

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы  
Подкругляк Любови Юрьевны «*Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния*»  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» (технические науки)

Шпиндельный узел (ШУ) металлорежущего станка на 80 % определяет точность обработки деталей. С ростом производительности обработки связана необходимость повышения быстроходности шпиндельных узлов металлорежущих станков. Обратной стороной этого процесса является рост температуры шпиндельного узла и как следствие тепловые деформации, которые оказывают влияние на качество механической обработки. Поэтому тематика данной работы является достаточно актуальной.

Решать имеющуюся проблему автор предлагает на основе моделирования теплового состояния шпиндельного узла, используя тепловую модель, которая учитывает макро- и микроотклонения контактирующих поверхностей.

Для достижения поставленной цели диссертант наметил решить ряд научных задач, наиболее значимыми из которых являются:

- создание модели контактного термического сопротивления плоского соединения деталей на основе использования псевдосреды;
- проведение экспериментов по оценке влияния конструкторско-технологических факторов на контактное термическое сопротивление плоского стыка;
- разработка методики определения теплового состояния шпиндельных узлов с использованием крупноблочных конечных элементов и конструкторско-технологических решений по повышению быстроходности ШУ на основе температурного критерия.

В результате проделанной работы автором была сформулирована научная новизна, выражающаяся в раскрытии закономерностей формирования температурных полей ШУ в условиях нескольких источников тепловыделения и разработке, обосновании и построении тепловой модели шпиндельного узла, которая учитывает макро- и микроотклонения контактирующих поверхностей и, используя конструкторско-технологические решения, позволяет повысить быстроходность ШУ.

Научная новизна работы подтверждается ее практической значимостью. Предложены рекомендации по определению теплового состояния деталей ШУ с использованием инженерной методики с крупноблочными конечными элементами и повышению быстроходности ШУ на основании тепловой модели шпиндельного узла; получена регрессионная зависимость для определения контактного термического сопротивления, необходимая для учета основных параметров, задаваемых конструктором при проектировании.

Апробация результатов диссертационной работы и принятие к внедрению инженерной методики построения температурных полей с использованием крупноблочных конечных элементов шпиндельного узла на ЗАО «Стан-Самара» (г. Самара), а

также использование их в учебном процессе Самарского государственного технического университета являются подтверждением практической ценности работы.

Обоснованность научных положений и достоверность результатов диссертационной работы обусловлены применением современных методов исследований, базирующихся на основных положениях теории проектирования шпиндельных узлов и технологии машиностроения, теории математического моделирования, численно-аналитических методах и методах математической статистики; применением современного оборудования, использованием аттестованных средств измерения, согласованием с известными литературными данными и подтверждаются соответствием теоретических выводов и данных моделирования с результатами экспериментальной проверки.

Приведенные в библиографическом списке работы автора, включающие публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, публикации в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, а также перечень научно-технических конференций, на которых докладывались и обсуждались основные результаты, дают основание считать, что диссертационная работа Подкругляк Л.Ю. прошла всестороннюю апробацию.

Однако представленные в автореферате результаты вызывают ряд вопросов и замечаний:

1. Как учесть результаты, полученные для плоского стыка в цилиндрических соединениях?

2. При разработке регрессионной модели (1) на стр. 7 не представлены результаты проверки ее адекватности по статистическим критериям Стьюдента и Фишера.

3. Почему в экспериментах не рассматривался образец с несимметричным расположением макроотклонения?

4. В таблицах 1-3 представлены результаты расчета температур в зависимости от различных технологических факторов. При этом отсутствуют сведения о погрешности вычислений. Вопрос: оказывают ли влияние столь мало отличающиеся данные на последующие выводы?

Однако приведенные замечания не умаляют достоинств диссертации, не снижают общей положительной оценки работы. Автореферат полностью раскрывает основное содержание диссертации.

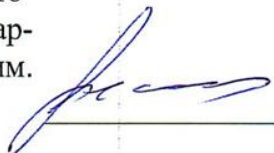
Степень публикаций и апробация работы достаточны для диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук. Выводы по работе отвечают содержанию поставленных задач и результатам выполненных исследований.

В целом диссертационная работа **Подкругляк Любови Юрьевны** является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития методов повышения быстроходности шпиндельного узла металлорежущих станков на основе использования тепловой модели контактирующих поверхностей.

Диссертационная работа *«Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния»* по научной новизне, практической

значимости и объему отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842 с изменениями от 21 апреля 2016 года), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, **Подкругляк Любовь Юрьевна**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

Доктор технических наук, заведующий лабораторией лазерно-индуцированных процессов Самарского филиала ФГБУН Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук



Ярьско С.И.

06 декабря 2023 г.

Ярьско Сергей Игоревич, заведующий лабораторией лазерно-индуцированных процессов Самарского филиала ФГБУН Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 443011, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 221, тел.: 8-846-3341481; 8-846-3344220; e-mail: [laser@fian.smr.ru](mailto:laser@fian.smr.ru), [yarsi54@gmail.com](mailto:yarsi54@gmail.com).

Наименование научной специальности, по которой защищена докторская диссертация: 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Я, Ярьско Сергей Игоревич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Подкругляк Любови Юрьевны, и их дальнейшую обработку.

Самарский филиал Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Физического  
института им. П.Н. Лебедева  
Российской академии наук (Сф ФИАН)  
ПОДПИСЬ ВЕРНА  
Начальник ОК *А.А. Горюшова*  
«06» 12 2023г.



Ученому секретарю диссертационного совета  
99.2.001.02

д. т. н. Веткасову Н. И.  
ФГБОУ ВО УлГТУ

432027, г. Ульяновск, ул. Северный венец, д.32

### **Отзыв**

на автореферат диссертации **Подкругряк Любови Юрьевны** на тему «Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)

#### **Актуальность работы.**

Совершенствование конструкций шпиндельных узлов (ШУ) станков отечественного производства, с целью увеличения их производительности при обеспечении требуемой точности при механической обработке изделий является в настоящее время актуальной научной задачей.

Решение данной задачи возможно путем повышения быстроходности шпинделя станка при обеспечении высокоскоростной обработки. Однако одним из основных сдерживающих факторов являются тепловыделения в подшипниках качения и увеличение температуры ШУ при работе. Ожидаемая температура подшипников, которая не должна превышать допускаемую температуру нагрева конца шпинделя зависит от класса точности станка. Увеличение температуры приводит к возникновению недопустимых температурных деформаций ШУ, что в значительной степени влияет на точность обработки изделия и долговечность опор.

Поэтому решение проблемы повышения быстроходности ШУ станка на основе моделирования его теплового состояния представляет актуальную научную задачу.

#### **Научная новизна работы состоит в том, что:**

- разработаны и обоснованы модели теплопроводности соединений деталей на основе использования псевдослоя, характеристики которого учитывают макро- и микро отклонения контактирующих поверхностей;
- выявлена степень влияния конструкторско-технологических факторов на контактные термические сопротивления;
- установлены закономерности формирования температурных полей шпиндельных узлов в условиях нескольких источников тепловыделения.

#### **Практическая значимость работы состоит в том, что:**

- разработана методика определения теплового состояния деталей шпиндельного узла с использованием крупноблочных конечных элементов (КЭ);
- получена регрессионная зависимость для определения контактного термического сопротивления (КТС), позволяющая оценивать его с учетом основных параметров, задаваемых конструктором при проектировании;
- предложены конструкторско-технологические решения по повышению быстроходности ШУ;
- результаты диссертационной работы апробированы и приняты к внедрению в виде инженерной методики построения температурных полей с использованием крупноблочных КЭ шпиндельных узлов станков.

#### **Научные положения работы состоят в том, что автором:**



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Подкругляк Любовь Юрьевны

«Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Высокие скорости обработки на современных станках предъявляют особые требования к точности их шпиндельных узлов. Один из важных источников погрешности при большой частоте вращения шпинделя – его тепловые деформации. Несмотря на наличие исследований в этой области, сложность расчетов температур и связанных с ними тепловых деформаций не позволяет эффективно применять эти исследования на практике для повышения точности изготовления деталей.

В этом плане исследования, проведенные в рамках данной диссертационной работы и посвященные созданию инженерной методики расчета теплового состояний шпиндельных узлов современных высокоскоростных станков, являются актуальными и своевременными.

В первой главе автором проанализированы конструкции современных шпиндельных узлов и вопросы прогнозирования теплонапряженности его элементов. Большое количество факторов, влияющих на выделение тепла и процесс теплопередачи, затрудняет решение задач расчета температурных полей. Основное внимание автор уделил рассмотрению термического сопротивления элементов конструкции и расчету этого сопротивления. На основании анализа предыдущего опыта исследований автором правильно поставлены цель и задачи работы и грамотно сформулирована ее научная новизна.

Следует отметить широкое использование математического моделирования тепловых процессов методом конечных элементов. Результаты моделирования подтверждены экспериментальными исследованиями, которые достаточно подробно описаны в автореферате. Использование современных приборов и программного обеспечения гарантирует точность полученных результатов.

Особого внимания заслуживает представленная в четвертой главе инженерная методика определения теплового состояния с использованием крупноблочных конечных элементов. Внедрение этой методики позволяет устранить недостатки метода конечных элементов, связанные со значительным временем получения решения задачи с необходимой точностью.

Научная и практическая значимость диссертации подтверждается также значительным количеством публикаций как в изданиях, рецензируемых ВАК РФ, так и в международных базах.

По содержанию автореферата имеются следующие вопросы и замечания:

1. Из автореферата непонятно, почему для построения регрессионной зависимости методом конечных элементов (глава 2) использована плоская модель контакта пластин?
2. Непонятно также, почему при построении регрессионной модели используется пакет ELCUT, а при решении задачи прохождения теплового потока через плоский стык в главе 3 – пакет Ansys?

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности работы. В целом она соответствует требованиям п. 9-11, 13, 14 "Положения о присуждении ученых степеней", предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор - Подкругляк Любовь Юрьевна заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»  
(656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ауд. 266 гл.к., 8(3852290894)  
[agtu-otm2010@mail.ru](mailto:agtu-otm2010@mail.ru))

Доктор технических наук, профессор,  
05.02.08 – "Технология машиностроения",  
профессор каф. «Технология  
машиностроения»

Леонов Сергей Леонидович

Доктор технических наук, доцент,  
05.02.07 – "Технология и оборудование механической  
и физико-технической обработки",  
профессор каф. «Технология  
машиностроения»

Иконников Алексей Михайлович



**ПОДПИСЬ** *Леонова С. П.*  
**ЗАВЕРЯЮ** *Иконникова А. М.*  
НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА КАДРОВ ППС  
*НОВОСЕЛОВА Н. И.*

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Подкругляк Любови Юрьевны,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук, по теме

### «Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния»

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

Проблемным вопросом конструкций при проектировании современных металлорежущих станков является быстроходность и точность их шпиндельных узлов. Повышенная температура и формирование тепловых потоков при эксплуатации шпиндельных узлов является негативным фактором, определяющим точность обработки детали на станках. Поэтому повышение быстроходности шпиндельных узлов на основе компьютерного моделирования является актуальной задачей.

**Целью диссертационной работы** является повышение быстроходности шпиндельного узла на основе тепловой модели, учитывающей макро- и микроотклонения контактирующих поверхностей.

**Научная новизна работы** заключается в разработке математических моделей изменения температуры шпиндельных узлов и инженерной методики построения температурных полей с использованием крупноблочных конечных элементов.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке методики определения теплового состояния деталей шпиндельных узлов, в разработке конструкторско-технологических решений повышения быстроходности шпиндельных узлов и в установлении закономерности формирования температурных полей.

При проведении исследований применялись основные положения теории проектирования шпиндельных узлов, технологии машиностроения, теории математического моделирования и методов математической статистики.

В качестве замечаний по автореферату отмечается следующее:

1. В автореферате отсутствуют понятия объекта исследования и предмета исследования, что не позволяет более полно определить сущность работы.
2. Не приведены расчетные схемы шпиндельных узлов и их связь с тепловыми потоками, что является основополагающим в теоретической части работы перед разработкой математических моделей.
3. В работе отсутствуют расчеты по определению плотности теплового потока по площадке контакта в зоне трения, что не позволяет прогнозировать среднюю контактную и мгновенную температуру с учетом действия



импульсных источников теплоты, благодаря чему обеспечивается требуемое качество обработанных поверхностей.

Диссертационная работа содержит новое решение научно-технической задачи по повышению быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния.

С учетом вышеизложенного, считаю, что диссертационная работа на тему: «Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» по своему содержанию, объёму, актуальности, научной и практической значимости полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации, а её автор – Подкругляк Любовь Юрьевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Скрябин Владимир Александрович,  
профессор кафедры «Технологии и оборудование  
машиностроения» ФГБОУ ВО «Пензенский  
государственный университет»,  
доктор технических наук  
специальность: 05.02.08 (2.5.6.)  
«Технология машиностроения»  
40026, г. Пенза, ул. Красная, 40.  
Тел.: (8412) 208-430.  
Адрес электронной почты: [vs\\_51@list.ru](mailto:vs_51@list.ru)

Подпись Скрябина В.А. заверяю  
Ученый секретарь Ученого Совета ПГУ,  
кандидат технических наук, доцент



О.С. Дорофеева

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Подкругляк Любови Юрьевны  
«Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его  
теплового состояния», представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование  
механической и физико-технической обработки»

В настоящее время существует множество работ отечественных и зарубежных ученых, в которых были сформулированы требования к шпиндельным узлам. В этих работах отмечается, что теплостойкость шпинделей является важнейшей их характеристикой, в значительной мере определяющей точность обработки деталей на станке. Поэтому проведение исследования влияния конструкторско-технологических факторов на контактное термическое сопротивление (КТС) плоского стыка в шпиндельных узлах (ШУ) станков для повышения их быстроходности и как следствие производительности обработки является актуальным.

Приведенные результаты исследования имеют научную новизну и практическую значимость. Автором впервые:

- разработаны и обоснованы модели теплопроводности соединений деталей на основе использования псевдослоя, характеристики которого учитывают макро- и микроотклонения контактирующих поверхностей;
- выявлена степень влияния конструкторско-технологических факторов на контактные термические сопротивления;
- установлены закономерности формирования температурных полей шпиндельных узлов в условиях нескольких источников тепловыделения.

Разработанные Подкругляк Л. Ю. в рамках работы над диссертацией модели и методики использованы при проектировании координатно-расточного станка на предприятии и в учебном процессе ФГБОУ ВО «СамГТУ», о чем свидетельствуют акты внедрения.

Научные результаты диссертации изложены в 14 публикациях, в том числе 3 статьи в научных изданиях, входящих в международную базу данных «Скопус» (Scopus), и 4 статьи в журналах из перечня, рекомендованного Высшей аттестационной комиссией России. Материалы диссертационного исследования апробированы на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

По содержанию автореферата имеются следующие замечания:

- На стр. 6 указано, что для оценки влияния характеристик псевдосреды на условия формирования КТС толщина пластин задана равной 1 мм. Не дано пояснение почему выбрана такая величина и как влияет выбор толщины пластин на влияние характеристик псевдосреды?

- На стр. 8 определено, что давление в стыке образцов менялось от 2 до 40 МПа. Покрывает ли такой диапазон давления в опорных узлах ШУ станка? Не указаны пределы давления в опорных узлах ШУ.

