

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., профессора

Утенкова Владимира Михайловича на диссертационную работу Шлаева Кирилла Ивановича на тему: «Повышение эффективности станков на основе диагностики технического состояния угловых фрезерных головок», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

### **1. Актуальность темы диссертационной работы**

Диссертационная работа Шлаева К.И. посвящена актуальной задаче повышения эффективности машиностроительного производства, что невозможно без увеличения производительности и надёжности механообрабатывающего оборудования. В современных условиях предприятия стремятся оптимизировать использование имеющихся станков, оснащая их дополнительной оснасткой, например, угловыми фрезерными головками. Они расширяют технологические возможности многоцелевых станков с ЧПУ.

Применение угловых головок в серийном производстве, с одной стороны, повышает гибкость и функциональность оборудования, с другой стороны, вызывает снижение жесткости и виброустойчивости, что негативно сказывается на точности и надёжности работы станков. Для предотвращения непредвиденных отказов, обеспечения высокой точности и увеличения срока службы оборудования важно разработать и внедрить современные методы мониторинга и диагностики его состояния.

Таким образом, исследования Шлаева К.И. направлены на решение актуальной задачи повышения эффективности эксплуатации станков, оснащаемых угловыми фрезерными головками.

## **2. Новизна исследований и полученных результатов**

Автору удалось успешно решить поставленные научные задачи и получить оригинальные научные результаты, основными из которых являются следующие:

- разработана методика повышения эффективности станков, оснащаемых угловыми фрезерными головками, позволяющая увеличить ресурс головок, снизить время простоя, оптимизировать затраты на обслуживание и повысить надежность их эксплуатации;

- установлена взаимосвязь между динамическими и статическими характеристиками угловой головки и её техническим состоянием, что позволяет выявить резервы для повышения эффективности работы оборудования;

- предложен способ вибродиагностики конического зубчатого зацепления, позволяющий диагностировать его состояние и оценивать влияние на процесс фрезерования, обеспечивая более точное обслуживание;

- разработана конечно-элементная математическая модель, описывающая поведение угловой головки, учитывающая угловое расположение валов и наличия конического зубчатого зацепления, что позволяет точно оценивать её динамические характеристики;

- выявлена взаимосвязь между динамическими характеристиками угловой головки и сроком её эксплуатации, что делает возможным прогнозирование остаточного ресурса;

- определены диагностические признаки для различения исправных и неисправных угловых головок по их динамическим характеристикам, что способствует более точному мониторингу состояния оборудования.

## **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений**

Обоснованность научных положений, выводов работы и заключений не вызывает сомнений, т.к. исследования базируются на корректном применении положений и методов, основанных на известных достижениях фундаментальных и прикладных научных дисциплин, сопряженных с предметом исследования. Достоверность подтверждается также удовлетворительной сходимостью результатов математического моделирования с экспериментальными данными.

Кроме того, достоверность основных выводов подкреплена актами, подтверждающими внедрение результатов работы на производственных предприятиях АО «ГНПП «Регион», АО «АКИН», АО «ВНИИРТ», АО «СТП-САСТА»

#### **4. Практическая значимость**

Практическая значимость работы обусловлена возможностью непосредственного применения разработанных методик и инструментов для повышения эффективности эксплуатации станков с угловыми фрезерными головками. Внедрение предложенных решений способствует оптимизации производственных процессов, снижению эксплуатационных затрат и повышению надежности оборудования.

Практическая значимость работы заключается в:

- методике диагностики, позволяющей оценивать продолжительность безотказной работы угловых фрезерных головок на основе их динамических характеристик;
- программном обеспечении для моделирования конструкций типа угловых головок, что позволяет прогнозировать их динамические характеристики и определять оптимальные режимы эксплуатации;
- предложенных рекомендациях по проведению вибродиагностики технического состояния угловых головок, включающие пятиэтапную методику диагностики;

#### **5. Оценка содержания диссертации, ее завершенности в целом**

Диссертация Шлаева К.И. выполнена на кафедре станков ФГБОУ ВО Московский государственный технологический университет «Станкин» и представляет собой научно-квалификационную работу, состоящую из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы и 5 приложений. Работа содержит 182 листа машинописного текста, 101 рисунок, 12 таблиц и список литературы из 156 источников.

**В главе 1** автором проведен обзор существующих исследований в области динамики станков и влияния вспомогательной оснастки на их динамические характеристики. Рассмотрены основные типы вспомогательной оснастки и случаи их применения. Выявлены группы оснастки, для которых уже разработаны математические модели, а также те,

которые требуют дополнительных исследований. Проведен анализ причин возникновения колебаний и существующих методов их устранения.

В результате анализа литературных данных установлено, что угловые фрезерные головки являются важной составной частью динамической системы станка. Прогнозирование их влияния на техническое состояние обрабатывающей системы возможно только на основе экспериментальных данных, получаемых в процессе обработки, и оперативного анализа динамических характеристик всей системы. На основании проведенного анализа сформулирована цель исследований и определены задачи для её достижения.

В главе 2 проанализированы основные методы математического моделирования сложных динамических систем, применяемые для моделирования динамических характеристик угловых фрезерных головок. Автор отмечает, что использование матричного подхода позволяет упростить решение задач динамики, делая доступными численные методы и компьютерное моделирование. Однако наибольшую точность и надежность при анализе сложных динамических систем, по мнению автора, обеспечивает метод конечных элементов, который позволяет учитывать нелинейность системы, множество степеней свободы и широкий диапазон частот колебаний.

Методика моделирования основана на схематизации упругой механической системы с помощью совокупности «массивов» и «стержней», соединенных упругими элементами, такими как «упруго-вязкая пружина». Автор удачно применяет эти методы для расчета статических и динамических характеристик угловых головок.

В главе 3 выполнено моделирование угловой головки методом конечных элементов. Сформированы матрицы инерции, демпфирования и жесткости угловой головки. На этом основании разработано программное обеспечение, позволяющее смоделировать расчетную схему угловой головки. На основании которой вычисляются собственные частоты, возникающие в процессе обработки и её жесткость. Для получения данных о инерционных свойствах элементов модели выполнено измерение деталей и построена 3D модель для анализа динамических характеристик в CAD системах.

В главе 4 приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных на угловых головках Alberti T90-8, OMG TA 40 и HS 250C200 в производственных условиях. Эксперименты включали импульсное

возбуждение угловой головки с использованием динамометрического молотка по инструментальной оправке, закрепленной в угловой головке. На корпусе головки были установлены два вибродатчика, фиксирующие отклик системы на импульсное возбуждение, а частотная характеристика системы получалась через соотношение спектров вибраций и силового воздействия.

Дополнительно были проведены исследования при свободном вращении шпинделя на скоростях 400, 800, 2000 и 4000 об/мин. В основном изучались передние опоры, так как на них приходится основная нагрузка при фрезеровании, что делает их наиболее уязвимыми к износу. Полученные спектры вибраций для изношенной и новой головок позволили оценить состояние основных конструктивных элементов, таких как подшипники и зубчатые колеса. На основании данных был предположен дефект подшипников, который подтвердился при разборке.

Разработана пятиэтапная методика диагностики технического состояния угловых головок. Первый этап — сбор исходных данных. Второй этап — диагностика посредством импульсного возбуждения и измерение вибраций при работе шпинделя. Третий этап — обработка данных, включающая определение частотной характеристики, собственной частоты и жесткости, а также построение ХУ-диаграмм для дополнительного анализа на наличие дефектов. Четвертый этап — интерпретация результатов: если показатели в пределах нормы, назначается дата следующей диагностики; при превышении порогов выдается рекомендация о ремонте. Пятый этап — построение графика, позволяющего отслеживать техническое состояние головки в процессе эксплуатации.

В конце каждой главы изложены выводы. Диссертация написана грамотно с использованием принятой терминологии, оформление диссертации замечаний не вызывает.

## **6. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат содержит все основные пункты: обоснование актуальности темы; цель и задачи работы; содержание научной новизны и практической значимости; реализации результатов работы; данные об апробации работы, публикациях в научной печати и сведения о структуре и объеме работы; основное содержание работы; основные результаты и

выводы; список публикаций по диссертации. Автореферат полностью соответствует материалам диссертации и отражает ее основные положения.

## **7. Обзор и анализ публикаций**

По материалам диссертации было опубликовано 12 работ, в том числе 5 работ в изданиях, рекомендованных ВАК, 5 работ в журналах, входящих в российские базы цитирования РИНЦ, получен 1 патент на изобретение, 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

## **8. Замечания по работе.** К работе имеются некоторые замечания.

1. Не описана возможность масштабирования предложенных решений на другие типы угловых головок.

2. В работе представлено программное обеспечение, позволяющее строить АЧХ и оценить собственные частоты. Было бы полезно с помощью данного ПО также строить формы колебаний, что позволило бы получить более полное представление о поведении системы.

3. При проведении исследований при работающем шпинделе принята частота вращения 400, 800, 2000, 4000 об/мин, однако не ясно, из каких соображений она выбирается.

4. В разработанной автором методике диагностики четвертым этапом проводится сравнение уровня вибраций с нормативными значениями, однако, не приведена ссылка на эти значения.

5. Автором проведено сравнение качества поверхностей, обработанных с использованием неисправной угловой головки и после ее восстановления. Было бы полезно привести профилограммы, полученные при сравнении.

6. При высоком качестве оформления работы, тем не менее, в диссертации есть стилистические погрешности (стр. 34, 131) и опечатки (стр. 65, 70, 73, 95, 125).

## **9. Заключение**

Материал диссертации и автореферата изложен грамотным ясным техническим языком с хорошей аргументированностью. Работа хорошо иллюстрирована и оформлена. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации. В целом диссертация Шлаева Кирилла Ивановича является законченной научно-квалификационной работой, в

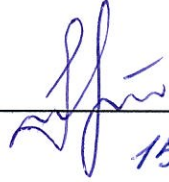
которой содержится решение задачи повышения эффективности станков на основе диагностики технического состояния угловых фрезерных головок.

Работа по актуальности, объему и уровню исследования, а также по значимости научных и практических результатов соответствует требованиям ВАК предъявляемых к кандидатским диссертациям.

Несмотря на указанные выше недостатки, диссертационная работа Шлаева К.И. удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Металлорежущие  
станки» федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Московский  
государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский  
университет)»

  
Утенков В.М.  
15.11.2024г.

Подпись заверяю:



СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ  
ОТДЕЛА КАДРОВОГО  
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ  
ХОДЫКИНА Л.Д.



Контакты: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», 105005, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1, Тел.: +7(499)2636391, email: bauman@bmstu.ru