структуру, полностью отражает ход исследований и полученные результаты.

Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, в полной мере опубликованы в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов работ по диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, а также представлены на ведущих российских и международных конференциях.

В качестве замечаний к автореферату следует отнести следующее:

- при лазерных интерференционных измерениях параметрических составляющих объёмной геометрической погрешности в точках рабочего пространства автор не дал оценок погрешностей самого средства измерения - ЛИИС в режиме линейных и угловых измерений. Очевидно, автор понадеялся на высокую точность сертифицированного лазерного СИ, суммарная погрешность которого на порядок ниже измеряемых значений. Тем не менее, по законам метрологии это следовало бы сделать.;

- в автореферате соискатель приводит только наиболее важные, по его мнению, результаты измерений в виде графиков и диаграмм. Целесообразно было бы привести большее количество графических материалов, позволяющих составить более полное представление о масштабе проделанной работы.

Однако эти замечания не ослабляют общее, положительное, впечатление от работы и носят рекомендательный характер.

На наш взгляд, результаты диссертации, её научные и практические выводы имеют существенное значение для систем электронного машиностроения и позволяют путём предложенного автором анализа повысить точность механической части многокоординатных устройств в этой области.

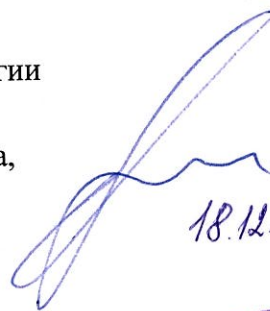
Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, Пимушкин Ярослав Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Доцент кафедры «Цифровые технологии  
и информационные системы»

Московского авиационного института,

к.т.н., доцент

Ванцов Сергей Васильевич



18.12.2023г.

Ванцов С.В.

Подпись Ванцова С.В. заверяю

Директор Дирекции института №3

Московского авиационного института



Следков Ю.Г.