



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Самарский государственный технический университет»

Диссертация Р.В. Ладягина «Прогнозирование эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов токарных станков с применением нейросетевого моделирования», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполнена на кафедре «Технология машиностроения, станки и инструменты» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет».

Ладягин Роман Владимирович, 1987 года рождения, в 2009 году окончил Самарский государственный технический университет по специальности «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования» и получил квалификацию инженер.

В период подготовки диссертации и по настоящее время соискатель Ладягин Роман Владимирович работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Самарский государственный технический университет» в должности ведущего инженера и старшего преподавателя. В 2023 году поступил в очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» по направлению подготовки 15.06.01. – Машиностроение, профиль 2.5.5 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)», где обучается по настоящее время.

Справка о сроках обучения в аспирантуре и сдаче кандидатских экзаменов № Сп-02.03/727 выдана 30.06.26 федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Самарский государственный технический университет».

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».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность работы заключается в том, что в условиях реализации стратегии импортозамещения и технологического суверенитета повышение точности и производительности металлорежущих станков (МРС) является ключевой задачей отечественного станкостроения. Доля погрешностей, вносимых шпиндельным узлом (ШУ), в общий баланс точности станка может достигать 50-80%, что делает его критически важным элементом, определяющим конкурентные преимущества оборудования. Современные тенденции, такие как высокоскоростная и прецизионная обработка, предъявляют повышенные требования не только к абсолютным значениям точностных характеристик ШУ (точность вращения, жесткость, виброустойчивость), но и к их стабильности в пространстве и во времени при действии комплекса силовых, тепловых и динамических нагрузок.

Несмотря на значительный научный задел в проектировании ШУ заложенный в трудах отечественных и ученых из других стран его фундаментальные основы базируются на традиционных методах расчета и компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов (МКЭ) сталкиваются с разного рода ограничениями. Аналитические модели, как правило, решают задачи лишь одной физической природы (жесткости, тепловой или динамической), не учитывая комплексного взаимовлияния факторов. Численные модели, в свою очередь, требуют существенных вычислительных ресурсов и сложны для многовариантного анализа на ранних стадиях проектирования.

Таким образом, необходима разработка новых, более эффективных методов проектирования, позволяющих на этапе эскизного проектирования с высокой достоверностью прогнозировать основные эксплуатационные характеристики ШУ с учетом взаимного влияния проектных параметров. Применение методов искусственного интеллекта, в частности, нейронных сетей (НС), обладающих высокой аппроксимирующей способностью для моделирования сложных нелинейных многопараметрических систем является перспективным путем решения этой актуальной задачи.

Степень достоверности изложенных в работе результатов обеспечивается: корректным использованием фундаментальных принципов теории проектирования металлорежущих станков, механики деформируемого твердого тела, теории искусственных нейронных сетей и математической статистики. Адекватность нейросетевой модели подтверждается верификацией ее прогнозов с результатами натурного эксперимента.

Научная новизна полученных в диссертации результатов теоретических и экспериментальных исследований определяется рядом научных положений и выводов:

- разработке и обосновании нейросетевой модели шпиндельного узла в виде многопараметрической нелинейной системы, комплексно учитывающей взаимосвязь расширенного количества проектных параметров при прогнозировании силового, теплового и динамического воздействий;

- разработке методики формирования репрезентативной обучающей выборки для нейронной сети прогнозирования эксплуатационных характеристик шпиндельного узла, основанная на комбинации методов планирования натурального эксперимента, конечно-элементного анализа и аналитических расчетов;

- получении количественных зависимостей влияния конструктивных параметров корпуса на жесткость шпиндельного узла;

- использовании коэффициентов влияния и приведения распределенных и сосредоточенных масс для определения собственных частот изгибных колебаний шпинделей, имеющих массивную консольную часть.

Практическими результатами диссертационной работы являются:

- программное обеспечение поддержки принятия решений, интегрируемое в процесс проектирования и позволяющее конструктору осуществлять оперативный многовариантный анализ и выбор варианта конструкции шпиндельного узла с учетом характеристик точности, жесткости, теплостойкости, собственных частот;

- методика, сокращающая временные и финансовые затраты на проектирование ШУ за счет исключения дорогостоящих прототипов и трудоемких натурных испытаний на этапе эскизного и технического проектирования;

- методология генеративного проектирования ШУ на основе разработанного программного обеспечения.

Результаты диссертационной работы апробированы и приняты к внедрению в виде методики проектирования на основе нейронных сетей ООО «Средневолжский Станкозавод» при обновлении модельного ряда SAMAT 400, а также использованы при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» в ФГБОУ ВО СамГТУ.

Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на 8-ми международных и всероссийских научно-технических конференциях. Материалы диссертации отражены в 15 печатных трудах, в том числе 4 статьях в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, 1 свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Основные публикации по теме диссертации

Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Денисенко, А. Ф. Применение нейронных сетей для моделирования эксплуатационных характеристик шпиндельного узла / А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин, М. В. Якимов // Системы. Методы. Технологии. – 2024. – № 2(62). – С. 78-86.

2. Денисенко, А. Ф. Настройки процесса построения и обучения нейросетей при решении задач по прогнозированию эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов / А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2025. – № 6. – С. 116-129.

3. Денисенко, А. Ф. Сравнение математического и нейросетевого моделирования эксплуатационных свойств шпиндельного узла / А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2025. – Т. 27, № 3-2(125). – С. 221-230.

4. Денисенко А.Ф., Ладагин Р.В. Определение собственных частот шпинделя металлорежущего станка с использованием приведения масс и коэффициентов влияния // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2026. №1 (173). С. 15-25.

Объекты интеллектуальной собственности

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025684072 Российская Федерация. *Neural SpU* Программа нейросетевого моделирования эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов: заявл. 16.07.2025: опубл. 11.09.2025 / А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет».

Публикации в других научных изданиях

6. Ладагин, Р. В. Анализ нейронных сетей для решения задач отраслей промышленности / Р. В. Ладагин // Высокие технологии в машиностроении: Материалы XX всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Самара, 2023. – С. 140-141.

7. Денисенко, А. Ф. Выбор и применение нейронных сетей для моделирования эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов / А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: ИП Жукова Е.В., 2024. – С. 18-20.

8. Определение рационального размера выборки нейросети для прогнозирования эксплуатационных характеристик шпиндельного узла / М. Д. Гуарна, А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин, М. В. Якимов // Высокие технологии в машиностроении: Материалы XXI всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Самара, 2024. – С. 151-155.

9. Денисенко, А. Ф. Нейросетевое прогнозирование эксплуатационных свойств шпиндельных узлов / А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2024. – № 2(101). – С. 37-44.

10. Денисенко, А. Ф. Получение экспериментальных данных для нейросетевой оценки эксплуатационных характеристик шпиндельного узла / А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин, М. В. Якимов // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: Сборник статей VI Международного форума, Санкт-Петербург, 2024. – С. 425.

11. Денисенко, А. Ф. Нейросетевое обоснование выбора регулируемых параметров при сборке шпиндельного узла / А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2024. – № 14. – С. 25-29.

12. Денисенко, А. Ф. Методика определения радиального зазора подшипника передней опоры шпиндельного узла для формирования входного

слоя нейросети / А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин // Инновационные технологии в машиностроении: Сборник научных трудов Международной научно-практической заочной конференции, Ульяновск, 2024. – С. 231-236.

13. Денисенко, А. Ф. Сравнение методов обучения нейросети для проектирования шпиндельных узлов / А. Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2024. – № 4(103). – С. 48-54.

14. Ладагин, Р. В. Моделирование эксплуатационных характеристик и конструктивных параметров шпиндельного узла путем построения нейросетей прямого и обратного действия / Р. В. Ладагин // Высокие технологии в машиностроении: Материалы XXII всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Самара, 2025. – С. 44-48

15. Денисенко А.Ф. Генеративное проектирование шпиндельных узлов / А.Ф. Денисенко, Р. В. Ладагин // Высокие технологии в машиностроении: Материалы XXIII всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Самара, 2026. – С. 16-19.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)».

Диссертация соответствует следующим пунктам области исследования:

– пункт 1 «Теория и практика проектирования, монтажа и эксплуатации станков, станочных комплексов, в том числе автоматизированных цехов и заводов, автоматических линий, а также их компонентов (приспособлений, гидравлических узлов и т. д.), оптимизация компоновки, состава комплектующего оборудования и его параметров, включая использование современных методов информационных технологий»;

– пункт 4 «Создание, включая проектирование, расчеты и оптимизацию, параметров рабочего инструмента и других компонентов оборудования, обеспечивающих технически и экономически эффективные процессы обработки».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты».

Присутствовали на заседании 18 сотрудников СамГТУ, в том числе 2 доктора технических наук. Результаты голосования: «за» - 18 человек, «против» - нет, «воздержались» - нет. Протокол заседания № 7 от «02» июля 2026 г.



А.Р. Галлямов, к.т.н., И.О. заведующего
кафедрой «Технология машиностроения,
станки и инструменты» СамГТУ