

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научно-  
инновационной деятельности  
Тамбовского государственного  
технического университета,  
д.т.н., профессор  
Муромцев Д.Ю.



2017

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»  
на диссертационную работу Зыюнг Туан Мань  
«Анализ ударного взаимодействия двух вязкоупругих сферических  
оболочек», представленную на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «механика  
деформируемого твердого тела»**

### Общая характеристика работы

Диссертационная работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 160 наименований. Работа изложена на 116 страницах, содержит 21 рисунок.

Диссертационная работа представляет собой логично выстроенное и завершенное научное исследование нелинейных колебаний упругих прямоугольных пластинок в вязкой среде в условиях внутренних резонансов.

По объему и структуре работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемых к диссертациям, представленным на соискание степени кандидата наук.

## **Актуальность темы**

Изучение динамических контактных задач является актуальной задачей для тех отраслей науки и техники, где приходится иметь дело с ударными нагрузками. Для комплексного анализа таких явлений, как динамическая реакция конструкции, продолжительность контактного взаимодействия, распространение поверхностей сильного разрыва, которые зарождаются в момент удара и затем распространяются вдоль соударяющихся тел. особенно важным является разработка аналитических методов исследования, которые позволяют получить оценки для предельных случаев и являются базой для дальнейшего развития и апробации численных методов.

Часть этих исследований, касающихся моделирования и изучения процессов ударного взаимодействия двух сферических оболочек, обладающих вязкоупругими свойствами или приобретающих такие свойства в течение времени контакта, была выполнена диссертантом и подробно изложена в последующих главах.

## **Структура диссертации**

*Во введении* обоснована актуальность темы, сформулирована цель работы и задачи исследования, научная новизна диссертационной работы, выносимые на защиту научные положения и результаты, дана краткая аннотация по главам и краткий обзор работ, касающихся темы диссертации.

*В первой главе* приведен обзор научной литературы, посвященной исследованию задач соударения сферических тел, когда, по крайней мере, одно из них обладает вязкоупругими свойствами, и методов их решения.

*Вторая глава* посвящена изучению ударного взаимодействия двух сферических оболочек на основе волновой теории удара, разработанной для случая соударения упругих сферических оболочек Россихиным Ю.А. и Шитиковой М.В., согласно которой в момент удара в точке касания (или в точке контакта) двух сталкивающихся сфер зарождаются две нестационарные волновые линии (поверхности сильного разрыва), которые затем распространяются в виде расходящихся кругов вдоль сферических поверхностей со скоростями упругих волн. Решение вне области контакта строится при помощи лучевого метода, который позволяет определить

основные динамические характеристики полей напряжений и деформаций при распространении поверхностей сильного разрыва.

Вначале предложена модель соударения двух упругих сферических оболочек для случая, когда вязкоупругие свойства сталкивающихся тел проявляются только в месте контакта в результате изменения микроструктуры оболочек в процессе контактного взаимодействия и описываются с помощью модели стандартного линейного тела с дробными производными. Для построения решения внутри контактной области классический закон Герца был 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.

Затем 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, расшифровывается при помощи алгебры безразмерных операторов Ю.Н. Работнова. Получены интегро-дифференциальные уравнения для контактной силы и величины локального смятия.

Получены приближенные аналитические решения, 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, которым является время 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 данного диссертационного исследования.

### **Основные полученные результаты:**

1. Волновая теория удара обобщена на случай соударения двух сферических оболочек. При помощи лучевого метода определены 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. На основе построенной теории решена задача о соударении двух упругих сферических оболочек, при этом контактная сила определяется при помощи классического контактного закона Герца.

2. Разработана модель соударения двух сферических оболочек для случая, когда вязкоупругие свойства сталкивающихся тел проявляются только в месте контакта в результате изменения микроструктуры оболочек в процессе контактного взаимодействия и описываются с помощью модели стандартного линейного 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, были обобщены на случай соударения оболочек, приобретающих вязкоупругие свойства в пределах контактной области. С этой целью классический закон Герца был 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. Параметр дробности, т.е. порядок дробного оператора, являющийся дополнительным структурным параметром, позволяет управлять изменением вязкости внутри контактной зоны при ударных взаимодействиях.

3. 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, расшифровывается при помощи алгебры безразмерных операторов Ю.Н. Работнова. Получены интегро-дифференциальные уравнения для контактной силы и величины локального смятия.

4. Кратковременность процесса ударного взаимодействия позволила получить приближенные аналитические решения, на основе которых определены основные характеристики ударного взаимодействия: время контакта, время, при котором контактная сила и локальное смятие достигают своих максимальных значений и сами максимальные значения.

5. 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, которым является время протекания ударного процесса.

6. Полученные временные зависимости контактной силы и локального смятия могут быть использованы в различных проектных организациях при расчетах ударных взаимодействий различных конструкций, свойства которых могут изменяться в процессе контакта. 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.

**Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:** впервые решены контактные динамические задачи, возникающие в процессе соударения двух сферических оболочек или 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. 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.

#### **Степень обоснованности научных положений и выводов**

Выполненные аналитические и численные расчеты обоснованы строгой формулировкой математических моделей и эффективностью примененных методов исследования. Полученные в работе результаты согласуются с общими

физическими представлениями. Правильность полученных результатов определяется корректностью математических выкладок и сопоставлением с известными результатами других авторов. При стремлении параметра дробности к единице полученные решения переходят в известные решения для производных целого порядка, а при стремлении к нулю соответствуют упругим задачам.

### **Практическое значение результатов**

Практическая значимость заключается в том, что результаты диссертации могут быть использованы проектными и научно-исследовательскими организациями при расчетах ударных взаимодействий различных конструкций, свойства которых могут изменяться в процессе контакта, а также при разработке таких средств защиты как шлемы для спортсменов, пожарных, военных, которые могут испытывать ударные нагрузки в различных критических ситуациях. Материалы диссертации можно использовать при чтении спецкурсов по актуальным проблемам динамики деформируемых тел и строительной механики при подготовке магистров по соответствующим специальностям.

### **Публикации**

Автореферат и опубликованные работы отражают основные положения диссертации. Результаты работы достаточно полно представлены в шести публикациях, в том числе 2 статьи в международных журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus: 19 страниц в Mechanics of Time-Dependent Materials и 6 страниц в International Journal of Mechanics, а также 4 публикации в сборниках трудов международных конференций общим объемом в 12 страниц.

### **Общие замечания**

1. В работе не приведены ограничения на значения параметров соударяющихся тел, для которых справедливы построенные модели. Следовало бы четко указать диапазоны геометрических характеристик исследованных объектов.
2. В списке литературы отсутствуют источники, в которых применялись бы экспериментальные исследования по соударению сферических оболочек, и соответственно в тексте диссертации не упоминается о таких исследованиях.

Остается непонятным: экспериментальные исследования в этой области отсутствуют или автор не смог провести сопоставления полученных им результатов с экспериментальными данными.

### **Оценка качества оформления работы**

Диссертация написана грамотным научным языком, оформлена с использованием достаточного количества рисунков. Выдержана логическая последовательность изложения: описание постановки задачи и методов исследования, решение конкретных задач, обсуждение результатов, выводы.

### **Заключение**

Сделанные выше замечания не могут изменить общую положительную оценку работы, в которой получено приближенное аналитическое решение важных научно-практических задач ударного взаимодействия вязкоупругих или упругих ударников в виде сферических оболочек с вязкоупругими или жесткими мишенями, в качестве которых могут выступать вязкоупругие или жесткие сферические оболочки или пластинки, с использованием малого параметра, в качестве которого выступает время протекания ударного процесса.

Диссертация Нгуен Туан Мань «Анализ ударного взаимодействия двух вязкоупругих сферических оболочек» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, содержит новые научные результаты, обладающие теоретической значимостью и имеющие практическую ценность. Сформулированные выводы достаточно обоснованы, полученные результаты в полной мере отражены в имеющихся авторских публикациях, в том числе изданиях, проиндексированных в международных базах данных Web of Science и Scopus, рекомендованных ВАК РФ.

Содержание диссертации соответствует п. 2 «Теория моделей деформируемых тел с простой и сложной структурой» и п. 5 «Теория упругости, пластичности и ползучести» области исследования паспорта специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела».

Диссертационная работа Нгуен Туан Мань вносит существенный вклад в развитие динамической теории вязкоупругости. По актуальности поставленных задач, новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа Нгуен Туан Мань «Анализ ударного взаимодействия

двух вязкоупругих сферических оболочек» полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени по специальности 01.02.04 – «механика деформируемого твердого тела».

Отзыв по диссертационной работе и автореферату Нгуен Туан Мань «Анализ ударного взаимодействия двух вязкоупругих сферических оболочек» рассмотрен и одобрен на заседании лаборатории «Механика интеллектуальных материалов и конструкций» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 15 августа 2017 г., протокол № 2.

Отзыв составлен:

Зав. лабораторией "Механика интеллектуальных материалов и конструкций",  
главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук,  
профессор

Г.М. Куликов

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,  
392000, Тамбов, Советская ул., д.106, +7 4752 630441, [gmkulikov@mail.ru](mailto:gmkulikov@mail.ru)

