

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертации Зыонг Туан Мань «Анализ ударного взаимодействия двух вязкоупругих сферических оболочек», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Актуальность темы. Диссертационная работа Зыонг Туан Мань посвящена математическому моделированию процессов ударного взаимодействия двух сферических вязкоупругих оболочек. Изучение подобных динамических контактных задач является актуальной задачей, как актуальна технология обработки материалов давлением. С ударными процессами связаны такие физические явления, как динамическая реакция конструкции, продолжительность контактного взаимодействия, распространение поверхностей сильного разрыва, которые зарождаются в момент удара и затем распространяются вдоль соударяющихся тел. Для математически корректного анализа таких явлений особенно важным является разработка и развитие аналитических методов исследования, позволяющих получить оценки для предельных случаев. Такие аналитические решения должны быть необходимой базой для дальнейшего развития и верификации численных методов.

Научная новизна. В рассматриваемой работе впервые решены контактные динамические задачи, возникающие в процессе соударения двух сферических оболочек и при ударе оболочки по мишени в виде вязкоупругой или жесткой пластинки. При этом в области контакта применяется закон Герца, обобщенный для вязкоупругих тел на основе моделей с дробными операторами, а вне области контакта решение строится при

помощи лучевого метода, который представляет собой один из методов малого параметра, и этим малым параметром является время.

Достоверность полученных результатов основана на корректной математической постановке задач. Полученные в работе результаты согласуются с общими физическими представлениями. Правильность полученных результатов определяется корректностью математических выкладок и сопоставлением с известными результатами других авторов. Для процессов, быстро протекающих во времени, метод лучевых рядов имеет неоспоримые преимущества перед другими методами, поскольку позволяет получать аналитические решения в виде временных зависимостей основных характеристик ударного процесса.

Практическая значимость. Полученные результаты в виде аналитических зависимостей контактной силы и локального смятия от времени могут быть использованы в различных проектных организациях при расчетах ударных взаимодействий различных конструкций, свойства которых могут изменяться в процессе контакта, а также при разработке таких средств защиты головы человека как головные уборы (шлемы) для спортсменов, пожарных, военных, которые могут испытывать ударные нагрузки в различных критических ситуациях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 116 страницах машинописного текста, содержит 21 рисунок, список использованных источников из 160 наименований.

Анализ содержания диссертации, и ее основные результаты:

В первой главе приводится обзор литературных источников, посвященным процессам ударного взаимодействия тел, одно из которых

обладает вязкоупругими свойствами, и существующие модели и методы анализа возникающих краевых задач.

Вторая глава посвящена изучению ударного взаимодействия двух сферических оболочек в рамках волновой теории удара. Решение вне области контакта строится при помощи лучевого метода, который позволяет определить основные динамические характеристики полей напряжений и деформаций при распространении поверхностей сильного разрыва, зарождающихся в оболочках в момент удара и затем распространяющихся в виде расходящихся кругов.

В рамках предложенной теории решена задача о соударении двух упругих сферических оболочек с контактной силой, определяемой при помощи классического контактного закона Герца. Предложена модель соударения двух сферических оболочек для случая, когда вязкоупругие свойства сталкивающихся тел проявляются только в месте контакта в результате изменения микроструктуры материала оболочек в процессе контактного взаимодействия и описываются с помощью модели стандартного линейного вязкоупругого тела с дробными производными. Вне области контакта материал оболочек остается упругим с нерелаксированным значением модуля упругости. Используя принцип соответствия Вольтерра, разрешающие уравнения, описывающие процесс контактного взаимодействия упругих оболочек, обобщаются на случай соударения оболочек, приобретающих вязкоупругие свойства в пределах контактной области. С этой целью классический закон Герца обобщен путем замены коэффициента жесткости при ударе на соответствующий вязкоупругий оператор, учитывающий геометрию соударяющихся тел и зависящие от времени вязкоупругие аналоги модулей упругости и коэффициентов Пуассона.

Решена задача о соударении двух вязкоупругих сферических оболочек, вязкоупругие свойства которых описываются моделью стандартного линейного тела с производными целого порядка. Изменение вязких

свойств внутри контактной зоны описывается при помощи обобщенного закона, в котором вязкоупругий оператор, пропорциональный цилиндрической жесткости, выводится при помощи алгебры безразмерных операторов Ю.Н. Работнова. Получены интегро-дифференциальные уравнения для контактной силы и величины локального смятия. Получены приближенные аналитические решения полученных уравнений, на основе которых определены основные характеристики ударного взаимодействия.

В третьей главе рассмотрены частные случаи ударного взаимодействия вязкоупругой сферической оболочки по вязкоупругой или жесткой пластинке, а также удар сферической оболочки по второй оболочке, которая находится в состоянии покоя. Построены приближенные решения с использованием малого параметра (времени протекания ударного процесса). Проведены численные исследования, которые показывают, что при изменении параметра дробности от нуля до единицы, что соответствует увеличению вязкости ударника, максимум контактной силы уменьшается, а время контакта ударника и мишени увеличивается.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались: на международных и региональных научных мероприятиях, в том числе на 9й международной конференции по механике сплошных сред (9th International Conference on Continuum Mechanics CM '15), в Риме, Италия, 7-9 ноября 2015 года; на 44й международной летней школе-конференции по современным проблемам механики (Advanced Problems in Mechanics APM2016), в Санкт-Петербурге, 27 июня – 2 июля 2016 года; 5); на 7й международной конференции по математическим моделям в инженерных науках (7th International Conference

on Mathematical Models for Engineering Science MMES'16), Дубровник, Хорватия, 28-30 сентября 2016 года.

Публикации. Основные результаты диссертации представлены в 6 научных работах, 2 из которых опубликованы в международных научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Соответствие автореферата и публикаций автора требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы. Основные результаты опубликованы в рецензируемых изданиях (6 штук), 2 из которых в международных научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, что является достаточным количеством в соответствии с требованиями п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ».

Замечания по работе и ее оформлению:

1. В качестве пожелания можно отметить, что трудностей, возникающих при использовании аппарата дробных производных, а зачастую это несколько интегральных операторов, можно избежать использованием двух интегральных операторов со слабо-сингулярными ядрами для всестороннего сжатия и сдвига. Такой подход может не только ускорить построение точного решения, но и упростить аппроксимацию экспериментальных кривых для поиска материальных констант.

Общее заключение: Отмеченные замечания не снижают ценность представленной работы, которая, несомненно, заслуживает положительной оценки.

5. Общая оценка диссертационной работы

Диссертация Зыонг Туан Мань посвящена моделированию и исследованию процессов ударного взаимодействия двух сферических оболочек, обладающих вязкоупругими свойствами или приобретающих такие свойства в течение времени контакта. Диссертантом получены новые теоретические результаты, имеющие прикладную направленность. Им внесен значительный личный вклад в решение поставленных задач. Исследования выполнены на высоком научном уровне.

Обобщая вышесказанное и учитывая новизну, теоретическую и практическую значимость проделанных исследований и их достоверность, считаю, что представленная к защите диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п. 9 положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, а ее автор Зыонг Туан Мань заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент,

кандидат физико-математических наук,

старший научный сотрудник, Института проблем

механики им. А.Ю Ишлинского РАН

119526, г. Москва, пр. Вернадского д. 101 к. 1

Телефон: +7-495-434-21-59

E-mail: murashkin@ipmnet.ru

Е. В. Мурашкин

Подпись Е.В. Мурашкина заверяю
ученый секретарь ИПМех РАН, к.ф.-м.н.



Е.Я. Сысоева

25.08.2017