

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Зыонг Туан Мань  
«Анализ ударного взаимодействия двух вязкоупругих сферических оболочек»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Расчет тонкостенных конструкций на ударные нагрузки является одной из сложнейших задач среди прочих контактных задач в механике деформируемого твердого тела. Данный расчет, как правило, включает определение силы и времени контактного взаимодействия, величину местного смятия тонкостенной конструкции, а также анализ динамической реакции конструкции, включающий исследование распространения поверхностей сильного разрыва и динамического напряженно-деформированного состояния соударяемых тел. **Актуальность** этих и других задач, рассмотренных в диссертации, обусловлена двумя факторами: широким использованием тонкостенных пластин и оболочек в качестве конструктивных элементов инженерных сооружений, подвергаемых ударным нагрузкам, а также необходимостью разработки соответствующих аналитических методов исследования динамической реакции соударяющихся оболочек с учетом изменения вязкоупругих свойств тел в зоне контакта в процессе ударного взаимодействия. Упомянутые задачи, когда соударяемые оболочки моделируются упругими телами, достаточно хорошо изучены с использованием известных методов механики деформируемого твердого тела. Однако традиционные модели не позволяют учесть локальную эволюцию микроструктуры материала и, в частности, снижение вязкости материала в зоне контакта. Таким образом, тема диссертации, посвященной анализу ударного взаимодействия вязкоупругих сферических оболочек с учетом локальной изменяемости во времени вязкоупругих свойств тел в процессе их контакта, представляется весьма **актуальной**.

Для решения поставленных задач в диссертации используется модель, основанная на введении дробного экспоненциального оператора Ю.Н. Работнова с последующим применением алгебры безразмерных операторов дробного порядка, развитой Ю.А. Россихиным и М.В. Шитиковой. Целью диссертационного исследования является: применение ранее развитой Ю.А. Россихиным и М.В. Шитиковой волновой теории удара на случай ударного взаимодействия сферических оболочек; разработка модели соударения двух сферических оболочек для случая, когда вязкоупругие свойства сталкивающихся тел проявляются только в зоне контакта и описываются с помощью



модели вязкоупругого тела с дробными производными; а также анализ зависимостей контактной силы и величины смятия оболочек в зоне контакта при различных значениях дробного параметра, характеризующего степень вязкости материала в зоне смятия. Для достижения поставленных целей диссертантом решены следующие новые задачи: 1) с использованием лучевого метода определены основные динамические характеристики полей напряжений и деформаций при распространении поверхностей сильного разрыва; 2) с использованием принципа соответствия Вольтера, выведены интегро-дифференциальные уравнения, описывающие процесс контактного взаимодействия оболочек, приобретающих вязкоупругие свойства в пределах контактной зоны; 3) решены задачи о соударении двух вязкоупругих сферических оболочек, вязкоупругие свойства которых внутри контакта описываются обобщенным законом с использованием производных дробного порядка; 4) решены частные задачи о соударении вязкоупругой сферической оболочки с вязкоупругой или жесткой пластинкой, а также с покоящейся оболочкой.

**Научная новизна** результатов диссертации заключается в том, что впервые решены задачи о контактном взаимодействии двух сферических вязкоупругих оболочек, а также об ударе вязкоупругой оболочки по мишени в виде вязкоупругой или жесткой пластинке. При этом, соискателем получены новые интегрально-дифференциальные уравнения, описывающие динамику глубины смятия и предложены методики решения этих уравнений. В частности, при анализе контактного взаимодействия двух сферических оболочек предложена методика, основанная на малости инерции контактной области, а для описания быстро протекающих во времени волновых процессов вне области контакта решения разрешающих уравнений построены с использованием лучевого метода.

**Практическая ценность** результатов представляется очевидной, ибо они могут быть использованы при проектировании разнообразных средств защиты (шлемов спортсменов, бронежилетов и т.п.). Потенциально результаты могут быть также использованы при расчете на ударные воздействия различных тонкостенных инженерных сооружений и техники, для создания которых используются новые композитные материалы с изменяемыми вязкоупругими свойствами.

Основные результаты диссертации опубликованы в шести научных работах, из них две в изданиях, проиндексированных в международных базах данных Web of Science и Scopus и рекомендованных ВАК РФ для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат в целом хорошо отражает содержание диссертации.



Диссертация написана грамотным математическим языком, что указывает на высокий уровень владения соискателем сложного математического аппарата, связанного с использованием дробного исчисления. **Достоверность** изложенных в ней результатов не вызывает сомнений, ибо они получены с использованием апробированных другими авторами моделей вязкоупругих материалов на основе дробных операторов, с использованием известного асимптотического метода (лучевого метода), и в ряде случаев подтверждены путем сопоставления с известными результатами других исследователей. Вместе с тем, имеются **замечания**, касающиеся, в основном, обоснования применимости моделей, а также интерпретации полученных результатов:

- 1) Модель, описывающая распространение волновых поверхностей, основана на предположении о малости нормальных напряжений в сечениях, параллельных срединной поверхности оболочки, по сравнению с другими напряжениями (п. 2.1.1, стр. 24). Данная гипотеза вводится, как правило, в двумерной теории *тонких* оболочек. На сколько обоснованной является принятие этой гипотезы в случае ударной нагрузки?
- 2) Отсутствует обоснование предложенных моделей локального вязкоупругого смятия оболочек с точки зрения соотношения входящих в задачу параметров. Очевидно, что для тонких оболочек и больших скоростей соударения величина смятия может оказаться соизмеримой с толщиной оболочки, однако в этом случае необходимо рассматривать деформирование оболочки в целом. Формальные ограничения на геометрические и физические параметры (их порядки) нетрудно получить зная полученные в явном виде соотношения для смятия.
- 3) Представленные на рис. 2.7, 2.8, 2.12, 2.13 зависимости контактной силы от времени указывают на то, что при фиксированных размерах соударяемых оболочек и их относительной скорости существует такой момент времени, при котором контактная сила постоянна и не зависит от параметра дробности. Данный вывод представляется неожиданным и его следовало бы детально обсудить.
- 4) Все численные расчеты в диссертации выполнены для «обезличенных» материалов.

Укажем также на опечатку на стр. 32 в формуле (2.55): в скобках следует писать коэффициент  $3/8$ , а не  $3/18$ .

Приведенные замечания не снижают научную ценность результатов работы, не отрицают ее высокой оценки и могут рассматриваться как рекомендации для дальнейших исследований.

**Заключение.** Диссертационная работа «Анализ ударного взаимодействия двух вязкоупругих сферических оболочек» представляет собой научно-квалификационный труд, который удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Зыонг Туан Мань, достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой био- и наномеханики  
Белорусского государственного  
университета (г. Минск, Беларусь),  
доктор физ.-мат. наук, профессор



Михасев Г.И.

10.07.2017г.

