МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко» (ОГУ)
Победы пр., д. 13, г. Оренбург, 460018
Тел. (3532) 77-67-70,
e-mail: post@mail.osu.ru; http://www.osu.ru; http://ory.рф
ИНН/КПП 5612001360/561201001
ОКПО 02069024 ОГРН 1025601802698
13.11.2026 № 3193
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
_____ С.Н. Летута
«__» _____ 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Ладягина Романа Владимировича «Прогнозирование эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов токарных станков с применением нейросетевого моделирования», представленную к защите на заседании диссертационного совета 99.2.001.02 (Д999.003.02), 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», на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)

1. Актуальность темы диссертации

Основными тенденциями совершенствования конструкций современных металлорежущих станков (МРС) является повышение их точности и быстроходности, обеспечивающие снижение погрешностей в ходе механической

обработке и рост её производительности соответственно. Однако сдерживающим обстоятельством их развития выступают несовершенные методики проектирования.

Как показывает практика, точность станка в целом на 80% определяется точностью шпиндельного узла. Существующие методы проектирования шпиндельных узлов (аналитические расчёты, МКЭ) обладают существенными ограничениями: они решают отдельные задачи, не учитывающие сложного взаимодействия факторов (силового, теплового, динамического) полученных в зависимости от конструктивного исполнения, настройки и режимов эксплуатации ШУ. Этап апробации проектируемого ШУ, заключающийся в отработке на прототипах принятых конструкторско-технологических решений, стал экономически нецелесообразным в условиях мелкосерийного производства, где нет ни времени, ни средств на исправление ошибок, допущенных при проектировании. Таким образом, актуальность работы заключается в необходимости создания нового инструмента проектирования - нейросетевых моделей, позволяющих на ранних этапах прогнозировать комплекс эксплуатационных характеристик ШУ с достоверностью, подтверждённой натурными испытаниями.

2. Значимость полученных автором диссертации результатов и рекомендации по их использованию

Диссертация Ладягина Романа Владимировича «Прогнозирование эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов токарных станков с применением нейросетевого моделирования» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработана методика проектирования с использования нейросетевых моделей, учитывающих взаимное влияние на эксплуатационные характеристики (ЭХ) расширенного количества проектных параметров (ПП), отражающих режимы работы, настройку и конструктивное исполнение ШУ. Разработанные нейросетевые модели и предложенная методика генеративного проектирования будут востребованы конструктором для осуществления быстрого многовариантного анализа и выбора варианта конструкции шпиндельного узла с учетом основных эксплуатационных

характеристик, что позволит на стадии проектирования учесть конструкторско-технологические решения, способствующие их повышению.

Полученные автором результаты имеют значимость для развития научной специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки), поскольку содержат теоретические и экспериментальные исследования, которые легли в основу инженерной методики генеративного проектирования шпиндельных узлов, применение которой повышает достоверность этапа проектирования и как следствие обеспечивает получение закладываемых при проектировании ЭХ.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в разработке и обосновании нейросетевой модели шпиндельного узла, комплексно учитывающей взаимосвязь расширенного количества ПП при прогнозировании ЭХ; получении зависимостей влияния параметров корпуса на жесткость шпиндельного узла; методики расчета собственных частот изгибных колебаний шпинделей.

Практическая значимость результатов работы состоит в:

- разработке программного обеспечения поддержки принятия решений, позволяющее проектировщику осуществлять многовариантный анализ и выбор варианта конструкции шпиндельного узла с учетом характеристик точности, жесткости, теплостойкости, собственных частот;

- создании методики, сокращающей затраты на проектирование ШУ за счет исключения прототипов и трудоемких натурных испытаний на этапе проектирования.

Практическое значение исследований подтверждается наличием актов внедрения.

Разработанные нейросетевые модели и инженерные методики позволяют на ранней стадии проектирования станков сформулировать конструкторско-технологические решения для повышения эксплуатационных характеристик ШУ металлорежущих станков.

Полученные теоретические и практические результаты исследований, выполненных Ладягиным Р.В., позволяют сформулировать следующие рекомендации по их внедрению:

1. Разработанные нейросетевые модели и методики могут найти применение в системах инженерного расчета эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов различных компоновочных решений и конструкций.

2. Разработанная методика генеративного проектирования с применением механизмов нейронных сетей может быть использована как альтернатива этапу апробации проектируемого ШУ.

3. Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в проектной деятельности на предприятиях, ориентированных на изготовление и модернизацию металлорежущих станков, и в учебном процессе в образовательных учреждениях, осуществляющих подготовку специалистов по направлению "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств".

3. Оценка содержания диссертации и автореферата

Диссертация представлена на 214 страницах, содержащих 96 рисунков, 43 таблицы, и включает введение, пять глав, список литературы из 175 наименований. В каждой главе представлены результаты решения поставленных задач.

Во введении автором обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна, практическая значимость работы, указаны методы исследования, положения выносимые на защиту, достоверность полученных результатов, представлена информация об апробации результатов работы.

В первой главе рассмотрены классификация конструкций ШУ и требования к их эксплуатационным характеристикам, приведён обзор методов инженерного анализа (от аналитических до CAE-моделирования), показаны возможности нейронных сетей в проектировании. Отмечено, что существующие подходы к проектированию решают локальные задачи, тогда как нейросети позволяют строить комплексные

прогнозные модели. Рассмотрена концепция генеративного проектирования с участием проектировщика и систем искусственного интеллекта.

Во второй главе решается задача по разработке нейросетевой модели прогнозирования ЭХ ШУ в зависимости от режимных параметров. Здесь решены задачи сбора и обработки экспериментальных данных для нейросетевого моделирования. Разработана методика определения трёх эксплуатационных характеристик ШУ (температура передней опоры, биение и упругое смещение шпинделя). Применение генератора псевдослучайных чисел (ГПСЧ) позволило получить репрезентативную выборку при снижении трудоёмкости. Построена и обучена нейросеть, которая имеет архитектуру MLP 3-7-3 с функцией активации в виде гиперболического тангенса на скрытом слое и линейной на выходном. Анализ чувствительности переменных показал доминирующее влияние частоты вращения шпинделя.

Третья глава посвящена получению интегрированной обучающей выборки нейросети, для чего рассмотрена экспериментальная методика определения радиального зазора в передней опоре ШУ, используются хорошо себя зарекомендовавшие зависимости для расчёта температуры подшипника, жёсткости, биения и предлагается методика расчета собственных частот шпинделя с учётом упругости опор. Численным моделированием в ANSYS выполняется расчет деформаций корпуса, которые обеспечивают до 40% общего упругого смещения шпинделя. Приведён анализ прогибов шпинделя в зависимости от направления силы резания. Сформирован интегрированный массив данных для обучения нейросети.

В четвёртой главе обоснована и выбрана оптимальная архитектура нейросети для прогнозирования эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов с учётом 26 проектных параметров. Проведены исследования влияния настроек числа скрытых нейронов и функций активации выходного слоя на качество получаемых нейросетей. Обучение выполнено на интегрированном массиве данных, содержащим 1063 наблюдения. Сравнительный анализ с аналитическими и регрессионными моделями подтвердил преимущество нейросетевого подхода, где точность прогнозирования выше до 30 %.

В пятой главе разработаны программы Neural SpU и Neural GenSpU, участвующие в генеративном проектировании ШУ. Neural GenSpU генерирует параметры (21 параметр) конструктивного исполнения, а Neural SpU корректирует их под конкретные режимы эксплуатации. Предложена схема взаимодействия этих программ с проектировщиком. Работоспособность подтверждена примером проектирования ШУ для станков классов точности П и В.

По каждой главе диссертации сделаны соответствующие выводы. Объёмы каждой главы и всей диссертации в целом соответствует требованиям.

В заключении представлены основные результаты, полученные автором в ходе диссертационного исследования.

4. Замечания по диссертационной работе

1. Нейронные сети, полученные в работе, обучены на данных от станков только токарной группы. При этом не объясняется, возможно, ли их использование для станков других групп.

2. В работе нет информации о том, почему в качестве обучающих данных для нейронной сети рассматриваются параметры именно выбранных моделей МРС.

3. В работе приведены результаты нейросетевого моделирования эксплуатационных характеристик, полученные с 19 станков. Автором не дано пояснение, как эти результаты можно распространить на другие модели станков.

4. В нейросетевой модели не учтены динамические нагрузки и их влияние на вибрации – учтена только первая собственная частота, а не весь спектр.

5. В диссертации отсутствует экономическое обоснование – не показано, насколько сокращаются сроки или затраты на проектирование.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не снижают её научной и практической ценности.

5. Заключение по диссертационной работе

Диссертация Ладягина Романа Владимировича «Прогнозирование эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов токарных станков с

применением нейросетевого моделирования» представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно-обоснованные методические решения по повышение достоверности и обоснованности прогнозирования эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов, имеющие существенное значение для развития станкостроения. По результатам работы над диссертацией автором опубликовано пятнадцать печатных работ, в том числе четыре статьи в журналах из Перечня, рекомендованного ВАК России, получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

Диссертационная работа по актуальности темы, новизне научных положений и практической значимости, объёму выполненных исследований соответствует критериям, изложенным в пунктах 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. в актуальной редакции.

Автор работы, Ладягин Роман Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов, протокол № 3 от 08.10.2026 г.

Заведующий кафедрой технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов

д.т.н., профессор А.Н. Поляков

Секретарь кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов

к.т.н., доцент К. В. Марусич