

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию **Митина Андрея Юрьевича** «Нестационарные контакт абсолютно твердого тела и цилиндрической оболочки», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04, – механика деформируемого твердого тела.

Диссертация посвящена теоретическому исследованию нестационарного контактного взаимодействия между твердым ударником и упругой цилиндрической оболочкой типа Тимошенко. Разработан и реализован новый численно-аналитический метод решения нестационарных контактных задач; приведены результаты расчетов, полученные с использованием этого метода.

**Актуальность темы диссертации** обусловлена большим количеством конструкций типа оболочек, применяемых при изготовлении корпусов летательных аппаратов, ракет, модулей космических станций и зондов, кузовов автомобилей и кораблей, и необходимостью прогнозировать их прочность и ресурс работы при эксплуатации с учетом внешних воздействий, в частности, соударений с другими телами. Моделирование таких процессов требует рассмотрения контактных задач для деформируемых оболочек в нестационарной постановке, среди которых наименее исследованными на сегодняшний день остаются пространственные нестационарные контактные задачи. Это говорит об **актуальности** темы диссертации, а также о **соответствии** диссертации научной специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

**Практическая значимость** диссертации состоит в возможности использования разработанного метода для анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкций оболочечного типа, которые в процессе эксплуатации подвергаются нестационарным внешним воздействиям, что имеет практическую значимость для авиакосмической, автомобильной, судостроительной и других отраслей промышленности. Полученные результаты также будут полезны в качестве верификационных данных при разработке пакетов прикладных программ для численного расчета оболочечных элементов более сложной геометрической формы, работающих в условиях нестационарного контактного взаимодействия.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 21 11 20 19

**Научная новизна** результатов диссертации состоит прежде всего в построении метода решения класса нестационарных пространственных задач о нагружении упругой цилиндрической оболочки типа Тимошенко, в частности, в получении аналитическими методами пространственной нестационарной функции влияния для оболочки. Новыми являются постановка задачи о контакте оболочки с абсолютно твердым ударником, полученные для нее разрешающие соотношения, а также построенные численные решения нестационарных задач о нагружении оболочки внешним давлением и о ее контакте с твердым ударником.

**Достоверность научных результатов.** Положенные в основу решения пространственной нестационарной контактной задачи известные методы математики и механики деформируемого твердого тела, математически строгая постановка задачи, применение к решению апробированных математических методов и подходов, а также исследование сходимости полученных результатов обеспечивает достоверность результатов, опубликованных в диссертационной работе соискателя.

**Автореферат** дает четкое представление о диссертации и в полной мере отражает ее содержание. Сама диссертация грамотно оформлена и содержит достаточное количество иллюстраций.

#### **Содержание диссертационной работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 102 позиций. Содержание работы изложено на 109 страницах машинописного формата, включает 41 иллюстрацию.

**Во введении**, в соответствии с требованиями к содержанию и оформлению диссертационных работ, автором обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели диссертационного исследования и полученные соискателем результаты, обоснована достоверность, теоретическая и практическая значимость работы, перечислены положения, выносимые на защиту диссертационной работы, приведены сведения об апробации результатов диссертационного исследования и о публикациях по теме диссертационного исследования, обозначен личный вклад автора.

**В первой главе** проведен обзор и анализ работ, посвященных решению задач механики контактного взаимодействия, в частности, особое внимание уделено методам и результатам решения нестационарных контактных задач, а также задач контактной механики для тонких оболочек. Обзор достаточно

подробный и позволяющий сделать вывод о том, что поставленная соискателем задача является новой. Помимо литературного обзора, а в первой главе дана общая математическая постановка пространственных нестационарных контактных задач для упругой цилиндрической оболочки типа Тимошенко, поставлены начальные и граничные условия, а также обсуждаются условия контактирования такой оболочки с жестким индентором и возможность их линеаризации. Уже на этом этапе видна большая сложность выбранного соискателем объекта для исследования – модель оболочки, учитывающая сдвиговые деформации и описываемая системой линейных дифференциальных уравнений 10-го порядка, нестационарный характер контактирования, при котором область контакта заранее неизвестна и меняется во времени.

**Вторая глава** посвящена построению нестационарной функции влияния для цилиндрической оболочки и исследованию нестационарного движения цилиндрической оболочки под действием заданного внешнего давления. Для построения функции влияния использованы интегральные преобразования Лапласа и Фурье по продольной координате, а также разложения в ряды Фурье. В результате задача сведена к поиску изображений по Фурье и Лапласу коэффициентов ряда Фурье искомой функции влияния. Для перехода из пространства изображений по Фурье и Лапласу в пространство оригиналов, соискателем предложен и реализован оригинальный аналитический алгоритм, основанный на связи преобразования Фурье с рядом Фурье на переменном интервале. Следует отметить уверенное владение соискателем математическим аппаратом при проведении весьма сложных преобразований с целью получения результатов в аналитическом виде. Проведено сравнение с другими численно-аналитическими методами обращения, которое показало эффективность предложенного аналитического алгоритма. Основываясь на полученном соотношении для функции влияния, построено решение тестовых задач о воздействии на оболочку внешнего нестационарного давления и исследована сходимость результатов по числу удерживаемых членов ряда.

**В третьей главе** на основе полученного в предыдущей главе соотношения для функции влияния разработан и реализован алгоритм решения пространственной нестационарной контактной задачи для цилиндрической упругой оболочки и абсолютно твердого ударника,

ограниченного поверхностью, имеющей форму параболоида вращения. Рассмотрен случай нормального удара по боковой поверхности оболочки. Алгоритм основан на методе механических квадратур, согласно которому входящие в систему разрешающих уравнений интегральные операторы заменены их численными аналогами. Построены зависимости радиуса области контакта и результирующей контактной силы от времени, а также распределения контактных давлений и перемещений поверхности цилиндра в различные моменты времени.

**В заключении** приведены основные результаты диссертационной работы.

**Замечания** по работе.

1. Обзор литературы, приведенный в первой главе, является хотя и подробным, но не структурированным по типам рассмотренных задач (статические, квазистатические и динамические контактные задачи, задачи для полупространства, полосы и оболочки и т. д.), что затрудняет восприятие текста. Другим недостатком обзора является отсутствие в нем работ иностранных авторов.

2. Недостаточный анализ приведенных в третьей главе численных результатов. В частности, интересно объяснение минимума на графике зависимости контактной силы от времени (рис.3.3.3) и несимметричного характера распределения давлений и упругих перемещений оболочки (рис.3.3.4-3.3.17) несмотря на симметрию ударника, который представляет собой параболоид вращения.

3. Хотя постановка задачи учитывает влияние сил контактной реакции со стороны оболочки на скорость ударника, в представленных в третьей главе результатах расчета параметры взяты такие, что это влияние незначительно, и скорость ударника остается постоянной (рис. 3.3.1). Представляет интерес, как изменится решение задачи в случае, когда скорость ударника будет существенно меняться на протяжении взаимодействия под действием контактных сил.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации, которая представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне, по важной и актуальной проблеме теоретического исследования нестационарного контакта для упругой оболочки и жесткого ударника.

Результаты выполненных исследований полностью отражены в 10 публикациях автора, из них две работы в журналах, входящих в список ВАК РФ, и одна работа, входящая в базу данных SCOPUS, остальные 7 в прочих изданиях.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам, а ее автор, Митин Андрей Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Старший научный сотрудник ФГБУИ  
Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского  
Российской академии наук,  
доктор физико-математических наук

Маховская Ю.Ю.

21.11.2019

119526, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1, Институт проблем  
механики им. А.Ю. Ишлинского РАН  
телефон +7(905) 514-40-32,  
E-mail: makhovskaya@mail.ru

Подпись Маховской Юлии Юрьевны заверяю

*Начальник отдела кадров*

(подпись)

*Юрсеенко В.В.*

(Фамилия И.О.)

21.11.2019г

