

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
99.2.001.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УЛЬЯНОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» И
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета
от 27 декабря 2021 г. № 70

О присуждении Якимову Михаилу Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение точности шпиндельных узлов на основе обеспечения изотропных упругих характеристик опор» по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)» принята к защите 25 октября 2021 г., протокол № 67, объединенным диссертационным советом 99.2.001.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения (ФГБОУ) высшего образования (ВО) «Ульяновский государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», Министерства науки и высшего образования РФ, по адресу 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, действующим на основе приказа №123/нк от 17.02.2015 г.

Соискатель Якимов Михаил Владимирович, 1985 года рождения.

В 2007 году соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет» по специальности 050501 «Профессиональное обучение (машиностроение)» и получил квалификацию педагог профессионального обучения.

В период подготовки диссертации соискатель Якимов Михаил Владимирович работал в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» в должностях ведущего инженера, по совместительству старшего преподавателя. В 2020 году поступил в очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет» по направлению подготовки 15.06.01. – Машиностроение, профиль 05.02.07 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)», где обучается в настоящее время.

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» на кафедре «Технология машиностроения, станки и инструменты», Министерства науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – Денисенко Александр Федорович, профессор, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

Официальные оппоненты:

1. Сабиров Фан Сагирович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»» Министерства науки и высшего образования РФ, кафедра станков, профессор.

2. Фецак Сергей Игоревич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства науки и высшего образования РФ, кафедра «Автоматизация технологических процессов», доцент.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, в своем положительном заключении, рассмотренном на заседании кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» подписанном д-ром техн. наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» А.Н. Поляковым и утвержденном проректором по научной работе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», д-ром физ.-мат. наук, проф. С.Н. Летутой, указала, что диссертация Якимова М.В. на тему: «Повышение точности шпиндельных узлов на основе обеспечения изотропных упругих характеристик опор» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи повышения точности шпиндельных узлов путем снижения анизотропии их упругих характеристик, имеющей существенное значение для станкостроения. Работа выполнена на достаточно высоком

научно-теоретическом уровне, методики и средства выполненных исследований соответствуют решаемым задачам.

На основании изложенного, учитывая актуальность работы, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, а также уровень и объем выполненных исследований, рассмотренная диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Якимов Михаил Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

Соискатель имеет 23 опубликованные работы по теме диссертации, в том числе 9 статей в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных, и 1 патенте РФ.

Наиболее значимые работы соискателя по теме диссертации:

1. Денисенко А.Ф., Якимов М.В. Формирование точностных и жесткостных характеристик опор роторного узла при сборке // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», №3 (25), 2009. - С. 132-139.

2. Денисенко А.Ф., Якимов М.В. Разработка конечно-элементной модели для определения упругих характеристик шпиндельных узлов // СТИН, №8, 2011. -С. 9-13.

3. Денисенко А.Ф., Якимов М.В. Моделирование опоры качения при конечно-элементном анализе шпиндельных узлов металлорежущих станков // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», № 3 (35), 2012. - С. 126-132.

4. Денисенко А.Ф., Якимов М.В. Экспериментальная оценка анизотропии жесткости передней опоры шпиндельного узла токарного станка // «Инженерный вестник Дона», 2015, №1. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2854>

5. Денисенко А.Ф., Якимов М.В. Определение собственных изгибных частот шпинделя металлорежущего станка с учетом анизотропной упругости опор // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», №1 (45), 2015. - С. 159-166.

6. Денисенко А.Ф., Якимов М.В. Учет анизотропии упругих свойств передней опоры шпиндельного узла токарного станка при изготовлении

деталей приборов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», №3 (47), 2015. - С. 91-99.

7. Денисенко А.Ф., Якимов М.В. Изгибные колебания шпинделя металлорежущего станка с учетом анизотропной упругости опор // Известия Волгоградского государственного технического университета. №9 (204), 2017. С.32-34.

8. Денисенко А.Ф., Якимов М.В. Влияние температуры опоры шпиндельного узла на ее жесткость // Вестник Брянского государственного технического университета. №3 (56), 2017. - С.85-92.

9. Денисенко А.Ф., Якимов М.В., Борисова К.Р. Анизотропия радиальной жесткости расточки корпуса под опоры шпинделя токарного станка // Вестник Брянского государственного технического университета, 2021. №5 (102). - С. 23-31.

11. Denisenko A.F., Yakimov M.V. Determining elastic spindle characteristics by the finite-element model // Russian Engineering Research. 2011. T. 31. № 11. - С. 1133 - 1136.

12. Denisenko A.F., Yakimov M.V. Dynamics of Spindle Assembly Metal-Cutting Machine Tool with Anisotropic Elastic Support // Proceedings of the 4th. International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, pp 1647-1655.

На диссертацию и автореферат поступили:

1. Отзыв ведущей организации - **ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»** подписанный д-ром техн. наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» А.Н. Поляковым и утвержденный проректором по научной работе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», д-ром физ-мат. наук, проф. С.Н. Летутой. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Модель опоры качения, описанная в главе 3, обладает линейными упругими свойствами, что не полностью отражает жесткостные характеристики подшипников качения. 2. Не указано проводилась ли апробация способа компенсации упругих тепловых деформаций подшипников шпинделей металлообрабатывающих станков, описанного в главе 4. 3. В диссертации отсутствуют фотографии натурных и стендовых испытаний. 4. В работе использована геометрическая модель точности, что в неполной степени отражает физику процесса. 5. В главе 6 недостаточно внимания уделено статистической обработке экспериментальных данных. 6. Эксперименты, описанные в главе 6, проводились на станках токарной группы. Представляет интерес выполнение

указанных исследований на станках других групп, в частности координатно-расточных.

В целом, отмеченные недостатки не снижают научную и практическую ценность диссертационной работы Якимова М.В.

2. Отзыв официального оппонента - **Сабирова Фана Сагировича**, доктора технических наук, профессора кафедры станков ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»». Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Анизотропия жесткости исследовалась только на фланце шпинделя. Наличие оснастки (патрон и т.п.) может существенно изменить анизотропию жесткости. 2. Не проанализирована модель влияния анизотропии жесткости на параметры точности обрабатываемой детали (некруглость, волнистость и т.п.). 3. Не освещены вопросы положительного использования анизотропии упругих свойств передней опоры шпинделя за счет определенной ориентации осей жесткости с целью повышения технологической жесткости, как это реализовано в партии токарных станков на заводе «Красный пролетарий». 4. В разделе 5.3 выполнен расчет собственных частот шпиндельного узла в диапазоне частот вращения 0-20000 об/мин. Однако рассматриваемый токарный станок 16Б16Т1 имеет максимальную частоту вращения 2000 об/мин и с частотой вращения 20000 никогда работать не будет. 5. Приводится спорное положение (стр. 21), что «Шпиндель считается виброустойчивым, если собственная частота шпинделя в опорах $f_c \geq 250$ Гц (для станков нормальной точности) и $f_c \geq 500$ Гц (для станков повышенной точности)». Виброустойчивость станка, и шпиндельного узла в частности, как способность вести обработку без потери устойчивости, зависит от динамических характеристик упругой системы и шпиндельного узла, а не от класса точности станка. 6. Шифр специальности в автореферате указан не верно (02.05.05 вместо 2.5.5), но это следует рассматривать как техническую ошибку, которая не снижает достоинства работы. 7. В работе есть ряд неудачных терминов, выражений, ошибок, например, стр. 15: «Шпиндель, имеющий дисбаланс приводит к возникновению колебаний»; стр. 13 – не указан номер рисунка, на который идет ссылка; стр. 17, рис. 1.6 – не показана сила резания Р; стр. 139, табл. 5.3 – собственные частоты приведены с точностью до 5-ти значащих цифр, тогда как в модели есть упрощения и допущения и значащих цифр при таких расчетах бывает не более 3-х; стр. 57 – нечитаемые данные на рис. 2.7-2.8; плохо читаемый рис. 3.2. Кроме того, в диссертации имеются опечатки и стилистические погрешности (стр.: 5, 9, 12, 22, 34, 39, 46, 54, 55, 63, 66, 90, 113, 116, 117, 137, 146, 148 и др.).

3. Отзыв официального оппонента - Фецака Сергея Игоревича, кандидата технических наук, доцента кафедры «Автоматизация технологических процессов» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет». Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Центробежную силу, возникающую в следствии наличия дисбаланса тела шпинделя и конструктивных элементов, установленных на нем автор считает внутренним силовым фактором. В работах Левиной З.М., Зверева И.А. и других авторов данная сила относится к внешнему силовому фактору. 2. Автор на странице 7 утверждает, что «достижение цели и решение поставленных в работе задач обеспечены применением современных методов исследований, базирующихся на основных положениях теории проектирования ШУ...». Вероятно, автор имел в виду методы или алгоритмы проектирования ШУ. 3. В работе встречаются ссылки на рисунки, название которых не соответствует подрисуночным надписям. Например, на странице 17 приведена ссылка на рисунок 1.4 (Под действием всего комплекса внешних и внутренних факторов смещения шпинделя проявляются как случайные функции.), а рисунок 1.4 имеет подрисуночную надпись: «Формирование центробежной силы роторной системы при наличии дисбаланса». Тоже замечание относится к некоторым таблицам, представленным в работе. Например, на странице 68 в тексте автор обращается к таблице 1, на самом деле он имеет в виду таблицу 3.1. Кроме того, в тексте работы, на странице 154, автор ссылается на таблицу 6.15 – «...значения деформации передней опоры для нагретого состояния станка» и на таблицу 6.16 – «...для холодного состояния станка». Однако наименования указанных таблиц не соответствуют формулировкам в тексте. 4. На рисунках 5.10, 5.12, 5.14, 5.16, 5.18, 5.20, 5.22, 5.24, 5.26, 5.28, 5.30, 5.32 приведены диаграммы Кэмпбелла. Из-за низкого качества данных рисунков оценить результаты, приведенные на них, не представляется возможным. 5. Изложение некоторых положений работы представлено сложно, усложняя понимание того, что на самом деле хотел сказать автор.

4. Отзыв из ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск, подписанный д.т.н., профессором, профессором кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Поповым Андреем Юрьевичем и ассистентом кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Блохиным Дмитрием Андреевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В автореферате не указано, проводились испытания или расчеты для шпинделей с наклонным расположением оси вращения, а также влияние износа подшипников на точность узла? 2. В автореферате нет данных о погрешностях и повторяемости экспериментально измеренных значений и говорится лишь о конкретных значениях. 3. Несоответствие наименования осей в расчетах, приведенных в 5 главе, с

общепринятыми обозначениями осей шпинделей на металлорежущих станках (ось Z сонаправлена с осью вращения шпинделя, ГОСТ 23597-79).

5. Отзыв из **Самарский филиал ФГБУН Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук**, г. Самара, подписанный д.т.н., заведующим лабораторией лазерно-индуцированных процессов Яресько Сергеем Игоревичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Не указан тип ПФЭ при разработке регрессионной модели (стр. 9-10). Проверка адекватности модели должна проводиться по статистическим критериям Стьюдента и Фишера. Насколько оправдана оценка адекватности путем сравнения результатов расчета перемещений по уравнению регрессии с результатами, полученными с использованием конечно-элементной модели, как это предлагается автором? 2. При определении влияния температуры на упругие характеристики шпиндельных опор не указан диапазон изменения температуры и его соответствие с реальными температурами, наблюдаемыми при эксплуатации станка (стр. 13).

6. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»**, г. Тула, подписанный д.т.н., доцентом по кафедре автоматизированных станочных систем, профессором кафедры «Технология машиностроения» Трушиным Николаем Николаевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Наименование рис. 2 «Модели сборки опоры» на самом деле представляют собой схемы взаимного расположения вала и корпуса. 2. Фраза из 6-ого вывода «... предпочтение следует отдавать конструкциям корпусов с минимальным числом дополнительных отверстий...» представляется очевидной. 3. Каким образом разработки соискателя могут быть применены к шпиндельным опорам на подшипниках скольжения? 4. Каким образом учитывается разброс параметров подшипников, которые устанавливаются в опору парами? 5. Соискатель утверждает, что при проектировании корпуса шпиндельного устройства «... для станков с горизонтальной компоновкой также требуется принимать во внимание вес шпинделя». Получается, что для станков с вертикальной компоновкой массой (весом) шпинделя можно пренебречь? 6. Какова целесообразность применения разработанных способов для серийных станков нормального класса точности?

7. Отзыв из **ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»**, г. Самара, подписанный д.т.н., доцентом, заведующим кафедрой технологий производства двигателей Хаймовичем Александром Исааковичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Указано, что в четвертой главе выполнено моделирование температурных полей передней стенки корпуса шпиндельного узла. Не понятно, для какого конструктивного исполнения корпуса выполнялся расчет. 2. В главе 3 разработаны

регрессионные модели упругих перемещений опор. Проверку их адекватности целесообразно провести с использованием F-критерия Фишера, а статистическую достоверность коэффициентов регрессии оценить с помощью t-критерия Стьюдента. Это повысило бы научную значимость представленных результатов регрессионного анализа.

8. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева»**, г. Красноярск, подписанный к.т.н., доцентом, заведующим кафедрой технологии машиностроения Ручкиным Леонидом Владиленовичем и к.т.н., доцентом, доцентом кафедры технологии машиностроения Раменской Еленой Владимировной. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Во второй главе приводятся значения анизотропии подшипников шпиндельных узлов при изменении отклонения от круглости без указания рассматриваемых диаметральных размеров. 2. В пятой главе при проведении оценки изменения диапазонов собственных частот шпинделя не представлены их численные значения и линейно-диаметральные размеры шпинделя. 3. В шестой главе не указаны: материалы комплектовочных опытного образца и качество поверхностей контакта; диапазон температур шпиндельного узла; необходимое количество измерений; метод обработки экспериментальных данных.

9. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»**, г. Волгоград, подписанный д.т.н., доцентом, профессором кафедры «Технология машиностроения» Агаповым Сергеем Ивановичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Из автореферата неясно, на каких моделях станков проводились исследования и при помощи какой контрольно-измерительной аппаратуры. 2. На стр. 6 автореферата указан подшипник 697713Л без обозначения его точности, что затрудняет оценку результатов исследований. 3. Интересны были бы исследования ШУ современных станков с ЧПУ, использующих мотор-шпиндель.

10. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева»**, г. Ковров, подписанный д.т.н., профессором, профессором кафедры «Технологии машиностроения» Житниковым Юрием Захаровичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Из-за краткого изложения не прозвучало в реферате физики процесса влияния анизотропии на упругие характеристики опор. 2. В автореферате следовало бы более подробно описать модель сборки и указать причину деформации колец.

11. Отзыв из **ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» Политехнический институт**, г. Красноярск, подписанный к.т.н., доцентом кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» Курзаковым Андреем Сергеевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Одна из указанных задач диссертационной работы (пункт 6, стр. 4) – «определение влияния силовых факторов на погрешности формы отверстий в корпусе под подшипники при работе станка на холостом ходу» 2. Величина анизотропии (например, рисунок 5 на стр. 11) указана в безразмерных единицах. Остается неясным, насколько эти значения велики и к каким размерным отклонениям приводит выявленная анизотропия.

12. Отзыв из **ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»**, г. Москва, подписанный д.т.н., профессором, профессором кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» Вартановым Михаилом Владимировичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В технологии сборки машин известен способ совмещения контуров деталей с учетом их пространственных погрешностей. Автор упоминает в автореферате возможности применения данного способа, однако его технологическая реализация при сборке подшипниковых узлов в автореферате не раскрыта. 2. В автореферате не раскрыты возможности уменьшения собственного дисбаланса шпинделя. 3. Ничего не говорится о возможности повышения жесткости на основе применения двухрядных подшипников со смещенным расположением роликов.

13. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»**, г. Пенза, подписанный д.т.н., доцентом, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Зверовщиковым Александром Евгеньевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Как моделировался преднатяг в соединении и нелинейность контакта в сопряжениях подшипника с валом и корпусом. 2. По какому количественному критерию оценивалась адекватность КЭ модели реальному процессу. 3. Одномассовая схема расчета шпинделя представляется весьма упрощенной, уместно будет представление этого узла в виде модели как минимум двухмассовой, с двумя участками, один из которых будет консольным с сосредоточенной массой на конце, второй – с массой между пружинами.

14. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет»**, г. Ярославль, подписанный к.т.н., доцентом, доцентом кафедры «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения» Шапошниковым Александром Михайловичем и к.т.н., заведующим кафедрой «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения» Порсевым Кириллом Игоревичем. Отзыв положительный

со следующими замечаниями: 1. В автореферате отсутствуют сведения о технико-экономическом эффекте, полученном от внедрения диссертационной работы. 2. В автореферате не отражено влияние типа подшипника в передней опоре шпинделя на анизотропию упругих характеристик опоры.

15. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева»**, г. Казань, подписанный к.т.н., доцентом, доцентом кафедры технологии машиностроительных производств Кувшиновым Павлом Ивановичем и старшим преподавателем кафедры технологии машиностроительных производств Шестаковой Екатериной Александровной. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Чем объясняется значительная погрешность (22,96%) упругих перемещений опор в радиальном направлении (стр. 10)?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью их достижений в области проектирования металлорежущего оборудования, наличием научных разработок, публикаций в рецензируемых журналах и вкладом в развитие данного направления исследований, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов. В ведущей организации и организациях, в которых осуществляют свою деятельность официальные оппоненты, выполнен значительный объем научных исследований, связанных с изучением процессов, рассматриваемых соискателем в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны математическая модель изгибных колебаний шпинделя на опорах с произвольно ориентированными анизотропными упругими характеристиками и упруго-деформационная конечно-элементная модель подшипника в виде сплошного кольца с определенными свойствами материала, исключающая из использования при разработке численной модели подшипника все конструктивные элементы опоры, отражающие упругие характеристики;

разработана секторная конечно-элементная модель опоры качения с различными ортотропными упругими свойствами материалов секторов, позволяющая учесть любую форму анизотропии податливости;

предложен способ компенсации упругих тепловых деформаций подшипников шпинделей металлообрабатывающих станков и устройство, его реализующее;

доказано наличие закономерностей влияния упругих характеристик опор, конструктивных и скоростных параметров шпиндельных узлов на собственные частоты и формы колебаний шпинделя;

новые понятия **не вводились**.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность повышения точности шпиндельного узла путем обеспечения стабилизации изотропных упругих характеристик его опор;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы лицензионный программный комплекс «ANSYS» для моделирования анизотропных жесткостных характеристик опор шпиндельных узлов, натурный эксперимент по оценки анизотропии упругих характеристик шпиндельных узлов действующего оборудования, а также многофакторное планирование эксперимента для получения регрессионной модели упругих перемещений опоры.

изложены доказательства влияния анизотропии упругих свойств опор на точность и динамические характеристики шпиндельных узлов.

раскрыты закономерности формирования анизотропии жесткостных характеристик опор шпиндельных узлов;

изучены связи и закономерности влияния температурного фактора на характер анизотропии податливости опор;

проведена модернизация существующей математической модели изгибных колебаний ротора на опорах с одинаково ориентированными анизотропными упругими характеристиками.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены новые методики учета влияния погрешностей изготовления и сборки на упругие деформации шпиндельного узла на предприятиях ООО «Инженерный центр «Средне-волжского станкозавода» (г. Самара) и ООО Научно-производственное объединение «РОСИНМАШ», а также в учебном процессе подготовки бакалавров по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» в ФГБОУ ВО СамГТУ;

определены перспективы практического использования полученных результатов диссертационного исследования для повышения точности шпиндельных узлов.

создано устройство для контроля анизотропии упругих характеристик ШУ в производственных условиях;

представлены рекомендации по снижению анизотропии характеристик жесткости опор шпиндельных узлов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использованы современные измерительные сертифицированные средства, показана достаточная статистическая воспроизводимость результатов исследований, выполненных по разработанным соискателем методикам;

теоретические исследования базируются на основных положениях классической механики, методах компьютерного и математического моделирования, известных законах упруго-пластического деформирования, теории метода конечных элементов и согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея заключается в оценке влияния анизотропии на точность шпиндельных узлов и базируется на анализе практики и обобщении передового опыта проектирования шпиндельных узлов современных металлорежущих станков;

использованы современные информационные базы и научно-техническая литература по проектированию и обеспечению характеристик шпиндельных узлов;

установлено соответствие авторских результатов исследования с результатами, представленными в научной литературе по данной тематике;

использовано сравнение результатов, полученных соискателем, с экспериментальными данными других ученых по тематике диссертационной работы.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии на всех этапах процесса: в выполнении научных исследований, как теоретического, так и экспериментального характера, необходимых для решения поставленных задач и достижения цели диссертационной работы: **разработке** упруго-деформационной конечно-элементной модели опоры шпиндельного узла с неидеальными элементами, **разработке** математической модели изгибных колебаний шпинделя на опорах с произвольно ориентированными анизотропными упругими

характеристиками, **разработке и создании** устройства для контроля анизотропии упругих характеристик ШУ в производственных условиях, **разработке плана экспериментальных работ** по определению анизотропии упругих характеристик передней опоры шпиндельного узла токарного станка и влиянию температурного фактора на характер анизотропии податливости опор, **разработке** способа компенсации упругих тепловых деформаций подшипников шпинделей металлообрабатывающих станков и устройства, его реализующего; интерпретации и обобщении полученных данных, апробации и внедрении результатов исследования; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Результаты исследований рекомендуется использовать:

на предприятиях машиностроительной отрасли, занимающихся изготовлением, модернизацией и ремонтом металлорежущего оборудования;

в проектно-конструкторских и научно-исследовательских институтах, занимающихся разработкой новых конструкций металлорежущего оборудования;

в высших учебных заведениях при подготовке специалистов, бакалавров и магистров направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием плана исследований и основной идейной линии, взаимосвязью поставленных задач и полученных результатов, содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены научные результаты.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая содержит решение актуальной задачи повышения точности шпиндельных узлов за счет обеспечения изотропных упругих характеристик опор, имеющей существенное значение для повышения точности обработки на металлорежущих станках.

Диссертационный совет подтвердил, что диссертационная работа Якимова М.В. соответствует критериям, установленным п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г и принял решение присудить Якимову М.В. ученую степень кандидата технических наук по специальности

2.5.5– Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в составе 16 человек, из них 9 докторов наук по специальности 2.5.5– Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки), участвующих в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовал: за присуждение ученой степени -14 человек, против – 2.

Председатель диссертационного совета

д.т.н., профессор

Ученый секретарь диссертационного совета

Д.Т.Н., доцент



Табачков В.П.

F. Bey

Веткасов Н.И.

27 декабря 2021 г.