

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Штуки Виктора Игоревича «Лучевой метод в исследованиях одномерных цилиндрических ударных волн в несжимаемой упругой и упруговязкопластической средах», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твёрдого тела

Многие технологические процессы связаны с использованием импульсных или ударных воздействий на материалы, которые приводят к распространению волновых поверхностей сильного и слабого разрывов, приводящих к изменению свойств и структуры материалов. Изучение нестационарных процессов деформирования в несжимаемых упругих и упруговязкопластических средах является весьма актуальной и одной из сложнейших задач среди прочих динамических задач в механике деформируемого твёрдого тела. Данные исследования, как правило, включают определение типа ударных волн и параметров, определяющих закономерности их распространения, а также анализ напряженно-деформированного состояния среды за их фронтами. **Актуальность** этих и других задач, рассмотренных в диссертации, обусловлена двумя факторами: широким использованием динамических технологических процессов в современном производстве изготовления и упрочнения изделий различного назначения, а также необходимостью разработки соответствующих приближенных аналитических методов исследования и численных алгоритмов расчета, позволяющих определять положение волнового фронта и вычислять интенсивности разрывов на них. Упомянутые задачи, связанные с распространением плоских ударных волн, достаточно хорошо изучены с использованием известных методов механики деформируемого твёрдого тела, и в частности, с применением лучевого метода. Однако изучение одномерных цилиндрических ударных волн в несжимаемых средах, чему и посвящена данная диссертационная работа, является практически важной и актуальной задачей. Её решение требует также и обобщения лучевого метода на рассматриваемый класс задач.

Для решения поставленных задач в диссертации используется обобщение лучевого метода, предложенного Бурениным А.А. и Россихиным Ю.А. в 1991 году для анализа ударных волн в нелинейно упругой среде, на случай распространения цилиндрических ударных волн в предварительно

деформированной несжимаемой упругопластической среде. Таким образом, дальнейшее развитие «нелинейного лучевого метода» и является главной **целью исследований** диссертанта. Для достижения поставленной цели автором решены следующие новые задачи: 1) с использованием лучевого метода определены основные динамические характеристики полей напряжений и деформаций при распространении поверхностей сильного разрыва в несжимаемой упруговязкопластической среде; 2) найдены зависимости скоростей движения возможных ударных волн от предварительных деформаций и изменяющихся интенсивностей разрывов; 3) разработаны алгоритмы и численные схемы расчетов, позволяющие на каждом временном интервале определять положения фронтов ударных цилиндрических волн и вычислять на них интенсивности разрывов; 4) решены частные задачи о деформировании несжимаемого упругого или упруговязкопластичного материала между двумя коаксиальными цилиндрами, при этом предварительное деформирование задается за счет скручивания.

Научная новизна результатов диссертации заключается в том, что впервые вычислены скорости распространения цилиндрических одномерных ударных волн в зависимости от предварительных деформаций и изменяющихся интенсивностей разрывов. Впервые получены приближенные аналитические и численные решения динамических краевых задач об ударном нагружении несжимаемых упругого и упруговязкопластического цилиндрических слоев. При этом соискателем разработаны численные алгоритмы, представляющие несомненную **практическую ценность**, поскольку они могут быть использованы при решении важных для практики задач высокоскоростного соударения, штамповки, поверхностного упрочнения изделий, пробивания отверстий и т.п. Потенциально результаты могут быть также использованы при расчете на ударные воздействия различных инженерных сооружений и техники, для создания которых используются новые композитные материалы с изменяемыми упруговязкопластическими свойствами.

Основные результаты диссертации опубликованы в пятнадцати научных работах, из них пять в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Результаты исследований прошли широкую апробацию на конференциях и семинарах различного уровня.

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

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы из 202 наименований. Написана грамотным математическим языком, что указывает на высокий уровень владения соискателем сложного математического аппарата, связанного с использованием лучевого метода для решения нелинейных динамических краевых задач, приводящих к распространению поверхностей сильного и слабого разрывов.

Достоверность изложенных в ней результатов не вызывает сомнений, ибо они получены с использованием апробированных другими авторами моделей несжимаемых упругих и упруговязкопластических материалов 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 оформления работы:

1) В первой главе приведены основные соотношения динамики несжимаемой среды, а также основы лучевого метода, применяемого для решения линейных и нелинейных краевых задач. Однако не все приведенные в этой главе соотношения снабжены ссылками на источники. Так, например, соотношения (1.27)-(1.35), (1.39)-(1.44) приведены практически без всяких ссылок на первоисточники, поэтому остается неясным, какие формулы автором взяты у других исследователей и какие получены самим автором.

2) В геометрических условиях совместности (1.30) автор приводит ковариантные компоненты метрического тензора $a_{\alpha\beta}$, однако в общем случае для криволинейной волновой поверхности в геометрическом условии совместности должны использоваться контравариантные компоненты $a^{\alpha\beta}$. Известно, что только в декартовой системе координат различие между ковариантными и контравариантными компонентами исчезает. Следует отметить, что этот недостаток был устранен в автореферате, где геометрическое условие совместности было приведено в правильном виде (7).

3) На странице 33 отмечено, что «обобщение условий совместности на случай произвольной системы координат было завершено в [48]», т.е. в статье Герасименко Е.А. и Рагозиной В.Е., опубликованной в 2004 году. Однако это не совсем так. Лучевой метод и соответствующие условия совместности для произвольной системы координат были предложены Россихиным Ю.А. и Шигиковой М.В. в

1995 году (см. статью “The ray method for solving boundary value problems of wave dynamics for bodies having curvilinear anisotropy”, Acta Mechanica, Vol.109, P.49-64).

4) В главе 3 изучается распространение поверхностей разрыва в упруговязкопластической среде. Однако не приводится обоснование использованной модели вязкоупругости и вклад слагаемых, отвечающих за вязкоупругие свойства, не обсуждался. Возникает также вопрос, возможен ли в исследуемой автором модели переход к упругопластической среде?

5) В главе 4 для учета температурных эффектов автор использовал закон Фурье, что привело к решению «смешанной» системы уравнений, включающих в себя уравнения гиперболического и параболического типа. На сколько обоснованным является закон Фурье в задачах, приводящих к распространению поверхностей сильного разрыва? Если бы диссертант взял модифицированный закон Максвелла (или более сложную обобщенную теорию термоупругости), который учитывает распространение тепла с конечной скоростью, то имел бы дело только с системой гиперболических уравнений.

6) Лучевой метод является одним из методов теории возмущений, а именно методом прифронтальной асимптотики. Как следствие, ему присущи все достоинства и недостатки методов возмущений. В диссертации не обсуждаются вопросы о сходимости лучевых рядов и об их равномерной пригодности. Отсутствует обоснование числа членов лучевого ряда, необходимого для получения достоверного решения, чтобы продвинуться либо по времени, либо вглубь возмущенной области. Тут на помощь мог бы прийти метод прифронтальной регуляризации лучевых разложений, предложенный Россихиным Ю.А. в 1991 году в его докторской диссертации и с успехом примененный для решения различных краевых задач при помощи лучевого метода.

7) В качестве технического замечания следует отметить замеченные опечатки, пунктуационные ошибки (стр. 3-8, 24-30, ..., 90-96, 107, 111) и стилистические неточности.

Приведенные замечания не снижают научную ценность результатов работы, не отрицают ее высокой оценки и могут рассматриваться как рекомендации для дальнейших исследований. Считаю необходимым еще раз отметить, что рассмотренная в диссертации задача является *чрезвычайно сложной*, и построение «идеальной» модели, которая бы учитывала все эффекты, вызванные ударными воздействиями и приводящие к

распространению цилиндрических ударных волн в нелинейно упругих, термоупругих и упруговязкопластических материалах, выходит далеко за рамки кандидатской диссертации.

Заключение. Диссертационная работа «Лучевой метод в исследованиях одномерных цилиндрических ударных волн в несжимаемой упругой и упруговязкопластической средах» вносит существенный вклад в развитие лучевого метода и отвечает пунктам

«2. Теория моделей деформируемых тел с простой и сложной структурой.

5. Теория упругости, пластичности и ползучести.

7. Постановка и решение краевых задач для тел различной конфигурации и структуры при механических, электромагнитных, радиационных, тепловых и прочих воздействиях, в том числе применительно к объектам новой техники.

8. Математические модели и численные методы анализа применительно к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования» паспорта специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Данная диссертационная работа представляет собой научно-квалификационный труд, который удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Штука Виктор Игоревич, достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент,
главный научный сотрудник
научно-исследовательского центра по
фундаментальным исследованиям в области
естественных и строительных наук ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный технический
университет»,
доктор физ.-мат. наук, профессор



Шутикова Марина Вячеславовна
19.01.2018 г.

Адрес: Воронеж 394006, ул. 20-летия Октября 84
Телефон: 4732-714220
Электронная почта: mvs@vgasu.vrn.ru