

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО
СОВЕТА Д 999.003.02 НА БАЗЕ ФГБОУ ВО «УЛЬЯНОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» И ФГБОУ ВО
«ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело N _____
решение диссертационного совета от 10 июня 2016 г. № 19

О присуждении Гаспарову Эрику Сергеевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обеспечение динамического качества высокоскоростных шпиндельных узлов на основе моделирования и безразборной оценки состояния опор» по специальности 05.02.07 "Технология и оборудование механической и физико-технической обработки" принята к защите 01 апреля 2016 года, протокол № 16, объединенным диссертационным советом Д 999.003.02 на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» Министерства образования и науки РФ, 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 и ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» Министерства образования и науки РФ, 445667, Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, приказ №123/нк от 17 февраля 2015 г.

Соискатель Гаспаров Эрик Сергеевич 1977 года рождения. В 2002 году соискатель окончил «Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева». В 2011 году окончил аспирантуру ФГБОУ ВПО "Самарский государственный технический университет" по специальности 05.02.07 "Технология и оборудование механической и физико-технической обработки". Работает инженером-программистом и ассистентом кафедры "Транспортные процессы и технологические комплексы" в ФГБОУ ВО "Самарский государственный технический университет" Министерства образования и науки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре «Автоматизированные станочные и инструментальные системы» в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Министерства образования и науки РФ.

Научный руководитель - доктор технических наук, Денисенко Александр Федорович, заведующий кафедрой "Автоматизированные станочные и инструментальные системы" ФГБОУ ВО "Самарский государственный технический университет».

Официальные оппоненты:

Янкин Игорь Николаевич – доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», кафедра «Проектирование технических и технологических комплексов», профессор;

Башаров Рашит Рамилович – кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный авиационный технический университет", кафедра «Мехатронные станочные системы», доцент, дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» г.Самара в своем положительном отзыве, подписанном Прокофьевым Андреем Брониславовичем, доктором технических наук, профессором, проректором по науке и инновациям ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»; Ермаковым Александром Ивановичем, доктором технических наук, профессором, директором института двигателей и энергетических установок ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»; Скуратовым Дмитрием Леонидовичем, доктором технических наук, профессором, заведующим

кафедрой технологий производства двигателей ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»; Балякиным Валерием Борисовичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой основ конструирования машин ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», указала, что диссертация Гаспарова Э.С. соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением №842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года и удовлетворяет требованиям ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор - Гаспаров Эрик Сергеевич - заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата наук по специальности 05.02.07 "Технология и оборудование механической и физико-технической обработки".

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 17 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 7. Объем научных изданий - 4,86 печатных листа, из них авторский вклад - 2,28 печатных листа. Соискателем опубликован 1 патент на изобретение.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации Э.С. Гаспарова:

Гаспаров, Э.С. Анализ сигналов виброускорения подшипниковых опор мотор-шпинделя / Э.С. Гаспаров, А.Ф. Денисенко, Л.Б. Гаспарова // Известия Самарского научного центра РАН, т. 14, №6, Самара, 2012. - С. 63-69. *Гаспаров, Э.С.* Экспериментальная оценка зависимости вибродиагностических параметров шпиндельного узла от величины предварительного натяга его опор / Э.С. Гаспаров, А.Ф. Денисенко, Л.Б. Гаспарова // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», №2(46), 2015. - С.152-158. *Гаспаров, Э.С.* Определение усилия предварительного натяга подшипниковых опор шлифовального шпинделя / Э.С. Гаспаров, А.Ф. Денисенко, Л.Б. Гаспарова // «Сборка в машиностроении, приборостроении», №9, 2015. - С. 26-29. *Гаспаров, Э.С.* Определение величины установки

предварительного натяга подшипниковых опор шпиндельного узла методом виброакустической диагностики / Э.С. Гаспаров, А.Ф. Денисенко, Л.Б. Гаспарова // «Вестник машиностроения», №12, 2015. - С. 126-129.

На диссертацию и автореферат поступили **положительные** отзывы с замечаниями: **ведущей организации** - недостаточно внимания уделено методам обеспечения динамического качества высокоскоростных ШУ за счет технологичности их изготовления и применения новых материалов; при постановке задач соискатель не провел оценку влияния на динамику шпинделя таких технологических погрешностей изготовления как отклонения от круглости (овальность, огранка), волнистость и т.д.) беговых дорожек колец подшипников качения опор шпиндельного узла. При том, что разработанная математическая модель учитывает влияние данных погрешностей на радиальные колебания шпинделя. Такая информация была бы полезной для полной оценки адекватности предлагаемой математической модели; при визуализации результатов математического моделирования (рис. 2.12, 2.13) для большей наглядности следовало использовать в качестве единиц измерения частоты герцы, а не частотные отсчеты; для большей наглядности оценки вклада электромагнитных сил в колебания шпиндельного узла нужно было привести в дополнение к частотно-временным разложениям (рис. 4.6 а, б, в), временные реализации колебаний шпиндельного узла с учетом влияния привода и без, т.е. на свободном выбеге; при проведении экспериментальных исследований следовало дать оценку параметрам осевых колебаний шпиндельного узла;

официальных оппонентов: Янкина И. Н. - 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; 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; В заключении главы 3 определены численные значения границ рекомендуемых частот вращения шпинделя с минимальной виброактивностью, однако не указаны критерии определения или расчета указанных границ; 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; 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; Башарова Р. Р.- не проведена оценка в количественном виде адекватности разработанных математических моделей по сравнению с результатами экспериментальных исследований; не уделено внимание вопросам формирования базы эталонных значений критериев; в тексте работы не показано, каким способом осуществлялось крепление датчика виброускорения на элементы шпиндельного узла; в работе приведены различные значения предварительного натяга при исследованиях (стр. 100, стр. 130, стр. 134); почему на графике зависимости относительной частоты пика от

предварительного натяга (рис 3.12) исследуется натяг до 126 Н а на рисунке 3.15 до 57 Н? отсутствуют ссылки в тексте диссертации на использованную литературу под номерами 37, 148, 184, 187, 190; автор использует различные размеры символов в формулах и обозначениях (стр. 31, 56, 69, 96, 126). ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» - не ясно какой смысл соискатель вкладывает в понятие «динамическое качество..» неоднократно упоминаемое в автореферате; В разделе «Научная новизна работы» пункт 3, скорее всего относится к практической значимости работы; Из автореферата непонятно, как соискатель выделяет при проведении экспериментов амплитудную составляющую, вносимую в картину колебательного процесса опорами качения, в общем спектре колебаний шпиндельного узла; ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет им Гагарина Ю.А.» - не указано, откуда взяты значения параметров(с.10) для моделирования АЧХ (рис.3); в материалах по главе 3 (с.12) «перспективная частота вращения шпинделя», но не поясняется, что под этим понимается; не уточнено, как все-таки выбирается диапазон скоростей вращения шпинделя по двум критериям (с14). ФГБОУ ВПО Тульский государственный университет - с целью упрощения модели механической системы шпинделя соискатель пренебрегает массой шариков подшипников. Однако такой подход не является надежным; непонятно, где в математической модели учитывается нелинейная жесткость упругих связей? На стр.7 автореферата $C_{\text{общ}}$ выражена линейной зависимостью; не совсем понятна процедура замены системы уравнений с механическими параметрами на аналогичную систему уравнений с электрическими параметрами; как в процессе экспериментов учитывалось воздействие на испытуемый шпиндель сил резания? Низкое качество рисунка 8 не позволяет адекватно оценить разработанное программное обеспечение для вычисления вибродиагностических критериев. ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет - из автореферата не ясно, в какой степени предложенная методика повышения динамического качества ШУ учитывает изменение тепловых процессов в шпиндельной опоре при варьировании предварительного натяга;

некоторая небрежность в представлении схемы программного обеспечения не позволяет в полной мере оценить предложение по рациональному выбору режима работы ШУ. ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет им Гагарина Ю.А.» ЭТИ, - какой тип датчика температуры был использован в ИИС, как производилась обработка экспериментальных данных и какова погрешность измерений? Для подтверждения эффективности предложенной методики и программного обеспечения целесообразно рассчитать предполагаемый экономический эффект от внедрения результатов исследования. ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» - из автореферата, неясно пригодна ли предложенная методика диагностирования (включая техническое оснащение) для произвольного шпинделя (шпиндельного узла) или полученные характеристики являются параметрами конкретного изделия, которые не переносимы для других конструкций? Представляет интерес, в какой мере изменяются динамические характеристики шпиндельного узла во времени. В автореферате такой информации нет, но она может быть интересной как для конструкторов, так и для механиков контролирующих состояние оборудования. ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» - в автореферате не приведено обоснование численных значений параметров для построения трехмерной АЧХ механической системы представленной на рис.3. ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» - известно, что увеличение радиально-осевого натяга снижает ресурс подшипников. Из автореферата, не ясно проводились ли автором расчеты средней наработки на отказ подшипников ШУ с различными усилиями предварительного натяга; не приведена блок-схема программы вычисления диагностических признаков, а приведенный на рис. 8 графический код не нагляден. ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» - из автореферата не ясно, как изменяется АЧХ при работе ШУ с инструментом и без. ФГБОУ ВО Севастопольский государственный университет - некоторые грамматические неточности в автореферате; масштаб и качество схемы на рис.8 затрудняют восприятие данной иллюстрации даже в

электронном виде; частота вращения шпинделя обозначается «об/мин», хотя правильнее было бы обозначать «мин⁻¹»; из автореферата неясно, возможно ли результаты проведенных исследований применить для шпиндельных узлов с газостатическими (аэро-статическими) или газоманитными опорами с осевыми подпятниками, например, из углеродистого графита? ФГБОУ ВПО «Ковровская государственная технологическая академия» - В автореферате не обоснован, а представлен диагностический критерий качества ШУ; рекомендованный рациональный диапазон частот вращения шпинделя представлен в выводах, но не обоснован в автореферате; ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» - неясно шпиндельные узлы каких станков анализировались - для обработки тел вращения или корпусных деталей? Из материалов автореферата неясно, почему качество шпиндельного узла, определяемое величиной предварительного натяга, называется динамическим? Все поступившие **отзывы положительные.**

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области динамики роторных систем, подшипников качения, металлорежущих станков и обрабатываемых технологий, что подтверждается представленными списками публикаций.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **разработаны** математическая модель подшипниковой опоры с нелинейной упругой характеристикой; экспериментальный стенд и информационно-измерительная система; новая экспериментальная методика определения осевого предварительного натяга опор качения шпинделя, позволяющая проводить его измерение с малой погрешностью и без разборки шпиндельного узла; **предложены** пути повышения эффективности применения вибродиагностических критериев за счет использования цифровых БИХ-фильтров для подавления частот вынужденных колебаний и оценки осевого предварительного натяга методом биспектрального анализа; **доказана** перспективность использования вибродиагностических

методов на резонансных частотах шпиндельного узла; новые понятия не **вводились**.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказано влияние осевого предварительного натяга на показатели динамических процессов шпиндельного узла; применительно к проблематике диссертации результативно **использованы** разработанные соискателем в пакете LabView модули программного обеспечения, реализующие необходимые вычисления на различных этапах исследования и позволяющие визуализировать результаты; **изложены** элементы классической теории подобия динамически аналогичных систем, теории контролеспособности и распознавания образов; **раскрыты** особенности влияния осевого предварительного натяга и контактных жесткостей на амплитудно-частотную характеристику подшипниковой опоры; **изучены** методы обеспечения и повышения динамического качества шпиндельных узлов; **проведена модернизация** математической модели для плоской схемы подшипниковой опоры шпинделя.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: **разработана и внедрена** методика диагностирования оборудования на предприятиях: ООО «Завод приборных подшипников» (г. Самара), АО «Волгабурмаш» (г. Самара). Получен патент на изобретение «Способ определения предварительного осевого натяга подшипниковых опор ротора», № 2583337; **определены** направления, пути решения и задачи совершенствования динамического качества шпиндельных узлов; **созданы** алгоритм и модуль программного обеспечения для автоматизации процесса диагностики и выбора частот вращения шпинделя по динамическому критерию; **представлены** рекомендации по использованию перспективных, по динамическому критерию, диапазонов частот вращения шпинделя, с целью увеличения производительности станков.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовались современные измерительные средства, и датчики, входящие в государственный реестр измерительных

средств. Для обработки полученных сигналов использовались методы цифровой обработки сигналов, алгоритмы которых реализовывались с помощью современного программного обеспечения; **теория** построена на проверяемых теоретических и экспериментальных данных и согласуется с ними. Достоверность и обоснованность научных выводов, положений и полученных результатов базируется на основных положениях классической механики и теории подобия динамических систем различной природы, теории цепей, методах операционного исчисления, системного и математического анализов, методах цифровой обработки сигналов, математической статистики; **идея базируется** на использовании и обобщении передового опыта российских и зарубежных ученых в области обеспечения динамического качества шпиндельных узлов методами вибродиагностирования и математического моделирования; **использовано** сравнение авторских данных и данных, имеющихся в эксплуатационной практике и в исследованиях в указанной области; **установлено** совпадение результатов полученных автором с результатами представленными в источниках независимой периодической и справочной печати по тематике исследования; **использованы** современные методы сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке и аналитических решениях модели опоры качения шпиндельного узла, разработке экспериментального стенда и информационно-измерительной системы, разработке способа определения предварительного осевого натяга подшипниковых опор ротора, выборе и обосновании диагностических критериев, разработке программного обеспечения.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследований и основной идейной линией, взаимосвязью поставленных задач и полученных выводов.

