

ОТЗЫВ

официального оппонента Медведева Сергея Павловича на диссертацию Нечунаева Алексея Федоровича «Моделирование процессов высокоскоростного удара и взрыва методом частиц с учетом фазовых превращений», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твёрдого тела.

Актуальность темы

В настоящее время весьма актуальным является выявление физических закономерностей высокоскоростного удара и взрыва с целью контроля и снижения опасности в различных областях науки и техники. Результаты, полученные А.Ф. Нечунаевым, имеют непосредственное отношение к трем практически важным направлениям.

Во-первых, исследование подавления энергии компактных твердых тел (фрагменты метеоритов, космический мусор и т.п.), разогнанных в космическом пространстве до сверхвысоких скоростей и способных оказать опасное воздействие на космические аппараты и орбитальные станции. Так называемые щиты Уиппла достаточно эффективно гасят энергию компактного ударника. В то же время, если рассматривать первый экран щита Уиппла, как самостоятельную защиту, то поиск эффективных способов защиты именно первым экраном от микрочастицы, летящей с высокой скоростью (до 70 км/с), все более актуален при интенсивных исследованиях космоса, поскольку кроме микрометеороидов космического происхождения на различных околоземных орбитах находится большой объем техногенного космического мусора. Высокоскоростной удар сопровождается целым спектром физических процессов, важнейшими из которых являются плавление материалов ударника и преграды, распространение упруго-пластических волн, а также испарение материалов при определенных предельных скоростях. Вычислительное моделирование ударно-волнового деформирования и разрушения при ударе компактного ударника в преграду позволяет получить решения для широкого класса задач механики деформируемого твердого тела, что существенно снижает расходы на соответствующие дорогостоящие эксперименты. Таким образом, тема исследования А.Ф. Нечунаева, направленная на изучение физических процессов и свойств материалов в условиях

высокоскоростного нагружения с учетом фазовых превращений, является, несомненно, актуальной.

Второе актуальное направление диссертации Нечунаева А.Ф. представлено задачами совершенствования бронезащиты от кумулятивных боеприпасов. Современные высокоэффективные типы бронезащиты (динамическая защиты и др.) не всегда можно применить, например, на легкобронированной технике. Появление новых типов противотанковых боеприпасов изменило подход к пассивной броневой защите. Приоритетным направлением ее совершенствования стало использование разнесенного бронирования (на некотором расстоянии устанавливается ряд броневых листов) и комбинированной брони, которая состоит из нескольких слоев различных материалов: стекло- и углеволокна, легких сплавов, керамики, стали, пластмасс, материалов высокой плотности (обедненный уран) и т.д. Для поиска эффективных сочетаний материалов комбинированной брони весьма полезно использовать вычислительные модели проникания удлиненного ударника-стержня (прообраза кумулятивной струи). Такие модели могут быть построены с учетом плоского напряженного состояния, и, в частности, с использованием метода частиц, как в диссертации А.Ф. Нечунаева.

Третье важное направление диссертации представлено задачей защиты и предупреждение террористических актов в многолюдных местах. Следует учитывать, что современные методы детектирования взрывчатых веществ малоэффективны в условиях потока людей. Дополнительные препятствия для распространения ударной волны в полузамкнутом пространстве в виде поглощающих материалов представляют эффективное решение для уменьшения последствий террористических подрывов. Для проектирования высокоэффективного шлюза, подавляющего взрывную волну, для проработки его геометрических характеристик, необходима универсальная вычислительная модель, учитывающая как отражение волн от стенок, так и поглощение волн материалом стенки. Разработанная А.Ф.Нечунаевым вычислительная модель позволяет не только анализировать динамику взрывной волны в больших шлюзах, но исследовать малые компактные устройства, предназначенные для обезвреживания бесхозных предметов, сумок, пакетов и т.д.

Основные результаты и научная новизна

1. Для задачи высокоскоростного удара сферического ударника автором определены параметры модели материала в форме Джонсона-Кука, которая учитывает возникновение жидкой фазы материала – материал плавится в зоне контакта двух тел, в зоне взаимодействия ударника с преградой, когда ударник срабатывается о преграду. Результаты применения вычислительной модели хорошо согласуются с результатами известных экспериментов по визуализации с лазерной подсветкой.

2. В диссертации выявлено, что игольчатая структура значительно эффективнее противостоит высокоскоростному удару по сравнению с монолитом (пробой монолита наблюдается при большей начальной скорости). Показано, что динамика формирования и форма облака осколков при отклоненном ударе на 5 градусов качественно не отличается от наблюдаемой при нормальном ударе.

3. Построена вычислительная модель распространения ударной волны внутри шлюза, стенки которого содержат демпфирующую газожидкостную среду. Выявлена динамика поглощения энергии взрыва двухфазной средой, а также частичного отражения ударных волн от стенок. Разработанная методика позволяет оптимизировать конфигурацию шлюза и параметры демпфирующего наполнителя. Показано, что амплитудные значения по давлению ударной волны на периферии за стенкой шлюза в 4 раза ниже по сравнению с такими же значениями давления в условиях открытого подрыва. Проведено сравнение вычислительного эксперимента, когда шлюз представлен средой плотностью 600 кг/м^3 с экспериментом, когда шлюз представлен абсолютно жесткой стенкой. Повышенные значения по виртуальным датчикам давления в случае расчета с жесткой стенкой говорят о высокой эффективности принятой для моделирования двухфазной среды.

Перечисленные результаты ранее в литературе не встречались, что говорит об их научной новизне. Дополнительным важным результатом диссертационной работы является следующее. Автором показано, что при высокоскоростном ударе в разнесенную преграду несферическим ударником (цилиндрической или кубической формы), когда удар происходит ребром ударника к преграде, подавление энергии ударника второй преградой не может быть достигнуто простым увеличением расстояния между первой и второй преградой. Причиной этого эффекта является то, что облако осколков расширяется очень неравномерно –

основная масса осколков от пробития первой преграды находится на оси удара.

Достоверность

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается:

1. Совпадением с менее, чем 4% ошибкой (по геометрии и скорости) эволюции облака осколков после пробития тонкой преграды в вычислительном эксперименте с эволюцией облака осколков в известном натурном эксперименте;
2. Использованием в вычислительных экспериментах заранее выверенных параметров моделей при сравнении с результатами натуральных экспериментов;
3. Использованием в методе частиц известной системы уравнений механики сплошной среды с такими параметрами сглаживания, при которых наблюдается наилучшее совпадение результатов вычислительных и натуральных экспериментов;
4. Хорошим согласием результатов вычислительного моделирования высокоскоростного удара куба 2 x 2 x 2 мм с результатами удара куба, проведенного на рельсотроне С.А.Поняевым (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург), которое представлено в следующей публикации: S.A. Poniaev, R.O. Kurakin, A.I. Sedov, S.V. Bobashev, B.G. Zhukov, A.F. Nechunaev, Hypervelocity impact of mm-size plastic projectile on thin aluminum plate, Acta Astronaut. 135 (2017) 26-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.11.011>;
5. Использованием в методе частиц в ячейках широко известных и зарекомендовавших себя уравнений Эйлера в интегральной форме, дополненных уравнением неразрывности, уравнением баланса полной энергии, уравнением связи полной и внутренней энергий и уравнением состояния идеального газа. При этом, для правильного построения вычислительной модели в диссертации автор описывает верификационный расчет.

Результаты А.Ф. Нечунаева хорошо обоснованы, расчетные зависимости и визуализация полей течения и траекторий дисперсной среды, полученные в результате применения разработанных вычислительных моделей с минимальными погрешностями согласуются с известными результатами натуральных экспериментов по высокоскоростному удару.

Практическая значимость

Практическая значимость диссертационной работы А.Ф. Нечунаева, заключается в том, что полученный результат по эффективности игольчатой структуры создает научную основу инновационной технологии защиты для спутников и МКС, существенно превышающей по характеристикам существующую. Такого рода защитные экраны могут быть достаточно легкими и эффективными в условиях будущих межпланетных перелетов.

Кроме этого, представленную в диссертации численную модель распространения ударной волны внутри шлюза можно применять для проектирования взрывозащитного шлюза, который эффективно гасит взрывную волну по сравнению с открытым подрывом. В связи с этим, представляется возможность проводить проектирование аналогичных шлюзов такого рода для транспортных терминалов с различной геометрией, толщиной стенки, с варьированием плотностью заполняющей стенки шлюза двухфазной среды. Как показано в диссертации, сжатие газожидкостной среды, которое сложно моделировать напрямую, можно представлять заданием диспергента в виде эквивалентного газа.

Также, в диссертации показано, что при детонации сферического заряда внутри водяной сферы передача кинетической энергии воде, когда между взрывчатым веществом и водой присутствует прослойка с существенно сниженной плотностью, в 2 раза ниже по сравнению с постановкой, когда такая прослойка отсутствует. Этот факт открывает перспективы создания целой линейки небольших мобильных устройств для подавления взрыва с прослойкой пониженной плотности внутри. Такие устройства можно применять для безопасного хранения подозрительных сумок, рюкзаков, пакетов и т.д. в местах скопления людей.

Апробация работы

Результаты диссертации достаточно полно опубликованы в печати в виде 6 работ, в том числе 4 статьи опубликованы в изданиях из списка, рекомендованного ВАК, при этом, 3 издания включены в систему цитирования наукометрической базы Scopus. Результаты исследований докладывались на 9 конференциях, семинарах, симпозиумах и известны специалистам. Таким образом, диссертационная работа А.Ф. Нечунаева, в достаточной мере опубликована и апробирована.

Диссертация и автореферат написаны ясным и понятным научным языком. Содержание диссертации полностью раскрывает постановку задачи, методы ее решения и полученные на их основе результаты. Оформление диссертации и автореферата в основном соответствует общепринятым требованиям.

Замечания

По существу и по оформлению диссертационной работы А.Ф. Нечунаева можно сделать следующие замечания:

1. Тексты рукописи содержат небольшое количество орфографических и синтаксических ошибок.
2. Имеются повторения источников в приведенной библиографии (например ссылки на литературу [40] / [41], [24] / [25]).
3. Для иллюстрации эффективности вычислительной модели результаты экспериментов и расчетов на рис.4,5 целесообразно привести в одном масштабе.
4. Таблицы 1 – 3 повторяются в главе 3 как таблицы 4 – 6. Это является избыточной информацией, достаточно было сослаться на таблицы 1 – 3.
5. На с.16 после формулы (26) имеется ссылка на некорректный номер таблицы, которой не существует. По всей видимости, имелись в виду таблицы 1-3.
6. Текст рукописи содержит местами неотформатированные абзацы, несколько неотформатированных страниц. Сортировка списка литературы не совсем корректная, по алфавиту выполнена частично. В списке литературы имеются неотформатированные участки, есть источники, в которых неполное описание.
7. На стр.47 употреблен неудачный термин «...облачного облака.»
8. На стр.88 газожидкостная среда с плотностью 600 кг/м^3 обозначена как пена. По-видимому, пены с такой высокой плотностью не существует и данная двухфазная среда представляет собой систему жидкость – пузырьки газа.
9. На стр.89 не упоминается с помощью какого пакета рассчитывается задача детонации ВВ внутри полой сферы из воды.
10. Вероятно равновесное приближение при расчете двухфазной среды в шлюзе в главе 4 дает максимальное ослабление ударной волны, по сравнению с отсутствием равновесия. Однако, этот вопрос не обсуждается и, возможно, станет предметом будущих исследований.

Высказанные замечания не затрагивают существа научных результатов диссертации А.Ф. Нечунаева.

Заключение

Полученные автором результаты представляются достоверными, выводы и заключения в достаточной степени обоснованными. Основное содержание диссертации опубликовано в ведущих международных изданиях. Работа апробирована. Автореферат правильно и полно отражает суть диссертации. Содержание диссертации соответствует специальности 01.02.04.

Диссертационная работа А.Ф. Нечунаева является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение задач удара и ударно-волновых нагрузок с учетом эффектов разрушения и пластического деформирования тел при наличии фазовых превращений в условиях сверхвысоких скоростей начального взаимодействия. Задачи имеют существенное значение для механики деформируемого твердого тела. Таким образом, диссертация отвечает в полном объеме требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Нечунаев Алексей Федорович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 — механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,

заведующий лабораторией

гетерогенного горения

Федеральное государственное бюджетное

учреждение науки

Институт химической физики им. Н.Н. Семенова

Российской академии наук (ИХФ РАН)

14 мая 2018 г.

Медведев Сергей Павлович

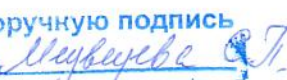
Адрес: 119991, г. Москва, ул. Косыгина 4.

т. + 7 (495) 939-73-02, ф.: +7 495 651-21-91

e-mail: s_p_medvedev@chph.ras.ru

сайт: <http://chph.ras.ru/>



Собственноручную подпись
сотрудника 
удостоверяю
Секретарь 