

Отзыв

на диссертацию Маховской Юлии Юрьевны
«**Моделирование адгезионного взаимодействия деформируемых тел**»,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности
01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Диссертация посвящена моделированию взаимодействия деформируемых тел, обладающих поверхностной энергией, которая приводит к возникновению сил адгезионного притяжения. В настоящее время большое количество исследований в машиностроении посвящено получению высокоточных поверхностей, что позволяет создавать машины и приборы с микро- и нанометровой точностью. Влияние адгезионного взаимодействия на работу таких сопряжений является **актуальной проблемой** в современной технике. Моделирование этого процесса позволяет предсказывать влияние поверхностной адгезии на силы трения и долговечность используемых в подобных сопряжениях материалов.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Первая глава посвящена аналитическому обзору публикаций, связанных с темой исследования. Приводится краткая история развития моделей адгезионного взаимодействия твердых тел, начиная с классических упрощенных моделей, и заканчивая многочисленными современными исследованиями. Автор уделяет особое внимание работам, посвященным роли адгезии различной природы – молекулярной и капиллярной, исследованиям шероховатого адгезионного контакта, а также моделированию влияния адгезии на силу трения.

Вторая глава содержит постановку и метод решения контактной задачи для упругого полупространства и жесткого штампа, граница которого описывается степенной функцией, при наличии пригрузки вне области контакта, заданной в виде кусочно-постоянной функции. В качестве примера рассмотрены контактные задачи о взаимодействии штампа с упругим полупространством при наличии капиллярной адгезии (вызванной наличием капиллярного мостика между поверхностями) и при наличии адгезии, вызванной межмолекулярными силами. Проведен анализ влияния поверхностного натяжения жидкости и объема жидкости в мениске на распределение контактного давления. Молекулярное притяжение между

поверхностями задается в виде зависимости удельной силы адгезии от величины зазора. Проведены расчеты для различных видов зависимости удельной силы адгезии от зазора, в том числе зависимости Леннарда-Джонса. Проведено сравнение полученных результатов с результатами для известных упрощенных моделей адгезионного взаимодействия.

В третьей главе рассмотрена периодическая контактная задача для системы инденторов, граничная поверхность которых описывается степенной функцией, с учетом адгезионного притяжения. Исследуются два вида адгезионного взаимодействия – молекулярная и капиллярная. Полученное решение используется для анализа влияния параметров шероховатости (формы выступов и плотности их расположения) на напряжения и перемещения на поверхности контакта и другие контактные характеристики.

В четвертой главе предложен метод для расчета адгезионной составляющей силы трения, основанный на расчете гистерезиса, имеющего место при циклическом подводе и отводе поверхностей, обладающих поверхностной энергией. Построены модели для расчета адгезионной составляющей силы трения при скольжении и качении шероховатых тел. Получены аналитические выражения для силы трения в предельных случаях, соответствующих известным упрощенным моделям адгезионного взаимодействия.

В пятой главе изучено скольжение инденторов различной формы (единичного выступа и волнистой поверхности) по вязкоупругому основанию при наличии адгезии. С использованием построенных моделей исследованы распределение контактного давления, размер и положение областей фактического контакта и гистерезисная сила трения в зависимости от адгезионных свойств поверхностей, механических характеристик полупространства и скорости скольжения. Дано сопоставление полученных теоретических результатов с экспериментальными данными.

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается корректной постановкой задач, применением классических методов механики деформируемого твердого тела, теории упругости и вязкоупругости. Достоверность решений, полученных аналитически, обеспечивается, в том числе, сравнением с известными аналитическими решениями в предельных случаях. Достоверность численных результатов обеспечивается также путем сопоставления с результатами, полученными с

использованием других методов и подходов, а также с некоторыми экспериментальными результатами.

Новыми результатами, полученными соискателем, следует считать:

- предложенный подход к решению осесимметричных контактных задач с учетом адгезии, задаваемой потенциалом произвольного вида;
- решение периодической контактной задачи для упругого полупространства с учетом адгезии;
- модели для расчета адгезионной составляющей трения качения и скольжения, основанные на расчете потери энергии при образовании и разрыве контактов между выступами двух поверхностей;
- решение задач о скольжении вязкоупругих тел при наличии адгезии.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что ее результаты могут быть использованы, в частности:

- для расчета адгезионной силы трения, действующей в сопряжениях высокоточных поверхностей;
- для определения оптимальных характеристик поверхностного рельефа, обеспечивающего наилучшее сцепление (например, шины с дорожным покрытием);
- для определения поверхностных свойств материалов методом атомной силовой микроскопии;
- для моделирования адгезии в биологических системах.

Замечания по работе:

1. В п.2.3.2 главы 2 показано, что аппроксимация молекулярного потенциала Леннарда-Джонса кусочно-постоянной функцией (в частности, константой, как в модели Мажи-Дагдейла) может приводить к завышенной оценке диссипации энергии. Однако, в главе 4 при расчете силы трения на основе этой диссипации энергии, величина ошибки, вносимой использованием модели Мажи-Дагдейла, никак не обсуждается.
2. В соотношении для объема мениска (2.52) не учитывается искривление боковой поверхности жидкости. Такая модель непригодна для описания отвода тел на большие расстояния с последующим разрывом мениска. Между тем, диссипация энергии в этом случае этого также должна иметь место.
3. В главе 5 при рассмотрении капиллярной адгезии при скольжении цилиндра (п.5.1.5) и сферы (п.5.2.3) по вязкоупругому основанию сделано неявное предположение, что весь объем жидкости скользит вместе с

индентором, не изменяя своей формы, и не подвергаясь воздействию сил вязкости.

4. К обоснованию на стр. 43 зависимости искомых функций только от радиуса необходимо добавить, что внешняя сила приложена на оси z и сонаправлена с ней.

5. Кусочно-постоянное представление (2.4) адгезионного давления следовало бы вынести в алгоритмы решения интегральных уравнений, а не приводить в постановочной части.

Результаты выполненных исследований опубликованы в 40 печатных работ, из них 17 опубликованы в международных рецензируемых изданиях, журналах из перечня ВАК. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на более чем 20 авторитетных российских и международных научных конференциях и научных семинарах.

В целом в диссертации представлено законченное исследование важной научной проблемы адгезионного взаимодействия тел, включающее разработку методики исследования широкого класса задач, возникающих в данном направлении.

Работа выполнена на высоком научном уровне, имеет важное прикладное значение. Она удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям. Ее автор, Маховская Юлия Юрьевна, заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Заведующий лабораторией НИИ механики МГУ, д.ф.-м.н., профессор


21.09.17

Тарлаковский Дмитрий Валентинович

125480, Россия, Москва, ул. Вилиса Лациса, 21, корп. 4, кв. 310; тел. +7(903)7660347, e-mail tdvhome@mail.ru

Подпись Тарлаковского Дмитрия Валентиновича заверяю

Ученый секретарь НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова



Рязанцева М.Ю.