

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Оренбургский  
государственный  
университет»,  
Д-р физ.-мат. наук, профессор



Летуа С.Н.

«    »    \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» на диссертацию Подкругляк Любовь Юрьевны «Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния», представленную к защите на заседании диссертационного совета 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

Одна из основных тенденций совершенствования конструкций современных металлорежущих станков (МРС) является повышение их быстроходности, обеспечивающей рост производительности обработки. Однако сдерживающим фактором при этом выступает увеличение температуры шпиндельных узлов. Как показывает практика, точность станка в целом на 80% определяется точностью шпиндельного узла.

Учет температурного критерия при проектировании станков является одним из направлений их совершенствования. Сложность обеспечения теплостойкости шпиндельных узлов (ШУ), в значительной степени определяющей их точность и быстроходность, связана с тем, что формирование тепловых потоков зависит не только от распространения тепла от источников через сплошные детали, но и через контакты деталей между собой. Несовершенство контактов приводит к возникновению контактного термического сопротивления, определение которо-

го с учетом всех действующих факторов до настоящего времени является нерешенной задачей. Таким образом, повышение быстроходности ШУ на основе использования расчетных моделей, адекватно отражающих особенности реальных конструкций, является важной и актуальной задачей.

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

Диссертация Подкругляк Любовь Юрьевны «Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработана модель теплопроводности соединения деталей металлорежущих станков на основе использования псевдослоя, характеристики которого учитывают макро- и микроотклонения контактирующих поверхностей. Предложенная модель и разработанная методика численного моделирования с применением крупноблочных конечных элементов использована при установлении закономерностей формирования температурных полей шпиндельных узлов в условиях нескольких источников тепловыделения, что позволяет на стадии проектирования учесть конструкторско-технологические решения с целью повышения быстроходности.

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 построения температурных полей шпиндельного узла металлорежущего станка для обеспечения его теплостойкости и, как следствие, быстроходности.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в разработке и обосновании моделей теплопроводности соединений деталей металлорежущих станков на основе использования псевдослоя, характеристики которого учитывают макро- и микроотклонения контактирующих поверхностей и выявлении степени влияния конструкторско-технологических факторов на контактные термические сопротивления.

Практическая значимость результатов работы состоит в разработке инженерной методики определения теплового состояния деталей ШУ с использованием крупноблочных конечных элементов, в установлении регрессионной зависимости для определения контактного термического сопротивления, позволяющей оценивать его на основании основных параметров, задаваемых конструктором при проектировании и в разработке конструкторско-

технологических решений по повышению быстроходности ШУ. Практическое значение исследований подтверждается наличием актов внедрения.

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

Полученные теоретические и практические результаты исследований, выполненных Подкругляк Л.Ю., позволяют сформулировать следующие рекомендации по их внедрению:

1. Разработанные тепловые модели и инженерные методики могут найти применение в системах инженерного анализа температурного поля автономных шпиндельных узлов различных компоновочных решений и конструкций, в том числе, и мотор-шпинделей.

2. Разработанная методика численного моделирования с применением крупноблочных конечных элементов может быть использована при построении температурных полей крупногабаритных узлов МРС, где не требуется чрезмерная детализация при создании конечно-элементной сетки.

3. Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в проектной деятельности на предприятиях, ориентированных на изготовление современных 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 131 странице, содержащих 68 рисунков, 30 таблиц, 42 формулы, и включает введение, пять глав, список литературы из 204 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 конструкции современных шпиндельных узлов, конструкторско-технологические требования к их элементам и современное состояние вопроса обеспечения теплостойкости ШУ. По результатам обзора литературы по теме диссертации поставлена цель работы и сформулированы задачи исследования, связанные с повышением быстроходности ШУ на основе

использования тепловой модели, учитывающей макро- и микроотклонения контактирующих поверхностей.

*Во второй главе* решается задача по разработке математической модели формирования контактного термического сопротивления (КТС), выделены существенные факторы, влияющие на КТС. Получена регрессионная зависимость изменения температуры в зоне контакта для разных параметров шероховатости и номинальных давлений исследуемых деталей, позволяющая оценить КТС. На основании регрессионной зависимости изменения температуры в зоне контакта получено выражение для КТС псевдосреды.

*Третья глава* посвящена разработке стенда для оценки влияния качества контактирующих поверхностей и давления в стыке на прохождение теплового потока через плоское соединение. Приведены результаты экспериментального исследования влияния конструкторско-технологических факторов на КТС и численного моделирования методом конечных элементов прохождения теплового потока через плоский стык.

*В четвёртой главе* описывается разработанная инженерная методика определения теплового состояния сборочных единиц станков с использованием крупноблочных конечных элементов, позволяющая проводить конечно-элементный анализ без использования дорогостоящего программного обеспечения. Данная методика дает возможность определить температуру в любой узловой точке тепловой модели конструкции на основании решения системы алгебраических уравнений теплового баланса.

*В пятой главе* разработана тепловая модель шпиндельного узла станка мод. 2440СФ4 в условиях действия нескольких источников тепловыделения, на основании которой установлены закономерности формирования температурных полей и предложены конструкторско-технологические решения, связанные с увеличением площади наружных теплоотдающих поверхностей, и со снижением КТС путем увеличения давлений в соединениях, обеспечиваемых при сборке, а также снижения шероховатости поверхностей, позволяющие повысить быстроходность ШУ.

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. Регрессионные зависимости натуральных экспериментов изменения температуры в зоне контакта деталей подтверждены моделированием методом конечных элементов. Однако, не понятно, как при моделировании учитывалась шероховатость контактирующих поверхностей.

2. В работе нет информации о том, как выбираются размеры крупноблочных конечных элементов в предложенной инженерной методике.

3. В работе приведены результаты теплового анализа шпиндельного узла координатно-расточного станка мод. 2440СФ4. Автором не поясняется, как эти результаты можно распространить на другие типы станков.

4. В работе приведено упоминание о системе Ansys, однако в недостаточной степени автором аргументированы преимущества предлагаемой модели от моделей, реализуемых в современных профессиональных системах: Ansys Mechanical, Siemens NX, SolidWorks Simulation, COMSOL Multiphysics, КОМПАС 3D (APM FEM) и др.

5. На рисунке 14 автореферата приведена достаточно простая расчетная модель гильзы шпиндельного узла, но ничего не сказано о существующих ограничениях по размерности и сложности предлагаемой тепловой модели, а также её программной реализации.

6. Автор выбрал в качестве инструментальной среды для разработки программного средства Mathcad, которая, как и упоминаемая автором в работе система Ansys, не является отечественной системой. В связи с этим возникает вопрос о возможности использования других интегрированных сред разработки для более эффективной разработки собственного программного средства.

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

## **5. Заключение по диссертационной работе**

Диссертация Подкругляк Любовь Юрьевны «Повышение быстроходности шпиндельного узла на основе моделирования его теплового состояния» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно-обоснованные конструкторско-технологические решения по повышению быстроходности шпиндельных узлов МРС, имеющие существенное значение для развития станкостроения. По результатам работы над диссертацией автором опубликовано четырнадцать печатных работ, в том числе четыре статьи в журналах из Перечня, рекомендованного ВАК России. 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 научных степеней» ВАК Минобрнауки РФ к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

Автор работы, Подкругляк Любовь Юрьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Технологии машиностроения, обрабатывающих станков и комплексов» Аэрокосмического института ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», протокол № 5 от «28» ноября 2023 года.

**Сведения о составителях отзыва:**

Заведующий кафедрой  
технологии машиностроения, обрабатывающих станков и комплексов  
ФГБОУ ВО «ОГУ»,  
доктор технических наук, профессор



А.Н. Поляков

кандидат технических наук, доцент кафедры  
технологии машиностроения, обрабатывающих станков и комплексов  
ФГБОУ ВО «ОГУ»



С.В. Каменев

**Сведения об организации:**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет». Адрес: 460018, Оренбургская область, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13. Телефон: (35-32) 77-67-70. e-mail: [post@mail.osu.ru](mailto:post@mail.osu.ru); <https://osu.ru/>