

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Макиевой Элины Игоревны

на тему: «Динамика тел, взаимодействующих с проскальзыванием и разрушением»

по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин

Современные технологические запросы промышленности, в частности, автомобилестроения и тяжёлого транспортного машиностроения требуют создание новых уточнённых математических моделей контактного взаимодействия с дорожным покрытием или рельсами, а также связанных с ними вычислительных методов и процедур. С одной стороны, для универсальности их использования предлагаемые модели должны быть чётки и просты в формулировках и алгоритмах, с другой, они должны точно соответствовать реальным физическим процессам и подтверждаться экспериментально с той или иной заданной точностью. В связи с вышесказанным выбранную в диссертации тему исследования, посвящённого апробации моделей динамики механических систем с проскальзыванием и разрушением, описанию промежуточной прослойки между телами при трении и нахождению напряжённо-деформированного состояния вблизи контактной зоны, следует признать **актуальной и важной**.

Работа состоит из введения, двух глав, заключения и списка литературы, насчитывающего 70 ссылок. Объём работы – 130 страниц, имеется 72 рисунка.

Во **введении** сформулирована цель диссертации, представлена её структура, перечислены основные научные результаты, выносящиеся на защиту, включая их новизну и практическую значимость, описаны методы и подходы, с помощью которых эти результаты были достигнуты.

В первой главе, содержащей четыре параграфа, исследуются задачи динамики контактного взаимодействия малодеформируемых твёрдых тел при наличии промежуточной прослойки между телами, возникающей вследствие локального хрупкого разрушения приповерхностных слоёв. Используется подход разделения движений на быстрые и медленные, в котором при анализе медленных движений быстрые считаются мгновенно завершёнными, а при рассмотрении быстрых процессов медленные фиксируются. Вводятся несколько масштабных уровней, в частности, макроуровень и первый, второй и третий микроуровни быстрых движений, каждому из которых соответствует свои физико-механические процессы – деформирование и разрушение тел вблизи контактной зоны, структурирование элементов прослойки, определяющее силы трения (рис. 1.1, с. 20). Исследовано движение железнодорожной колёсной пары в зоне свободного хода при наличии промежуточной прослойки между колёсами и рельсами. С учётом микропроскальзывания пары колёс вдоль рельса описаны поперечные колебания системы с нарастающей амплитудой, подтверждаемые практическими испытаниями. На границе свободного хода эти колебания гасятся ребордами колёс. Показано, что для изучения изменения структуры прослойки необходима постановка и анализ внутренней задачи четвёртого масштабного уровня, которая уже полностью является задачей механики деформируемого твёрдого тела.

Этой и сходным ей внутренним задачам посвящена **вторая глава,** включающая в себя пять параграфов и шесть подпараграфов. В качестве модельной ставится задача о деформировании двух шариков одинакового радиуса в фиксированном промежутке между твёрдой горизонтальной подвижной плитой, к которой приложена нормальная сила, и неподвижным упругим основанием (рис. 2.1, с. 60). Области контактов шариков с основанием перекашиваются во внешнюю сторону шариков, что создаёт для каждого шарика несимметрию напряжённо-деформированного состояния и приводит к сближению шариков (эффект, подмеченный ещё в

экспериментальных работах [23, 24] Р.В.Гольдштейна и Н.М.Осипенко). Далее в работе постановка данной задачи усложняется – учитывается режим микропроскальзывания шариков вдоль обеих поверхностей, выводятся иерархические системы дифференциальных уравнений с малыми параметрами различных уровней, для анализа которых развивается соответствующий аппарат асимптотических методов. Проведено численное моделирование для случая плавного возвратно-поступательного движения плиты. Большой графический материал в конце параграфа 2.5 подтверждает хорошее соответствие теоретических результатов диссертационной работы с имеющимися в литературе экспериментальными данными [23, 24].

В заключении в сжатом виде сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

Научная новизна диссертации заключается в новых постановках и решении нового класса задач, моделирующих качение железнодорожной колёсной пары в зоне свободного хода. Впервые описано влияние промежуточной прослойки между колёсами и рельсами на поперечную и угловую динамику пары. В частности, впервые получены формулы для сближения шарообразных элементов прослойки, из которых можно сделать выводы об изменении структуры системы. **Основной кандидатский результат** видится в создании, численно-аналитической реализации и апробации многоуровневого математического подхода к описанию динамических процессов, возникающих при высокоскоростном контактом взаимодействии колёс с дорожным покрытием (рельсами) с учётом микропроскальзывания и микроразрушения структуры материала.

Практическая значимость диссертации заключается в возможности применения результатов при конструировании и расчёте систем «колесо – промежуточная прослойка – упругое основание» и оптимизации реальных динамических процессов, имеющих место при контактом взаимодействии указанных элементов, в частности возможности устранения нежелательных

эффектов, связанных с микроразрушением. Численные результаты находятся на этапе, готовом для дальнейшего использования квалифицированным заказчиком.

Достоверность результатов вытекает из использования классического аппарата теоретической механики, механики сплошной среды и таких её разделов как теория упругости и вязкоупругости, механика разрушения и многоуровневая структурная механика, а также математического анализа, асимптотических (в том числе сингулярных) методов и теории обыкновенных дифференциальных уравнений. Эти результаты выдерживают тесты на сравнение с признанными результатами других авторов. Теоретические выводы согласуются с экспериментом.

Основные результаты отражены в трёх публикациях автора в журналах, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин. Личный вклад автора во всех совместных публикациях не подлежит сомнению. Результаты в достаточной степени апробированы на многих представительных научных мероприятиях, среди которых Международная научная конференция «Фундаментальные и прикладные задачи механики» (МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2025), XVII Международная конференция «Устойчивость и колебания нелинейных систем управления» (ИПУ РАН, 2026) и другие. Результаты были доложены соискателем на многих профильных семинарах в МГУ, МАИ, Уральском математическом центре УдГУ. Текст автореферата соответствует содержанию диссертации и позволяет читателю составить полное представление о ней.

К работе имеются **вопросы и замечания**.

- 1) Поскольку по физическому смыслу работа близка к механике контактного взаимодействия и механике разрушения, было бы целесообразно подчеркнуть по каким критериям разрушения (применительно к напряжениям либо к деформациям) проводится

оценка несущей способности системы. Нужно ли при этом для нахождения напряжённо-деформированного состояния полностью решать весьма сложную соответствующую краевую задачу в области контакта ?

- 2) На стр. 75 диссертации указаны диапазоны возможного изменения параметра h , в которых выполняются неравенства (1.71), (1.72), (1.73). Они уже затрагивают линейные размеры, характерные для нанообъектов, подчиняющихся, вообще говоря, законам, отличным от законов макромеханики.
- 3) В некоторых местах имеются замечания к стилю и орфографии. Выделим следующие. А) Не совсем понятно часто встречающееся в тексте диссертации и в автореферате (например, на стр. 3 автореферата, стр. 10 диссертации) выражение «бесконечная жёсткость касательных составляющих контактных сил». Что такое жёсткость компоненты вектора силы ? Б) В формулах в середине стр. 44 требуется пояснение, какие из выделенных жирным шрифтом физических величин векторные, а какие нет.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук,

на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Макиева Элина Игоревна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор,

член-корреспондент РАН

заведующий кафедрой теории упругости механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Георгиевский Дмитрий Владимирович

подпись

31.08.2026

Контактные данные:

тел.: +7(495) 9395539, e-mail: georgiev@mech.math.msu.su

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация:

01.02.04 Механика деформируемого твердого тела

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ, д.1, Главное здание, механико-математический факультет, кафедра теории упругости

Тел.: +7(495) 9395539; e-mail: georgiev@mech.math.msu.su