

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора,
профессора кафедры «Автомобильный транспорт»
федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный
исследовательский университет)»

Задорожной Елены Анатольевны

на диссертацию **Корнеева Андрея Юрьевича**

«Методология расчета и динамический анализ конических подшипников
жидкостного трения», представленную на соискание ученой степени доктора
технических наук по специальности 2.5.2 - Машиноведение (технические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования. Подшипниковые узлы являются базовыми элементами роторных машин, во многом определяющие технические характеристики, надежность и ресурс изделий. В качестве опор роторов используются устройства с различными физическими принципами создания несущей способности, включая подшипники качения, магнитные подшипники, подшипники жидкостного трения, газовые подшипники и различные виды их комбинаций.

Учитывая недостаточный уровень теоретических и экспериментальных исследований в области расчета и проектирования конических подшипников, связанный, в первую очередь, с технологическими трудностями изготовления и монтажа конических опорных поверхностей, а также с трудностью решения задачи, которая основывается на совместном решении уравнений гидромеханики, термодинамики, теплофизики и теории колебаний, на данный момент не позволяет применять данные опоры повсеместно. Представленная работа систематизирует знания в исследуемой области и предлагает комплексные методики расчета и проектирования конических подшипников. Поэтому развитие методологии расчета и динамического анализа роторной системы на конических подшипниках жидкостного трения является актуальной темой диссертации.

Общая характеристика, структура и объем работы.

Представленная диссертация имеет традиционную структуру: включает введение, шесть глав, заключение по основным результатам и список литературы из 274 наименований, 4 приложения. Работа изложена на 320 страницах основного текста, содержит 178 рисунков и 16 таблиц.

Во *Введении* обоснована актуальность темы диссертационной работы, представлена степень разработанности исследования, приведены цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения, апробация и достоверность полученных результатов.

В *первой главе* приводятся классификация и основные принципы работы конических подшипников, обзор исследований в данной области, рассмотрены разнообразные конструктивные решения и представлен патентный обзор.

Во *второй главе* представлена математическая модель расчета конических подшипников жидкостного трения, приведены расчетные схемы, алгоритм расчета, вычислительные методы.

В *третьей главе* приведена методика расчета статических и динамических характеристик гидродинамических и гидростатических подшипников в условиях переменных теплофизических свойств и турбулентного состояния смазочного

материала, приведены соответствующие графики и диаграммы, дается оценка влияния различных эффектов на характеристики конических подшипников с опорной поверхностью различной геометрической формы.

В *четвертой главе* рассмотрен динамический анализ роторной системы на конических подшипниках жидкостного трения, приведены динамические модели подвеса роторов на конических опорах, рассчитываются коэффициенты жесткости и демпфирования, решается задача обеспечения устойчивости движения роторов на конических подшипниках, строятся плоские и пространственные траектории движения центра цапфы ротора методом траекторий.

В *пятой главе* приведены результаты экспериментальных исследований конических подшипников жидкостного трения. Подробно рассмотрены конструкции экспериментальных стендов и подшипниковых установок, рассмотрена методика проведения и анализ результатов экспериментальных исследований.

В *шестой главе* можно ознакомиться со структурой проектирования конических подшипников жидкостного трения и рекомендациями по расчету и проектированию конических опор скольжения, с описанием программ расчета характеристик гидродинамических и гидростатических подшипников скольжения и программного обеспечения для динамического анализа конических подшипников и построения плоских и пространственных траекторий движения центра цапфы.

В *Заключении* представлены выводы по диссертационной работе, которые соответствуют поставленной цели и задачам исследования, полностью основываются на результатах исследования и сведениях, приведенных в диссертации.

В *Приложении* приведен расширенный листинг программ расчета характеристик конических подшипников и материалы, подтверждающие практическое внедрение результатов работы.

Степень обоснованности полученных результатов, научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, достаточно высокая, что подтверждается детальным анализом значительного количества литературных источников, последовательным проведением экспериментов, научным обоснованием полученных результатов, их математической обработкой и закономерно сформулированными выводами.

Достоверность полученных данных обеспечивалась использованием современных методов исследований с применением новейшего оборудования, математических методов обработки экспериментальных данных, подтверждается результатами опытно-промышленных испытаний. Дополнительно, результаты проведенных исследований широко освещались на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Научная новизна исследований заключается в формировании методологии расчета и динамическом анализе конических подшипников жидкостного трения на основе совместного решения уравнений гидродинамики, термодинамики, теплофизики и теории колебаний.

Значение результатов исследований для науки и производства.

Разработанные на основе математической модели программы расчета статических и динамических характеристик, а также программное обеспечение для динамического анализа и устойчивости роторной системы на конических подшипниках жидкостного трения могут быть использованы в конструкторских бюро и технических отделах промышленных предприятий, занимающихся разработкой, прежде всего насосного и компрессорного оборудования. Результаты работы

внедрены и используются при проектировании роторных систем высокоскоростных турбомашин в ОАО «Калужский турбинный завод», ПАО «Кузнецов» (г. Самара), АО «Гидрогаз» (г. Воронеж).

Анализ публикаций автора по теме исследования.

Результаты научных исследований докладывались и обсуждались на конференциях и симпозиумах различного уровня. Основные положения диссертационной работы изложены в 66 научных трудах, включая 53 статьи, из которых 31 в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Перечнем высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, монографию, 9 патентов РФ на изобретение, патент РФ на полезную модель и 2 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ. Большинство публикаций имеют ссылку на поддержку фондами, в некоторых публикациях отмечен авторский вклад. На основании этих сведений, а также на основании анализа содержания публикаций можно утверждать, что научная новизна диссертационной работы и все выносимые на защиту положения отражают личный вклад соискателя в проведенных научных исследованиях.

Вопросы и замечания к содержанию и оформлению диссертации.

При общей положительной оценке считаю необходимым отметить следующие замечания:

1. Целью диссертационной работы «является решение научно-технической проблемы снижения массогабаритных размеров роторно-опорных узлов на конических подшипниках жидкостного трения». Однако в тексте диссертации и автореферате не представлены конкретные результаты снижения массогабаритных размеров роторно-опорных узлов для реальных механизмов или агрегатов. На сколько % или во сколько раз изменятся геометрические или массовые характеристики узла трения после применения предложенной автором методологии?

2. Вызывают сомнения принятые автором допущения.

- a. Решая неизотермическую задачу, автор пренебрегает теплообменом между смазочным материалом и поверхностями трения;
- b. Совсем необоснованно принято допущение Зоммерфельда о неразрывности смазочного слоя. При этом рассматривается одновременное существование зон однофазного и двухфазного состояния смазочного материала;
- c. Смазочный материал считается ньютоновской жидкостью. Хотя в расчетах и экспериментах рассматриваются турбинные масла ТП-22 и ТП-30, которые содержат различного рода присадки (противопенные, антиокислительные, антикоррозионные и проч.). Наличие присадок ведет к изменению свойств смазочных материалов в сторону неньютоновских;
- d. Изменение вязкости смазочного материала по толщине смазочного слоя доказано многочисленными исследованиями различных авторов. Однако, автор даже не оговаривает это явление даже в допущениях;
- e. При решении задачи динамики рассматривается автономная опора, влияние соседних опор и связи в виде пространственного ротора не принимается во внимание.

3. При решении задачи о давлении и выполнении дискретизации опорной поверхности конического подшипника автор не обосновывает степень дискретизации, а также параметр, определяющий сходимость или точность расчета.

4. Результаты, представленные в главе 3 (рис. 3.2 – 3.7), свидетельствуют, что несущая способность опоры и другие гидромеханические характеристики не зависят

от геометрии поверхностей трения, а зависят только от вида смазочного материала. Разница результатов в 1,5 % может быть связана с точностью расчета поля давлений.

5. Из представленных материалов не ясно, как была выполнена верификация разработанных математических моделей. Были ли выполнены сравнения результатов расчета с данными других исследователей?

6. В рекомендациях по проектированию большое внимание уделено описанию учета высоты микронеровностей при определении предельного значения толщины смазочного слоя. Однако в алгоритмах и в представленных расчетных исследованиях не приведены результаты, позволяющие оценить влияние параметров шероховатости на характеристики узлов трения.

7. Тепловые деформации, подробно рассмотренные в п. 6.2, в методике расчета не предусмотрены и «в работе не рассматриваются».

8. При решении задачи динамики в качестве решений представлены незамкнутые траектории, из которых не ясно, при каких условиях достигается сошедшиеся решения и когда процесс интегрирования по времени необходимо останавливать.

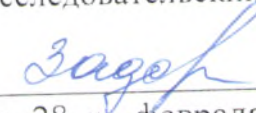
Приведенные выше замечания не меняют общей положительной оценки рассматриваемой работы.

Заключение о соответствии диссертации требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертационная работа Корнеева А.Ю. «Методология расчета и динамический анализ конических подшипников жидкостного трения» представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям п. 9-14 «Положение о присуждении ученых степеней». Диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе соискателя в науку. Считаю, что ее автор, Корнеев Андрей Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.2. Машиноведение (технические науки).

Официальный оппонент

Задорожная Елена Анатольевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»


Е. А. Задорожная
«_28_»_февраля_2022

Адрес: 454080 Челябинск, проспект Ленина, 76

Тел.: +7-9048-111-777

E-mail: zadorozhnaiaea@susu.ru



ЗЕРНО

Начальник службы
делопроизводства
Н.В. Цыulina

