

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук Гусак Галины Валерьевны**  
**на тему: «Изучение контактного взаимодействия колеса и дороги**  
**с использованием модели стержневого протектора»**  
**по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»**

В диссертации Гусак Г.В. изучаются задачи статики и динамики в модели тяжелого колеса с деформируемым стержневым протектором. Колесо расположено на абсолютно твердой опорной поверхности и находится под действием вертикальной внешней нагрузки, в отдельных разделах работы в оси колеса приложен внешний активный момент. При рассмотрении контактной задачи учитывается возможность продольной и изгибной деформации стержней протектора, наличие сухого трения Кулона между концом каждого стержня из области контакта и опорной поверхностью. В рамках модели исследуются такие характеристики как распределение областей прилипания и проскальзывания в зоне контакта; компоненты суммарной силы, описывающей взаимодействие колеса с поверхностью; сило-моментные активные воздействия, необходимые для поддержания стационарного качения колеса.

Область исследований полностью соответствует паспорту научной специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

**Актуальность** работы обоснована возможностью применения полученных результатов при проектировании колесных устройств, в частности, для уменьшения области проскальзывания в зоне контакта между колесом и дорогой, для оценки энергетических потерь, связанных с деформациями протектора.

**Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций** обеспечена корректным применением методов теоретической механики, в том числе аналитической механики систем с бесконечным числом степеней свободы. **Новизна** полученных результатов основывается на определении характеристик контактного взаимодействия нагруженного колеса с поверхностью в рамках новой модели колеса с деформируемым проектором, разработанной профессором В.Г. Вильке.

**Результаты диссертации прошли апробацию** на представительных научных конференциях и авторитетных семинарах: Международной научной конференции «Ломоносов» (Москва, 2010, 2016 гг.), конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук» (Москва-Долгопрудный, 2012 г.), Всероссийской научной конференции «Нелинейные колебания механических систем» им. Ю.И. Неймарка (Нижний Новгород, 2016 г.), Всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, 2019 г.), Всероссийской конференции молодых ученых-механиков (Сочи, 2020 г.), Международной научной конференции по механике «IX Поляховские чтения» (Санкт-Петербург, 2021 г.); семинаре секции теоретической механики им. проф. Н.Н. Поляхова (Санкт-Петербургский Дом ученых РАН), семинаре имени академика А.Ю. Ишлинского при Научном совете РАН по механике систем, семинаре имени профессора В.В. Белецкого по динамике относительного движения (мехмат МГУ), семинаре имени академика В.В. Румянцева по аналитической механике и теории устойчивости (мехмат МГУ).

Результаты автора по теме диссертации **опубликованы** в 8 печатных работах, 3 из которых в рецензируемых журналах и сборниках, индексируемых в международных базах Scopus, WoS, RSCI. Автореферат работы соответствует содержанию диссертации.

## **Содержание диссертации, ее завершенность**

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, трех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации 141 страница, включая 36 рисунков. Список литературы включает 141 наименование.

Во введении обоснована актуальность тематики диссертационной работы, поставлены цели и задачи исследований, охарактеризованы научная новизна и практическая значимость, проведен обзор литературы по тематике диссертации, в частности, описан широкий спектр моделей деформируемого колеса на опорной плоскости, для некоторых из них обсуждается сопоставление с известными экспериментальными результатами.

В первой главе рассмотрена статическая плоская задача о колесе с деформируемым стержневым протектором, находящемся под действием вертикальной нагрузки и активного крутящего момента и опирающемся на абсолютно твердую поверхность. Учитывается продольная и изгибная жесткость стержней, их деформация рассматривается в квазистатическом приближении. Между концом стержня, контактирующего с опорой, и поверхностью действует сухое трение Кулона. Получены условия равновесия системы, при которых определены условия проскальзывания конца для произвольного стержня. Вычислены реакции опорной поверхности. Показано, что имеет место гистерезисное поведение системы на цикле нагрузки-разгрузки колеса, определены соответствующие потери энергии. Исследовано влияние трения на просадку нагруженного колеса. Описано влияние крутящего момента на смещение точки приложения равнодействующей нормальной реакции относительно центра зоны контакта.

Во второй главе рассмотрена статическая трехмерная задача о нагружении колеса с деформируемым протектором. Структура системы аналогична первой главе с той разницей, что вводится отклонение плоскости колеса от вертикали, учитывается возможность смещения деформированных

элементов протектора в произвольных направлениях, в том числе выход из плоскости диска колеса. Описано влияние дополнительных (по сравнению с первой главой) геометрических параметров на распределение областей проскальзывания и сил в зоне контакта.

В третьей главе рассмотрена динамическая плоская задача о качении колеса с деформируемым стержневым протектором по твердой поверхности. К центру колеса приложены активные сила и момент. Составлены уравнения движения системы. Исследованы условия проскальзывания произвольного стержня в области контакта. Показано, что в зависимости от параметров возможно качение без проскальзывания, качение с частичным проскальзыванием, движение юзом. Особое внимание уделено стационарному режиму движения, при котором линейная и угловая скорость колеса остаются постоянными. Описана зависимость суммарной силы трения от коэффициента относительного проскальзывания. Показано, что она качественно согласуется с теорией Картера.

В заключении кратко сформулированы основные результаты работы и возможные направления дальнейших исследований.

### **Замечания по тексту работы**

1. Степень детализации рассуждений неоднородна. Некоторые неочевидные рассуждения (не аналогичные приведенным) опущены. Например, результаты о направлении компонент реакций для колеса со схождением приводятся без каких-либо выкладок. Некоторые существенные обозначения введены небрежно: на стр. 111 обозначение  $V$  (одно из ключевых в Главе 3) появляется без пояснения, на стр. 116 дана явная формула для  $V$ , на стр. 121 размерность  $V$  описана некорректно.
2. В Главе 1 есть ряд графиков, не снабженных числами по осям, но сопровождаемых перечнем параметров, которые использованы для расчетов. По-видимому, отсутствие чисел на графиках – форма опечатки.

3. Многие формулы, полученные в работе для зависимостей некоторых величин от параметров, не сопровождаются какими-либо примерами применения этих формул для построения зависимостей при конкретных параметрах. Так, например, в Главе 2 нет ни одного графика.

4. В пункте 3.4 при описании рассматриваемого случая опущено условие  $\zeta = 1$ , хотя оно требуется для корректности рассуждений. Оно упомянуто только в последнем предложении этого пункта и то опосредованно.

4. Полученная в Главе 3 полная система уравнений, описывающая качение колеса, применена только для вывода упрощенных систем. Полная система, представляющая существенный интерес и ценность, не исследуется (речь идет о возможности численного исследования). Было бы целесообразно, хотя бы на примере одной конкретной подзадачи, сопоставить результаты численного исследования полной системы с выводами, полученными для упрощенных систем. Помимо этого, поскольку получена система уравнений движения (полная, а также упрощенная), то желательно было бы привести хотя бы один пример численного интегрирования этих уравнений при каких-либо начальных условиях.

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 паспорту специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика» (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. Диссертация оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Гусак Галина Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,

ведущий научный сотрудник Государственного учебно-научного учреждения Научно-исследовательский институт механики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (НИИ механики МГУ)

КЛИМИНА Любовь Александровна

29.04.2021

Контактные данные:

тел.: +7 495 939-54-78, e-mail: klimina@imec.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.02.01 – Теоретическая механика.

Адрес места работы:

119192, г. Москва, Мичуринский просп., д. 1, НИИ механики МГУ.

Тел.: +7 495 939-31-21, e-mail: common@imec.msu.ru



29.04.2021