

ОТЗЫВ

официального оппонента

**на диссертационную работу Феокистовой Елены Сергеевны
«Нестационарное контактное взаимодействие абсолютно твердого
ударника и мембраны при учете адгезии»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела»**

1. Актуальность темы диссертационной работы

Исследование нестационарных контактных взаимодействий между упругими телами при ударе или при действии быстро изменяющихся нагрузок имеет важное значение для решения практических задач, возникающих в машиностроении, авиации, материаловедении и многих других отраслях. В классических постановках контактных задач ставятся идеализированные граничные условия, включающие требование совпадения перемещений на контактирующих поверхностях. Однако во многих современных технологиях, таких, как робототехника, сенсорика, наноинженерия, биосовместимые покрытия, возникает необходимость в разработке более реалистичных моделей, включающих в себя учет физико-химических процессов, обеспечивающих и сопровождающих контакт. Так, известно, что при сближении тел возникает адгезионное притяжение, обусловленное межмолекулярными взаимодействиями. Особенную важность учет этого эффекта приобретает в случае контакта твердого ударника с тонкими и гибкими упругими телами, такими, как мембраны. Несмотря на развитие современных моделей, описывающих контактное взаимодействие с учетом поврежденности, шероховатости поверхности, клеевой прослойки и других эффектов, влияние адгезионных сил изучено недостаточно. В связи с этим, тема диссертационного исследования Феокистовой Е.С., несомненно, является актуальной.

2. Структура и содержание диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка из 116 наименований и содержит 99 страниц текста, включая 48 рисунков.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи работы, указаны предмет и методы

исследования. Определена научная новизна результатов работы, их теоретическая и практическая значимость, представлены сведения об апробации работы, публикациях соискателя, структуре и объеме диссертации, перечислены результаты, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обширный обзор работ, посвященных моделированию и исследованию влияния адгезии на контактные взаимодействия, экспериментальным методам исследования адгезии и её зависимости от различных свойств контактирующих материалов и поверхностей, а также аналитическим и численным методам решения контактных задач с учетом усложненных условий контакта, в том числе адгезионных сил. Приводится краткая справка о различных теориях адгезионного взаимодействия. Описаны упрощенные модели, учитывающие наличие адгезионного давления до возникновения механического контакта. Выделяется модель Можи-Дагдейла, аппроксимирующая адгезионное давление, действующее за пределами области контакта взаимодействующих поверхностей. Согласно этой модели, если зазор между взаимодействующими телами не превышает некоторого максимального зазора, существует адгезионная сила, не зависящая от величины зазора. Далее в первой главе с использованием модели Можи-Дагдейла формулируются постановки задач о нестационарном контактном взаимодействии бесконечной упругой мембраны с абсолютно твердым ударником. Рассматриваются два вида задач, сводящихся к пространственно одномерным: плоская задача и осесимметричная задача. Записывается уравнение нестационарных поперечных колебаний мембраны, уравнение движения ударника, начальные и граничные условия, а также условия, определяющие область контакта, область действия адгезионной силы и область прилипания.

Вторая глава посвящена решению задач, соответствующих поставленным в первой главе, но без учета адгезионного притяжения. Рассматривается вспомогательная задача о действии на мембрану нестационарного давления в области, границы которой изменяются во времени по заданному закону. Решение задачи получено с помощью свертки с функцией влияния, построенной путем применения интегральных преобразований Лапласа и Фурье. Анализ полученного решения показывает, что следует разделять два случая: сверхзвуковое и дозвуковое расширение области действия нагрузки. Для каждого из этих случаев определены границы области интегрирования. Далее рассматривается решение контактной задачи без учета адгезии для двух режимов: дозвукового и

сверхзвукового. В каждом случае принимаются различные гипотезы о деформации мембраны, позволяющие записать выражения для прогиба и уравнения для определения границ области контакта. Подстановка этих выражений в уравнение движения позволяет определить контактное давление. На основании полученного решения строится алгоритм решения нестационарной контактной задачи, в котором предполагается, что механический контакт начинается со сверхзвукового этапа взаимодействия и переходит в дозвуковой. Для каждого из этапов формулируется задача Коши, описывающая движение ударника. В последнем параграфе главы приводится пример расчета для ударника параболической формы.

В третьей главе рассматривается задача с учетом адгезии. Для решения этой задачи предложен алгоритм, в котором прогиб мембраны представляется как сумма решения двух задач: о действии контактного давления и о действии адгезионного притяжения. Поскольку границы области действия адгезионного притяжения заранее не известны, задача решается методом шагов по времени. На текущем шаге решаются задачи с границами областей, определенными на предыдущем шаге, и определяются новые границы областей контакта, прилипания и адгезии. Рассмотрен пример расчета для параболического ударника в плоской постановке. Приводятся графики, иллюстрирующие влияние адгезионного притяжения на глубину и скорость внедрения ударника, изменение границы области контакта во времени, распределение прогибов мембраны и реакцию мембраны. Различия в решениях задач с учетом и без учета адгезии соответствуют интуитивным представлением, что подтверждает адекватность построенной модели.

В заключении приводятся основные результаты и выводы работы, указаны возможные применения построенной модели и направления её дальнейшего развития.

Проведенный автором анализ литературы по теме диссертации, постановка задач исследования и приведенные в диссертации решения данных задач, сформулированные на основе полученных решений выводы свидетельствуют о том, что представленная на защиту диссертация является завершенной научно-квалификационной работой. Структура и содержание диссертации полностью соответствуют как цели работы, так и основным требованиям к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Стиль изложения теоретического материала, использование математического аппарата и терминологии соответствуют требованиям к диссертационным работам на соискание

ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «Механика деформированного твердого тела».

3. Научная новизна и теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключаются в развитии постановок и методов решения нестационарных контактных задач, позволяющих учесть влияние сил адгезионного притяжения. В работе предложен новый алгоритм решения задач о действии ударника на мембрану, исследовано влияние адгезии на процесс контактного взаимодействия.

4. Практическая значимость результатов диссертации.

Предложенный в диссертации подход к учету эффектов адгезии, которые могут оказаться существенными при расчете элементов конструкций, подверженных кратковременным ударным нагрузкам, позволяет улучшить модели контактного взаимодействия, используемые в инженерной практике. Постановки задач и методы их решения, развитые в диссертационной работе, могут найти применение в робототехнике, сенсорике, наноинженерии, биомеханике и других областях.

5. Достоверность результатов и выводов.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечена корректным применением классических математических методов, достаточным уровнем математической строгости, тщательным анализом и корректным учетом данных об адгезии, имеющихся в литературе. Обоснованность выводов диссертации подтверждается примерами численных расчетов.

6. Апробация работы.

Изложенные в диссертационной работе результаты опубликованы в семнадцати печатных работах, в том числе в двух статьях из перечня, рекомендованного ВАК РФ, и одной главе в издании, индексируемом в Scopus. Работа докладывалась на многочисленных международных и российских научных конференциях, симпозиумах и семинарах с участием ведущих специалистов в области исследования.

7. Замечания по содержанию диссертации.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В основе метода решения контактной задачи, предложенного автором диссертации, лежат гипотезы о виде деформированной мембраны. В связи с этим следовало бы более подробно остановиться на соображениях, приводящих к этим гипотезам, особенно в случае дозвукового режима. Не вполне ясно, что имеется в виду под “нулевым приближением” и “пренебрежением инерционными силами”, поскольку далее, при определении контактного давления, эти силы всё же учитываются.
2. Численные результаты приводятся в безразмерных переменных и для произвольно выбранных безразмерных значений параметров. Это позволяет оценить влияние адгезии только с качественной стороны. С точки зрения практических приложений было бы интересно выполнить расчеты для реальных значений параметров, связанных с какими-либо имеющимися экспериментальными данными.
3. В формуле для прямого преобразования Лапласа на стр. 32 имеется опечатка: интеграл должен быть не от $-\infty$, а от нуля.
4. В выражении для функции $H_p(\zeta, \tau)$ на стр. 35 (формула (2.2.1)) также имеется опечатка. Чтобы описать область, изображенную на рис. 5, следует положить $H_p(\zeta, \tau) = H(c(\tau) + \zeta) - H(\zeta - c(\tau))$.
5. На рис. 6 кривая $\zeta = -c(\tau)$ не соответствует изображенной здесь же кривой $\zeta = c(\tau)$.
6. Имеются также мелкие замечания редакционного характера, связанные с пропущенными запятыми или, наоборот, лишними запятыми, а также опечатками в тексте.

Указанные замечания не свидетельствуют о снижении качества рассмотренной диссертации и не препятствуют ее положительной оценке.

8. Заключение по диссертации.

Представленная к защите диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой получено решение актуальной как в теоретическом, так и в прикладном отношении задачи.

Результаты диссертационной работы получены соискателем самостоятельно, являются новыми, обладают как теоретической, так и практической значимостью, опубликованы в достаточном количестве в периодических изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Область исследования и основные результаты диссертационной работы полностью соответствуют паспорту специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Диссертация отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленными Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Феоктистова Елена Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела».

Официальный оппонент:

профессор кафедры математической теории упругости и биомеханики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского», доктор физико-математических наук (специальность 01.02.04 – «Механика деформируемого твёрдого тела»)

МВ

Вильде Мария Владимировна

01.12.2025



410012, г.Саратов, ул.Астраханская, 83

Тел.: +7(962)623-70-84

E-mail: mv_wilde@mail.ru

с отзывом ознакомлена

04.12.2025

Феоктистова