

УТВЕРЖДАЮ



Ректор ФГБОУ ВО ИРНИТУ

д.т.н., доцент

Корняков М.В.

«25» марта 2024 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Блохина Дмитрия Андреевича «Разработка метода определения погрешностей перемещений узлов фрезерных станков с числовым программным управлением с физической имитацией рабочей динамической нагрузки», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

### **Актуальность темы исследования**

В последние годы точность и согласованность перемещений многокоординатных станков с программным управлением зачастую определяется с помощью высокоточных измерительных систем Ballbar и других приборов. Недостатком этого метода испытаний станков является невозможность применения таких измерительных приборов в процессе обработки. В процессе измерения не допускается наличие стружки и смазывающе-охлаждающей жидкости.

Практика показывает, что точность обработки деталей существенно ниже, чем точность перемещений в ходе квазистатических испытаний, особенно при локальном износе шарико-винтовой передачи. Программные методы корректировки износа участков шарико-винтовой передачи в процессе квазистатических испытаний показывает их высокую эффективность, но при обработке эти методы корректировки уже не столь эффективны.

Ещё одной проблемой высокоточной обработки на металлорежущих станках является различная жесткость и точность на разных участках в плоскости стола станка.

Модель образования погрешностей формы и шероховатости при фрезеровании деталей сложной формы должна учитывать значительное количество параметров, кроме перечисленных выше: жесткость инструмента, жесткость оснастки, виброустойчивость технологической системы. Частично эти параметры можно определить измерительными системами современных станков, датчиками обратной связи и иными способами. Однако, комплексно, с достаточной точностью, достоверностью и быстродействием эти параметры целесообразно определять специализированными приборами в формате

телескопического измерительного датчика в условиях воздействия динамической нагрузки, имитирующей процесс обработки.

В работе было принято решение имитировать силы резания по величине, частоте и направлениям воздействия с помощью достаточно простого устройства. Оно позволяет провести испытания станка во всех интересующих зонах стола в широком диапазоне частот и сил резания, характерных для фрезерных операций на обрабатывающих центрах.

Сочетание имитационного устройства и измерительных систем позволяют провести гораздо более достоверную диагностику оборудования, проверить жесткость технологической наладки, кроме инструмента, а также определить наиболее предпочтительные с точки зрения точности и виброустойчивости зоны рабочего пространства. Результаты испытаний точности перемещений станков, обладающих различными габаритами, массами, степенью износа, с предложенной автором комбинацией имитатора силовых факторов процесса фрезерования и измерительных устройств показали высокую достоверность и информативность метода диагностики.

В связи с этим актуальность темы не вызывает сомнений.

### **Оценка структуры и содержания работы**

Диссертационная работа изложена на 161 страницах машинописного текста, содержит 72 рисунка и 8 таблиц. Она состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников, включающего 104 наименований и 2 приложений.

**Во введении** обоснована актуальность темы, раскрывается содержание, сформирована основная цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, изложены положения, выносимые на защиту.

В работе были поставлены следующие научные и практические задачи:

1. Разработка устройства для силовой имитации процесса резания в широком диапазоне режимов обработки.

2. Разработка методики проведения испытаний на точность и виброустойчивость перемещений механической части привода стола станка и определение точностной и динамической характеристики разных зон станка с имитацией рабочей нагрузки.

3. Исследование динамических погрешностей при перемещениях на изношенном и неизношенном участках шарико-винтовой передачи при приложении динамической вибрационной нагрузки. Сравнение полученных результатов.

4. Разработка рекомендаций по применению методов оценки качества демпфирования в приводах станков для обработки с большими силами резания и виброустойчивости станков для высокоскоростной обработки.

**В первой главе** проведен анализ причин возникновения погрешностей взаимных перемещений при обработке деталей со сложным профилем на фрезерных станках с ЧПУ, а также параметров, влияющих на точность и виброустойчивость процесса фрезерования. Также рассмотрены подходы к повышению точности металлорежущих станков. Обоснована актуальность проблемы повышения достоверности испытаний точности перемещений узлов станка с учетом локального износа шариковинтовых передач. Доказана целесообразность применения нагрузочного устройства с неуравновешенной массой, позволяющего оценить жесткость оборудования во всех направлениях в плоскости перпендикулярной оси вращения.

**Вторая глава** посвящена проектированию конструкции устройства с вращающейся неуравновешенной массой для силовой имитации процесса фрезерования и методам испытаний станков с его применением. Приведена методика определения частоты воздействия, массы и эксцентриситета дисбаланса для соответствия определенным режимам фрезерования. Проведены исследования по измерению величины виброперемещений различными измерительными приборами, даны рекомендации по областям применения.

Проведены экспериментальные исследования зависимости податливости несущей системы станка в статике и в движении от параметров испытания и положения узлов станка. Экспериментально доказано соответствие амплитуд виброперемещений при фрезеровании и при имитационном испытании.

**В третьей главе** рассмотрен запатентованный автором метод определения погрешностей при круговых перемещениях узлов под нагрузкой. Представлена наладка на проведение измерений точности взаимосвязанных перемещений станка телескопическим датчиком с устройством, имитирующим силовые факторы процесса фрезерования. Причем измерение происходит в разных зонах плоскости стола, что позволяет составить карту погрешностей для различных режимов нагружения. В ходе испытаний оборудования под нагрузкой фиксируется амплитуда виброперемещений узлов существенно превышающая виброамплитуду при перемещениях без нагрузки на десятки и сотни процентов. По результатам испытаний формируется наглядная картина распределения погрешностей перемещения, позволяющая скорректировать зону обработки и сделать обоснованные выводы о необходимости технического обслуживания и ремонта.

Экспериментально доказано, стр. 106-108, что предложенное в работе устройство для имитации нагрузки позволяет определить погрешность аналогичную той, которая получается при кольцевом фрезеровании.

**Четвертая глава** посвящена методам оценки эффективности вибродемпферов, а также особенностям проектирования и вибродиагностики специальных станков. Предложена конструкция вибродемпфера и проведены исследования его эффективности с применением разработанной методики

испытаний. Установлено, что амплитуда виброперемещений при применении вибродемпфера может быть уменьшена до 2 раз, что представляет интерес для силовой обработки. Предложенная методика испытаний может быть применена для оперативной оценки эффективности вибродемпфирующих устройств.

Представлена практическая реализация малогабаритного станка, обладающего достаточной виброустойчивостью для высокоскоростной обработки алюминиевых сплавов, в которой виброустойчивость обеспечивается за счет жесткости шариковинтовых пар и направляющих. Предложен способ оценки запаса виброустойчивости с увеличением вылета фрезы.

В результате проведенных исследований сформулированы основные выводы.

### **Новизна полученных результатов и выводов**

Известные разработки в области определения погрешностей перемещений станков не обеспечивают достоверных результатов испытаний, пригодных для оценки точности перемещений при обработке. Автор разработал методики, позволяющие решить данную техническую проблему и повысить достоверность диагностики за счет проведения испытаний с имитацией силовой нагрузки, действующей при фрезеровании. Представляющим интерес считаем использование комбинации динамической нагрузки и распространенных высокоточных измерительных приборов.

Научной новизной работы считаем:

- разработанный метод измерения виброперемещений в ходе кругового движения с приложением центробежной силы за счет вращения неуравновешенной массы;
- доказанное позиционно-зависимое различие между точностями позиционирования и перемещений, измеренных в квазистатическом и в нагруженном состоянии станка.

В выводах по работе конкретизированы положения научной новизны, даны качественные и количественные характеристики методов испытаний станков. Выводы концентрированно выражают основные научные и практические результаты работы.

### **Степень достоверности результатов исследования**

Основные научные положения диссертационной работы и выводы достаточно обоснованы физическими моделями, экспериментальными исследованиями и значительным количеством проведенных испытаний, в том числе, в производственных условиях. В работе применялись современные измерительные приборы и программные продукты. Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается экспериментальной проверкой выдвинутых положений и сопоставлением результатов, полученных при фрезеровании и при силовой имитации, и, таким образом, не вызывает сомнений.

Основные положения диссертационной работы докладывались на 4 международных конференциях, а также на заседаниях кафедр кафедры станков и кафедры измерительных информационных систем и технологий МГТУ «СТАНКИН».

По теме диссертации опубликованы 10 печатных работ, из которых 6 работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получен патент на изобретение.

#### **Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертационной работы**

- Разработан метод определения точности перемещений станка в условиях имитации нагрузки, позволяющий установить зависимость точности перемещений от динамической нагрузки, имитирующей силы резания;
- Разработан метод определения точности круговых и прямолинейных перемещений узлов конкретной единицы оборудования с учетом его фактического состояния;
- Разработано устройство для моделирования динамической нагрузки, возникающей в процессе фрезерования, по подобию параметров амплитуды и частоты вынужденных колебаний, позволяющее, в том числе, определять предельные режимы резания для конкретной единицы оборудования;
- Предложен способ повышения жесткости конструкции специального малогабаритного фрезерного станка объектного базирования за счет увеличения размеров направляющих и шарико-винтовых передач.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы**

Результаты исследований диссертанта могут быть использованы на предприятиях, связанных с выпуском высокоточной продукции, особенно в станкостроительной отрасли, а также в организациях, осуществляющих сервисные и инжиниринговые услуги.

##### **Замечания по диссертационной работе:**

1. Не проанализированы и не измерены погрешности перемещений шпиндельных узлов под действием нагрузки.
2. В диссертационной работе отсутствуют ссылки на классические работы по механике процесса резания. В работе не упоминаются и не отражены автоколебательные процессы.
3. Устройство для имитации сил резания можно изготовить более компактным для работы с малогабаритными станками.
4. На рисунке 3.12 представлена модель станка нормального класса точности и низкой жесткости, что не согласуется с заявленными целями работы.

5. В оформлении диссертации имеют место грамматические ошибки. По тексту диссертации для одного и того же объекта используется различная терминология, например: «вибровозбудитель» и «источник вынужденных колебаний».

Указанные замечания не снижают ценности работы и не влияют на её общую положительную оценку.

### **Заключение**

Диссертационная работа Блохина Дмитрия Андреевича «Разработка метода определения погрешностей перемещений узлов фрезерных станков с числовым программным управлением с физической имитацией рабочей динамической нагрузки» на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научной квалификационной работой, содержащей новое решение актуальной научной задачи по разработке метода определения погрешностей перемещений узлов станка под нагрузкой, обладающего большей достоверностью.

Автореферат диссертации в полной мере отражает структуру, научные результаты и выводы диссертации. Текст диссертации оформлен стилистически грамотно и в соответствии с требованиями, терминология используется по существу и назначению. Часть работы реализована в рамках договорных работ с ООО «НТЦ «Эталон».

Название и содержание диссертационной работы в полной мере соответствует формуле и области научных исследований по специальности 2.5.5. – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, а также требованиям и критериям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 года № 842, а ее автор, Блохин Дмитрий Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Отзыв подготовлен кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Технологии и оборудования машиностроительных производств», научным руководителем НИЛ «Технологии высокопроизводительной механической обработки» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Савиловым Андреем Владиславовичем.

Диссертационная работа Блохина Д.А. и данный отзыв прошли обсуждения и одобрены на заседании НТС ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет протокол № 4 от «14» марта 2024 года. Результаты голосования: «за» - 12, «против» – 0, «воздержались» - 1.



## Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Тел.: +7 (3952) 405-000

Электронная почта: info@istu.edu

Сайт: <https://www.istu.edu/>

**Председатель НТС**



Корняков Михаил Викторович

**Секретарь НТС**



Панасенкова Елена Юрьевна

Заведующий кафедрой  
Технологии и оборудования  
машиностроительных производств  
д.т.н., профессор



Пашков Андрей Евгеньевич

25.03.2024

Доцент кафедры  
Технологии и оборудования  
машиностроительных производств

к.т.н., доцент



Савилов Андрей Владиславович

25.03.2024

