

В диссертационный совет 99.0.033.02, созданный на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет»
241035, Россия, г. Брянск, б-р 50 лет Октября, 7

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертационной работе **Усова Павла Павловича** на тему «Обеспечение несущей способности узлов трения на стадии проектирования моделированием гидродинамических процессов с учетом деформаций» представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.3 «Трение и износ в машинах»

Актуальность работы

Работоспособность узлов трения во многом зависит от качества их математического моделирования на стадии проектирования. В узлах жидкостного трения при высоких нагрузках сильное влияние на несущую способность смазочного слоя, максимальные значения температуры и давления в нем оказывают деформации поверхностей трения. Поэтому при моделировании таких узлов необходимо учитывать указанные деформации. Однако совместное решение уравнений гидродинамики и уравнений контактных деформаций представляет сложную задачу, решение которой во многих случаях не найдено. В частности, до настоящего времени отсутствуют методики расчета радиальных опор скольжения жидкостного трения при высоких скоростях и нагрузках, что актуально для опор валков прокатных станов. Также отсутствуют методики расчета максимального давления в локальном контакте с учетом второго пика давления. Это давление используется при расчете узлов трения с локальным контактом на контактную прочность.

Из сказанного следует, что тема рассматриваемой диссертационной работы Усова П.П., посвященной моделированию гидродинамических процессов с учетом деформаций, является востребованной и актуальной

Новизна исследований и полученных результатов

Автором разработана уточненная неизотермическая математическая модель радиального подшипника скольжения с частичным углом охвата и

предложен метод численного решения этой математической модели, обеспечивающий сходимость итерационных процессов до высоких деформаций при среднем давлении до 26 МПа. Проведен анализ большого количества результатов численных расчетов, что привело к установлению новых закономерностей в зависимостях несущей способности смазочного слоя от уровня деформаций поверхностей трения. Установлены закономерности в зависимостях максимального периода реверсивного жидкостного режима от уровня деформаций применительно к опорам валков реверсивных прокатных станов.

В случае локального линейного контакта выявлены закономерности изменения максимального давления в смазочном слое с учетом второго пика давления от нагрузочной способности, геометрических размеров, скорости движения поверхностей и параметров смазочного материала. Разработана математическая модель процесса формирования смазочного слоя при движении из состояния покоя с учетом упругости смазочного материала и упругих деформаций поверхностей трения.

Практическая значимость работы заключается в разработанных методологиях расчета узлов жидкостного трения, работающих в условиях высоких деформаций поверхностей трения. Методология расчета гидродинамических подшипников скольжения с учетом деформаций поверхностей трения позволяет на стадии проектирования определить предельную несущую способность подшипника в жидкостном режиме. Методология расчета параметров линейного упруго-гидродинамического контакта позволяет на стадии проектирования производить уточненные расчеты нагрузочной способности зубчатых передач, роликовых подшипников качения и других узлов трения с линейным локальным контактом, работающих в гидродинамическом режиме. Практическая значимость выполненных исследований подтверждается значительным экономическим эффектом от внедрения.

Содержание диссертации

Диссертация включает пять глав, заключение, список литературы - 154 наименования. Объем диссертации 356 страниц и содержит 151 рисунок и приложение.

Диссертация П.П. Усова охватывает основные вопросы, поставленные в целях и задачах решаемой проблемы и соответствует критерию внутреннего единства.

В первой главе рассмотрены математические модели стационарных режимов подшипников жидкостного трения. Рассмотрены три плоских модели радиального подшипника. Модель в виде жесткого вала и жесткой втулки с

тонким упругим вкладышем может быть использована для расчета неметаллических подшипников скольжения. Модель в виде упругого вала и упругого пространства с цилиндрическим вырезом может быть использована для расчета крупногабаритных тяжело нагруженных опор скольжения, например, опор валков прокатных станов. Модель подшипника в виде упругого вала и упругого пространства с цилиндрическим вырезом при наличии тонкого упругого вкладыша с малым модулем упругости может быть использована при оптимизации конструкций крупногабаритных опор скольжения с целью повышения несущей способности. Предложен метод совместного численного решения уравнений контактных деформаций и уравнений движения смазочного слоя, расширяющий область применения упругогидродинамических (УГД) расчетов по модели по сравнению с известными методами. Используя данный метод, проведен численный анализ математических моделей. Установлены закономерности в зависимости несущей способности радиального подшипника от уровня деформаций поверхностей трения.

Во второй главе рассмотрены стационарные задачи теории смазки деформируемых тел при локальном контакте. Рассмотрены задачи о смазываемых контактах упругих тел, жестких тел с тонкими вязкоупругими покрытиями, упругих тел с тонкими вязкоупругими покрытиями. Получены новые решения задач о смазке упругих тел, упругих тел с покрытиями из упругих и вязкоупругих материалов в широких интервалах изменения коэффициента жесткости, характеризующего уровень деформаций, и вязкоупругих параметров. Проведен анализ полученных решений. Определены условия, при которых максимальное давление в смазочном слое близко к максимальному значению, как при отсутствии смазки (давление по Герцу) и условия, при которых давление в смазочном слое выше давления по Герцу более чем в 1.6 раза. Проведено исследование влияния вязкоупругих свойств поверхностных слоев на минимальную толщину смазочного слоя и максимального давления в нем. Приведено сопоставление результатов расчета минимальной толщины смазочного слоя в смазываемом контакте упругих тел с известными экспериментальными результатами. Сопоставление показало хорошее совпадение теории и эксперимента. Приведены примеры расчета узлов трения.

В третьей главе рассмотрены нестационарные задачи упругогидродинамической теории смазки. Проведен численный анализ переходных процессов во внешнем УГД – контакте цилиндров при реверсе. Проведено исследование влияния вязкоупругих свойств смазки на процесс формирования смазочного слоя в локальном контакте цилиндров при движении из состояния покоя. Установлено, что упругость смазки может существенно повысить толщину формируемого смазочного слоя до разъединения поверхностей. Рассмотрен реверсивный режим работы радиального подшипника скольжения. Показано, что режим жидкостного трения может быть обеспечен в течение всего

периода движения. Исследовано влияние деформаций поверхностей трения на максимальный период реверсивного жидкостного режима. Установлены закономерности в зависимостях максимального периода реверсивного жидкостного режима от уровня деформаций.

В четвертой главе приведены инженерные методики расчета гидродинамических узлов трения, полученные путем обработки большого количества решений УГД задач:

- Инженерная методика расчета опор валков прокатных станов. Методика позволяет определить минимальную толщину смазочного слоя в среднем сечении, перпендикулярном оси подшипника, минимальную толщину смазочного слоя в торцах подшипника, температуру смазки на входе в рабочий зазор и максимальную температуру в смазочном слое.

- Инженерная методика расчета локального УГД контакта. Методика позволяет определить минимальную толщину смазочного слоя и максимальное давление в локальном контакте в широком интервале значений коэффициента жесткости.

В пятой главе описаны экспериментальные следования подшипника серийного изготовления ЭЗТМ. Приведено сопоставление результатов численных расчетов с результатами проведенных экспериментов и результатами опубликованных экспериментальных данных.

В приложении приведены коды запрограммированных инженерных методик на языке программирования МатЛаб.

Замечания по работе

1. В диссертации не достаточно подробно разъяснено, в чем новизна предложенного автором метода совместного решения уравнений контактных деформаций и уравнений гидродинамики.

2. Не изложено, в чем отличие рассмотренных автором математических моделей радиального подшипника скольжения жидкостного трения с частичным углом охвата от рассмотренных моделей других авторов.

3. Из результатов, приведенных в главе 1, следует, что несущая способность смазочного слоя в радиальном подшипнике скольжения с частичным углом охвата с ростом податливости поверхностей трения растет, достигает максимума, а затем падает. Однако в диссертации нет физического объяснения такой зависимости несущей способности от податливости.

4. Уравнение (1.110) (стр.88) для температуры поверхности вала приведено без вывода и без ссылки на источник.

5. Не указана высота микронеровностей шероховатой поверхности в эксперименте, результаты которого приведены на стр. 202. Также не указано, расчеты проводились с учетом шероховатости, или без учета.

6. В главе 4 приведена инженерная методика расчета радиального

подшипника скольжения с учетом деформаций и тепловых процессов. Методика получена путем обработки большого количества численных решений УГД задач. Однако не сказано, каких задач: плоских, или УГД задач смазки подшипников конечной длины. Следовало бы уточнить область применимости данной инженерной методики.

Отметим, что приведенные замечания не снижают теоретическую значимость и практическую ценность работы и не ставят под сомнение справедливость полученных результатов.

Публикации отражают основное содержание диссертации. По теме диссертационной работы опубликована одна монография в соавторстве и 51 научная работа. Из них 22 входят в перечень ВАК Министерства образования и науки РФ, 12 публикаций в зарубежных изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science. Диссертант принимал участие более чем в 15 научных конференциях.

Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности.

Диссертационная работа Усова П.П. соответствует паспорту научной специальности 2.5.3 – Трение и износ в машинах по пунктам:

п.4 – Смазочное действие: гидро- и газодинамическая смазка, гидро- и газостатическая смазка, эластогидродинамическая смазка, смешанная смазка, граничная смазка;

п.10 – Физическое и математическое моделирование процессов трения и изнашивания. Расчет и оптимизация узлов трения и сложных трибосистем.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты работы будут представлять интерес организациям, их научным центрам, разрабатывающим и изготавливающим соответствующее оборудование.

Заключение

Диссертационная работа Усова П.П. «Обеспечение несущей способности узлов трения на стадии проектирования моделированием гидродинамических процессов с учетом деформаций» является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне на актуальную тему, и содержит новые научные результаты. В работе предложены новые подходы к решению важной научно-технической проблемы обеспечения несущей способности узлов трения. Работа обладает теоретической и практической значимостью. Задачи, цели и анализ содержания диссертации и публикации по теме позволяют сделать вывод, что диссертационная работа Усова П.П. по актуальности избранной темы, характеру рассматриваемых

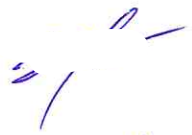
вопросов, достигнутых результатов решения поставленных задач, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует требованиям ВАК РФ (п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор – Усов Павел Павлович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.3 Трение и износ в машинах.

Даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,

Заведующий кафедрой «Строительная механика»,
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный
университет путей сообщения»

Доктор технических наук, доцент
(спец. 2.5.3 - Трение и износ в машинах)

 **Е.О. Лагунова**

«11» мая 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»,

Почтовый адрес: 344038, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, площадь Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2.

Тел. +7 863 255 3283

e-mail: lagunova@rambler.ru

Подпись



УДОСТОВЕРЯЮ

Начальник управления делами
ФГБОУ ВО РГУПС

«11» 03

2025



Т.М. Канина