

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Гаспарова Эрика Сергеевича «Обеспечение динамического качества высокоскоростных шпиндельных узлов на основе моделирования и безразборной оценки состояния опор», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Общая характеристика работы и соответствие темы диссертации паспорту научной специальности

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы, содержит 62 рисунка и 15 таблиц. Общий объем диссертации 174 страницы, включая приложения на 7 страницах, в которых приведены копии документов, подтверждающих внедрение результатов работы в производство, тексты и блок-схемы компьютерных программ, свидетельства об утверждении средств измерения и расчет предполагаемой экономической эффективности.

Структура диссертации построена логически верно.

Первая глава посвящена аналитическому обзору состояния вопроса, постановке цели и задач исследования.

Во второй главе описывается разработанная автором модель динамики подшипниковой опоры шпиндельного узла с учетом нелинейной упругой характеристики в системе «шарик - дорожка качения» и кинематического возмущения за счет их отклонений от геометрически правильных форм, уравнения движения и их аналитическое решение, излагаются результаты теоретических исследований влияния предварительного натяга в подшипниковой опоре на динамические характеристики шпиндельного узла, делается вывод о наличии связи между величиной предварительного натяга и амплитудно-частотными характеристиками шпиндельного узла в области передней опоры, приводятся результаты теоретического исследования влияния преобразующих свойств элемента с нелинейной упругой характеристикой на амплитудно-

частотную характеристику узла при гармоническом возмущении от дисбаланса ротора шпинделя.

В третьей главе дается описание разработанного автором экспериментального стенда, обосновывается выбор информационных точек для регистрации колебаний, приводится методика экспериментального исследования, методика обработки сигнала колебательного процесса и результаты экспериментальных исследований по установлению связи спектрального состава колебаний с величиной предварительного натяга.

В четвертой главе диссертации приводятся обоснование возможности и разработанные критерии оценивания величины предварительного натяга, методика функциональной диагностики шпиндельного узла по его амплитудно-частотной характеристике, получаемой из колебательного процесса путем возмущения механической системы изменяемой частотой вращения шпинделя, показана эффективность использования биспектрального преобразования для выделения информационной составляющей из зашумленного сигнала, даются основы разработки системы функционального диагностирования по динамическому критерию.

По каждой главе имеется вступительная часть, в которой излагаются решаемые в ней задачи и заключительная часть, в которой приводятся результаты и основные выводы. В целом по объёму и структуре диссертация соответствует установленным требованиям.

Автореферат раскрывает основные положения диссертации, а тема диссертационной работы соответствует заявленной специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (пункты 1, 4 и 5 паспорта специальности).

Актуальность темы диссертации

Шпиндельные узлы (ШУ) являются наиболее ответственными элементами динамической системы станка. Их динамическое качество во многом определяется качеством функционирования шпиндельных опор. И здесь важная роль отводится не только точности изготовления подшипников, качеству сборки опор шпинделя, но и созданию оптимальных условий их эксплуатации в

шпиндельном узле, что достигается настройкой оптимального предварительного натяга в подшипниковых опорах.

Величина предварительного натяга оказывает значимое влияние на основные параметры функционирования шпиндельного узла - на тепловой режим в опорах, на точность вращения оси шпинделя, на жесткость и виброустойчивость, на ресурс работы шпиндельного узла. Поэтому важное значение в шпиндельных узлах отводится способам создания и обеспечения оптимального натяга в подшипниковых опорах. Особую значимость они приобретают для высокоскоростных шпиндельных узлов. Целью диссертации является обеспечение динамического качества высокоскоростных ШУ на основе прогнозирования динамического качества подшипниковых узлов и экспериментальной оценки усилия предварительного натяга опор методом безразборного контроля, что определяет на актуальность темы.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов, выводов, рекомендаций

С величиной предварительного натяга коррелируются такие параметры, как жесткость переднего конца шпинделя, тепловой режим опор, момент вращения шпинделя на холостом ходу, форма траектории вращения переднего конца шпинделя, уровень виброактивности шпиндельных опор. В принципе каждый из указанных параметров может быть использован в качестве информационного критерия для оценивания и поддержания величины натяга в оптимальном диапазоне. Автор же выбрал наиболее чувствительный фактор для оценивания динамического качества шпиндельного узла и величины натяга в опорах в виде свойств колебаний, которые генерируются в опорах шпиндельного узла, что во многом определило новизну подхода к решению задач диссертации.

Новизну проведенных исследований отражают следующие положения:

1. Разработанная структурно-параметрическая модель опоры качения с нелинейной упругой характеристикой и ее математическое описание, позволившие автору увязать в единый комплекс инерционно-жесткостные и диссипативные характеристики шпиндельного узла с кинематическим возмущением от движения тел качения по дорожкам подшипника и с

силовым воздействием на шпиндельные опоры.

2. Полученные аналитические решения математической модели, позволившие автору установить зависимость амплитудно-частотных характеристик шпиндельного узла от величины предварительного натяга в подшипниковых опорах и выявить влияние на нее преобразующих свойств нелинейной подсистемы «шарики-дорожки качения».
3. Обоснование диагностических критериев для оценивания величины предварительного натяга в опорах безразборным способом по характеристикам колебательного процесса, возбуждаемого в шпиндельном узле.
4. Предложенная научно обоснованная методика диагностирования предварительного натяга способами тестовой и функциональной диагностики на основе анализа частотных составляющих колебательного процесса, возбуждаемого ударным способом или динамическим воздействием вращающегося неуравновешенного шпинделя.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений подтверждается:

- корректностью использования методов разработки модели динамики подшипниковой опоры шпиндельного узла с учетом нелинейной упругой характеристики и кинематического возмущения от перемещения тел по дорожкам качения, методов приведения инерционных, упругих и диссипативных характеристик шпиндельного узла к подшипниковым опорам;
- применением классической теории подобия динамических систем механической и электрической природы при выводе аналитического решения уравнений движения, использованием классической теории электрических цепей и методов цифровой обработки сигналов;
- применением современных компьютерных технологий и известных и апробированных пакетов прикладных программ для обработки и визуализации полученных экспериментальных зависимостей (пакет

LabView для автоматизации научных исследований, визуальный язык программирования G);

- согласованностью экспериментальных данных с результатами теоретических исследований;
- апробацией научно обоснованных методик диагностики шпиндельных узлов на промышленных предприятиях, что подтверждено актами внедрения.

Экспериментальная часть работы выполнена на достаточно высоком техническом уровне с использованием современных измерительных приборов и оборудования, а также методик исследования и обработки экспериментальных данных. Достоверность экспериментальных данных обеспечивается наличием документов об утверждении типа средств измерения, их поверке и корректностью методик проведения исследований.

Основные выводы диссертации являются научно обоснованными и отражают существо проведённых исследований. Выводы 2-4 раскрывают научные основы для реализации возможности диагностирования состояния предварительного натяга в подшипниковых опорах путем анализа амплитудно-частотной характеристики шпиндельного узла. Выводы 5-8 делаются на основе результатов экспериментальных исследований и описывают принципы реализации способа диагностирования предварительного натяга по динамическому критерию. Вывод 9-11 раскрывает основы реализации функциональной диагностики шпиндельного узла. Вместе с тем, большая часть выводов носит констатирующий характер.

Практическая значимость результатов работы

В результате выполненного исследования предложены способы оценивания величины предварительного натяга в опорах, в основе которого лежит его корреляция с амплитудно-частотной характеристикой шпиндельного узла, что позволило решить задачу настройки предварительного натяга без проведения операции разборки.

Указанные способы подкреплены соответствующими конструкторскими решениями по оснащению измерительного стенда, выбором регистрирующей

аппаратуры, методическими рекомендациями и программной поддержкой процесса диагностирования шпиндельных узлов без применения разборных операций.

Публикации по работе

Основные результаты диссертационной работы изложены в 17-ти публикациях и доложены на научно-технических конференциях различного уровня. Из них 7 работ опубликованы в рецензируемых изданиях и журналах, рекомендованных ВАК РФ, имеется положительное решение на патент. Все опубликованные работы соответствуют теме и отражают основное содержание диссертации.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты, полученные в работе, ориентированы на использование в технологическом оборудовании, реализующем высокоскоростную механическую обработку, прежде всего, на внутришлифовальных станках, которые находят широкое применение в подшипниковой промышленности, в частности, на предприятиях группы компаний ЕПК. Разработанные в диссертации способы тестовой и функциональной диагностики могут найти применение не только для настройки оптимального натяга в опорах шпинделя, но и для выявления начальной стадии образования неисправностей в подшипниках, которые впоследствии могут привести к снижению качества или появлению брака обрабатываемых деталей.

Рекомендации по использованию материалов диссертации в учебных целях

Научные положения работы могут быть использованы в учебном процессе при изучении дисциплин, в которых излагаются вопросы моделирования динамики технологических систем, способы наладки и оптимальной настройки технологического оборудования по различным критериям, включая минимизацию уровня виброактивности опор. На базе экспериментального

стенда целесообразно создать учебно-исследовательские работы по изучению параметрического возмущения в опорах шпиндельного узла, связи динамических явлений с характеристиками механической системы и условиями эксплуатации шпиндельных узлов.

Замечания по существу работы

1. Шпиндельный узел в диссертации рассматривается как свободная колебательная система. Однако при механической обработке на нее накладываются новые динамические связи в виде подсистемы «инструмент - процесс резания», что может оказывать влияние на результаты исследования. В этой связи необходимо отметить, что добавление к динамической системе шпиндельного узла дополнительного упруго-диссипативного элемента, моделирующего колебательную систему оправки с инструментом, замкнутой на процесс резания, могло бы существенно повысить адекватность разработанной модели реальным условиям эксплуатации шпиндельного узла.
2. В модели колебательной системы шпиндельного узла не учитывается вязкое сопротивление в подсистемах «наружное кольцо подшипника - корпус шпиндельного узла» и «корпус шпиндельного узла - станина». Автор ссылается на их малую значимость, однако не приводит источники информации. Вместе с тем, не учет вязкого сопротивления может оказывать существенное влияние на амплитудно-частотные характеристики узла в области значений их собственных частот.
3. В заключении главы 3 определены численные значения границ рекомендуемых частот вращения шпинделя с минимальной виброактивностью, однако не указаны критерии определения или расчета указанных границ.
4. В третьей главе диссертации для выявления связи между динамическими характеристиками шпиндельного узла и величиной предварительного натяга применен метод ударного воздействия с регистрацией и последующей обработкой затухающего вибрационного сигнала. Однако на подобные испытания имеется ГОСТ "Р 53190-2008" - (Испытания на удар с

воспроизведением ударного спектра), на который автор не ссылается. Указанный ГОСТ устанавливает правила нанесения удара и выделения из регистрируемого сигнала ударного импульса и исследуемой информационной составляющей.

5. Не ясно, почему автор для получения аналитического решения математической модели динамики шпиндельной опоры использует переход на электрические аналоги. Ведь для решения систем нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих движения механических систем, известны хорошо разработанные асимптотические методы нелинейной механики.

Замечания по терминологии:

1. Термин «значение относительной частоты пика», которым автор обозначает вычисляемую частоту центра тяжести частотного диапазона, не отражает смысл этого параметра. Целесообразнее было бы его обозначить в соответствии с методикой его вычисления, например, «интегральная частота».
2. В диссертации на стр. 87 допущено некорректное выражение «... экспериментальное исследование влияния значения такого конструктивного параметра как предварительный натяг ...». Предварительный натяг является не конструктивным, а настроечным параметром шпиндельного узла.

Заключение

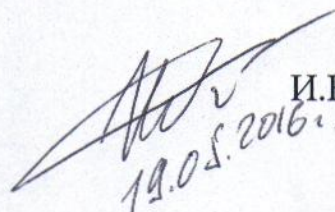
На основании изучения содержания диссертационной работы, ее автореферата и публикаций считаю, что диссертация Гаспарова Э.С. представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Проведенные автором исследования и полученные результаты обладают научной новизной, практической значимостью и вносят значительный вклад в решение актуальной научно-технической задачи повышения динамического качества высокоскоростных шпиндельных узлов. Достоверность и обоснованность результатов не вызывает сомнений.

Материал диссертации изложен грамотно с использованием принятой в

машиностроении терминологии, текст диссертации хорошо иллюстрирован. Содержание исследований достаточно полно отражено в открытой печати и представлено на научно-технических конференциях.

Считаю, что диссертационная работа по своему содержанию, актуальности, научной новизне и практической значимости полностью отвечает требованиям ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям и определенным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24.09.2013г., а ее автор, Гаспаров Эрик Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор
кафедры «Проектирование технических и
технологических комплексов» Саратовско-
го государственного технического универ-
ситета имени Гагарина Ю.А.
(диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук по
специальности 05.03.01 - Технологии и
оборудование механической и физико-
технической обработки (диплом № 7д/22
от 7.02.2005 г.).


И.Н. Янкин
19.05.2016г.

Подпись И.Н. Янкина заверяю:
Ученый секретарь Ученого совета СГТУ
имени Гагарина Ю.А.,
д.т.н., профессор


П.Ю. Бочкарев