



**Институт механики
сплошных
сред Уральского
отделения
Российской академии наук
филиал
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Пермского
федерального исследовательского
центра
(ИМСС УрО РАН)**

614013, г. Пермь, ул. Ак. Королёва, 1
Тел. (342) 237-84-61, факс 237-84-87
E-mail: mvp@icmm.ru

28.09.17 № *17400/15-М 198*

на № _____ от _____

□

□ Утверждаю
директор ИМСС УрО РАН
академик РАН



В. П. Матвеевко

Отзыв ведущей организации

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

Диссертационная работа Маховской Юлии Юрьевны представляет собой актуальное научное исследование, представляющее интерес с фундаментальной точки зрения и имеющее перспективы практического использования результатов. В настоящее время все чаще используются для научных исследований приборы, позволяющие получать информацию о механических свойствах материалов на микро- и нано- уровнях (нанотесты, атомно-силовые микроскопы и т.д.). Появляются новые режимы движения зондов, позволяющие по новому осуществлять их контакт с исследуемым материалом. Без использования специальной математической обработки невозможно расшифровать экспериментальные данные о свойствах материала на наноуровне, учесть адгезионное

взаимодействие индентора с деформируемой средой. Многие важные задачи, связанные с математическим моделированием соответствующих процессов, нашли отражение в диссертации. Кроме этого по-прежнему актуальной остается задача исследования диссипации энергии и силы трения поверхностей контактирующих деталей машин. Новые приложения теоретических разработок по проблемам адгезии появляются в области микроэлектроники и при исследовании биологических систем.

Научная новизна заключается в разработке новых эффективных подходов, используемых для решения проблем адгезионного взаимодействия; постановке и решении новых задач трибологии; новых полученных результатах. Впервые осуществлен расчет величины диссипации энергии в циклическом процессе приближения и удаления упругих тел, дано решение контактной задачи скольжения жесткого цилиндра по поверхности вязкоупругого пространства при наличии адгезии, исследовано влияние адгезионного взаимодействия на деформационную составляющую силы трения при скольжении по поверхности с регулярным рельефом вязкоупругого тела. В центре внимания выполненных исследований стоит учет взаимодействий разной природы (молекулярных, капиллярных, деформационных). Предложенные методы решения позволили получить распределение давлений и перемещения границы деформируемого тела в аналитическом виде, что, безусловно, является серьезным успехом автора.

Достоверность полученных в диссертации результатов связана в первую очередь с аккуратным решением поставленных задач в строгой математической постановке. Большая часть выводов делается на основании найденных аналитических решений. В диссертации используется сравнение (где это возможно) полученных результатов с известными решениями других авторов. Имеется сравнение некоторых теоретических результатов с экспериментальными данными.

Ю.Ю. Маховская выполнила большой объем теоретических исследований. Практическая значимость работы заключается в возможности применения полученных результатов для обработки экспериментальных данных приборов зондовой микроскопии (нанотестов, атомно-силовых микроскопов). Интерес для практики представляют также перспективы использования результатов диссертационной работы для анализа контактных взаимодействий в схемах микроэлектроники, а также для исследования адгезии в биологических системах.

Диссертационная работа Ю.Ю. Маховской состоит введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Изложена диссертация на 286 страницах. Содержит 91 иллюстрацию и одну таблицу. Список литературы имеет ссылки на 193 источника.

В первой главе дается подробный анализ состояния исследований в области математического моделирования особенностей адгезионного взаимодействия между телами. Рассматриваются существующие модели и методы решения механических задач, связанные с учетом молекулярной и капиллярной адгезии, трения, анализом влияния сопротивления при качении, шероховатости поверхности, диссипации энергии, особенностей при скольжении вязкоупругих тел.

Во второй главе излагаются новые решения автора диссертационной работы, полученные в исследованиях адгезионного взаимодействия осесимметричных упругих тел. Показано, что адгезионные силы существенно влияют на контактные характеристики при взаимодействии упругих тел. Установлена степень влияния молекулярной и капиллярной адгезии на особенности адгезионного взаимодействия в зависимости от значений параметров математических моделей.

В третьей главе приводится решение задачи о взаимодействии упругого полупространства с периодической системой штампов, которое позволило сделать выводы о влиянии шероховатости на адгезионное взаимодействие тел. Исследована зависимость адгезии от характеристик шероховатости (формы выступов, расстояния между ними, податливости шероховатого слоя, наличия влаги на поверхности).

Четвертая глава посвящена моделированию явления диссипации энергии и проблемы определения адгезионной составляющей силы трения при взаимодействии упругих тел. Получены решения задач адгезионного взаимодействия при сближении и удалении упругих тел. На модельных задачах исследовано влияние особенностей взаимодействия при скольжении и при качении. Предложена новая модель вычисления адгезионной составляющей силы трения при скольжении тела и модель качения шероховатого цилиндра по упругому полупространству.

В пятой главе внимание автора диссертационной работы сосредоточено на проблеме скольжения вязкоупругих тел при наличии адгезии. Предложены модели, позволяющие оценить связь адгезии с распределением контактного давления, силы трения, размера области фактического контакта, скорости движения при скольжении инденторов по поверхности вязкоупругого материала. Сделаны заключения о влиянии характеристик взаимодействия на механические особенности контакта тел.

По работе имеются следующие замечания:

1. В моделях нигде не учитывается изменение поверхностной энергии в рассматриваемой системе, связанной с появлением поверхности контакта штампа с материалом и уменьшение поверхности контакта штампа с воздухом и поверхности контакта материала с воздухом.

2. На странице 65 выписана формула для первого радиуса кривизны поверхности жидкости R_1 . Она выводится из предположений: 1) о равенстве нулю углов смачивания; 2) очень малой кривизне поверхности штампа; 3) предположения, что в вертикальном сечении граница жидкости имеет форму части окружности. В диссертации не указано, при каких характерных размерах рассматриваемых объектов такие предположения будут справедливыми. Сомнительно, чтобы эти предположения можно было бы использовать в одном, но очень важном для практики случае, когда объекты имеют размеры в несколько нанометров. То есть, полученную из данных предположений формулу нельзя применить для моделирования внедрения зонда атомно-силового микроскопа в материал с адсорбированной на его поверхности жидкостью. В этом случае давление в жидкости, согласно формуле, будет иметь отрицательное значение в несколько сотен атмосфер. Это означает, что поверхность жидкости быстро изменит свою форму. Скорее всего, жидкость переместится и образует отдельную каплю около зонда атомно-силового микроскопа.

3. Хочется обратить внимание на тот факт, что используемый в диссертации пример с равенством нулю краевых углов смачивания (страница 65) означает растекание жидкости по всей поверхности материалов. Более правильным было бы говорить о малых, но не равных нулю краевых углах.

4. Формулы в главе 2 выведены для случая бесконечно малого проникновения штампа в материал. Это означает появление определенных трудностей использования теории в одном важном приложении – внедрение зонда на большую глубину в эластомерных материалах (конечные деформации).

5. На стр. 100, 101 приводится решение задачи для индентора конической формы. Вершина конуса может быть сингулярной точкой. Неясно как эта особенность проявляется и учитывается в решении задачи?

6. В диссертации изложено много аналитических решений, но мало сравнений с экспериментом.

Сделанные замечания не влияют на общую высокую положительную оценку диссертации. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации. Основные результаты своевременно опубликованы в ведущих международных и российских журналах. Считаю, что диссертация Юлии Юрьевны Маховской «Моделирование адгезионного взаимодействия деформируемых тел», представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, является существенным продвижением в развитии представлений о взаимодействии деформируемых тел. Диссертация «Моделирование адгезионного взаимодействия

деформируемых тел» полностью соответствует паспорту специальности 01.02.04 — "Механика деформируемого твердого тела" и соответствует требованиям «Положение о присуждении ученых степеней», а соискатель Маховская Юлия Юрьевна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 — "Механика деформируемого твердого тела".

Отзыв обсужден на заседании семинара ИМСС УрО РАН 27 сентября 2017 года, протокол 8/17.

Заведующий лабораторией микромеханики структурно-неоднородных сред ИМСС УрО РАН, доктор физико-математических наук (01.02.04 — механика деформируемого твердого тела)



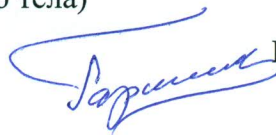
Свистков Александр Львович

Заведующий лабораторией нелинейной механики деформируемого твердого тела ИМСС УрО РАН, доктор физико-математических наук (01.02.04 — механика деформируемого твердого тела), профессор



Роговой Анатолий Алексеевич

Старший научный сотрудник лаборатории микромеханики структурно-неоднородных сред ИМСС УрО РАН, доктор физико-математических наук (01.02.04 — механика деформируемого твердого тела)



Гаришин Олег Константинович

Сведения о ведущей организации: "Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук" - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук; 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1; +7 (342) 237-84-61; mvp@icmm.ru; <https://www.icmm.ru>.