

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Мещеряковой Альмиры Рифовны

**« Контактное взаимодействие и накопление усталостных повреждений  
при качении деформируемых тел»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук

по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Проблеме управления фрикционным взаимодействием и математическому моделированию различных аспектов этого многопараметрического процесса стабильно уделяется большое внимание исследователей. Это обусловлено запросами машиностроения, с одной стороны и, с другой стороны, значительным экономическим эффектом от внедрения более эффективных узлов трения в машинах и механизмах. Неудивительно поэтому то внимание, которое уделяется решению и анализу новых контактных задач, моделирующих особенности фрикционного контакта. Несомненно актуальными являются проблемы изучения контактного взаимодействия и накопления усталостных повреждений при качении деформируемых тел. Приоритет этих проблем обусловлен широким распространением в технике трибосопряжений, работающих в условиях контакта качения, например, система «колесо-рельс», подшипники качения, взаимодействие шины с дорогой и т.д. Среди исследований, посвящённых трению качения, можно отдельно выделить задачи о качении тел с учётом тонкого промежуточного слоя на поверхности катания. Эти задачи позволяют моделировать ряд факторов фрикционного контакта, например, шероховатость, неоднородность строения, адгезионное взаимодействие контактирующих тел. Отсюда следует особая необходимость развития методов решения контактных задач качения упругих тел с учетом сцепления и проскальзывания при наличии тонкого промежуточного слоя и анализа контактных характеристик. Все вышесказанное обуславливает актуальность диссертационной работы Мещеряковой Альмиры Рифовны «Контактное взаимодействие и накопление усталостных повреждений при качении деформируемых тел». Актуальность диссертационного исследования

подтверждает и тот факт, что основные результаты диссертации получены в рамках грантов РФФИ: 17-20-01147, 17-58-52030, 18-31-00441, 19-31-90015, 20-01-00400; гранта РНФ 14-29-00198, программы Президиума РАН I.16.

**Целью диссертационного исследования** является разработка методов решения контактных задач о качении тел при наличии промежуточного слоя с учётом относительного проскальзывания, несовершенной упругости, адгезионного взаимодействия, анализ влияния свойств промежуточной среды на напряженно-деформируемое состояние и скорость накопления усталостных повреждений в поверхностных слоях упругих тел.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемых источников.

Во **введении** сформулированы цели диссертационной работы, обоснована новизна и актуальность, представлен обзор современного состояния исследований и основных работ по теме диссертации.

**В первой** главе построены решения контактных задач о качении сферы по вязкоупругому слою, сцепленному с недеформируемым основанием, механическое поведение которого описывается моделью Кельвина, с учетом проскальзывания, межмолекулярного взаимодействия. Реализован алгоритм, основанный на методе полос, для определения нормальных и касательных напряжений. Определена конфигурация подобластей сцепления и проскальзывания в зависимости от свойств вязкоупругого слоя, относительного продольного проскальзывания и коэффициента трения скольжения. Установлено, что увеличение коэффициента трения скольжения и величины относительного проскальзывания приводят к росту отношения касательной силы к нагрузке.

**Во второй** главе решаются контактные задачи качения с проскальзыванием упругой сферы по упругому полупространству, покрытому тонким вязкоупругим слоем, свойства которого описываются моделями Кельвина, Максвелла. Расчет контактных давлений произведен на основании решения Герца, кроме этого, реализован вариационный подход для нахождения касательных напряжений при учете продольного и бокового проскальзываний, а также верчения. Проведен численный анализ контактного касательного напряжения, векторного поля скоростей проскальзывания, исследовано положение областей сцепления и проскальзывания в зависимости от трех компонент проскальзывания.

На основании результатов второй главы, в **третьей главе** проводится анализ скорости накопления контактно-усталостных повреждений, для чего рассчитываются внутренние напряжения при циклическом качении упругой сферы по вязкоупругому слою, сцепленному с упругим полупространством.

Установлены области максимума касательных напряжений в зависимости от коэффициента трения, свойств вязкоупругого слоя. Исследована функция поврежденности в рамках модели линейного суммирования повреждений.

**В заключении** сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

Все полученные в ходе диссертационной работы результаты и выводы являются оригинальными и строго **обоснованными**.

**Достоверность** полученных автором результатов обусловлена корректным применением апробированных методов при разработке новых подходов к исследованию поставленных задач, а также сравнением решения контактных задач о качении с проскальзыванием при наличии и отсутствии промежуточного слоя с результатами, полученными на основе аналитических методов, метода конечных элементов.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем. Разработаны методы решения новых трехмерных контактных задач о качении с проскальзыванием сферы по жесткому и упругому полупространству при наличии промежуточного вязкоупругого слоя с учетом межмолекулярных взаимодействий. Создан алгоритм и программы расчета контактных характеристик задач качения, расчета скорости накопления контактно-усталостных повреждений при циклическом качении упругой сферы по упругому полупространству с вязкоупругим покрытием. Проведен анализ влияния на характеристики контактного взаимодействия геометрических и механических параметров покрытия, трех компонент относительного проскальзывания.

Среди новых результатов, полученных лично автором диссертации, можно отметить следующие **наиболее значимые результаты**:

1. Разработаны и обоснованы методы решения пространственных контактных задач качения жестких и упругих тел при наличии промежуточного вязкоупругого слоя при различных моделях его деформирования с учетом трех составляющих проскальзывания;

2. Проведен численный анализ влияния геометрических и механических параметров взаимодействия на конфигурацию областей сцепления и проскальзывания, распределение контактных напряжений;
3. Разработаны алгоритмы и программы расчета напряженного состояния упругого полупространства с вязкоупругим покрытием и скорости накопления в нем усталостных повреждений при качении упругой сферы.

**Практическая значимость** результатов диссертационного исследования состоит в возможности использования результатов работы для управления фрикционным процессом в условиях трения качения, для оптимального выбора консистентной смазки в подшипниках качения, модификаторов трения в системе «колесо-рельс».

По диссертационной работе Мещеряковой А.Р. имеются следующие **замечания**:

1. В качестве подходов исследования контактных задач о качении с проскальзыванием сферы по жесткому и упругому полупространству при наличии промежуточного вязкоупругого слоя использованы как метод полос, так и вариационный метод, в рамках которых построены решения. Уместно бы было сравнение результатов расчетов с использованием этих методов для некоторых модельных задач, и обсуждение преимуществ каждого из этих методов.
2. Неясно, применимы ли развитые методы для качения тела с отклонением от канонической формы, например, вследствие дефекта?
3. Практически не описаны в диссертации возможности и алгоритм программы, получившей государственную регистрацию.

Несмотря на сделанные замечания, диссертация Мещеряковой А.Р. «Контактное взаимодействие и накопление усталостных повреждений при качении деформируемых тел» является законченным научным исследованием, имеет высокую научную значимость, выполнена автором самостоятельно.

Автореферат диссертации правильно и полно отражает основное содержание работы.


Результаты диссертационной работы были апробированы на 19 международных и российских конференциях, опубликованы в 21 научном издании, 5 статей опубликованы в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в наукометрические базы Scopus и Web of Science, имеется свидетельство на программу для ЭВМ.

**Заключение.** Вышесказанное определяет, что диссертационная работа Мещеряковой Альмиры Рифовны на тему «Контактное взаимодействие и накопление усталостных повреждений при качении деформируемых тел» является научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения задач, имеющих важное значение для развития механики деформируемого твердого тела. Считаю, что данная диссертационная работа отвечает всем требованиям п.9 «Положения» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

«16» августа 2021 г.

*Даю согласие на обработку своих персональных данных*

**Официальный оппонент**

  
Суворова Татьяна Виссарионовна  
доктор физико-математических наук (специальность 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела),  
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»,  
кафедра высшей математики, профессор  
телефон: +7 (951) 494-01-85, e-mail: suvorova\_tv111@mail.ru,  
адрес: 344038, г. Ростов-на-Дону,  
пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2

Подпись

УДОСТОВЕРЯЮ

Начальник управления дел  
ФГБОУ ВО РГУПС

« 16 » августа 2021 г.



*T.M. Канина*  
Т.М. Канина