

Отзыв

официального оппонента о диссертационной работе

Батуева Станислава Павловича

«Численное моделирование поведения металлических и неметаллических конструкций при ударных и импульсных нагрузках», представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела

Поведение твердых тел при динамических нагрузках в широком диапазоне кинематических и геометрических условий представляет собой сложную задачу механики. Трудности, связанные с теоретическим изучением процесса разрушения и деформирования материалов при ударе аналитическими методами, заставляют вводить ряд упрощающих гипотез в ряде случаев значительно искажающих реальную картину. В связи с этим ведущая роль в исследовании явлений, связанных с высокоскоростным взаимодействием твердых тел, принадлежит, в настоящее время, экспериментальным и численным исследованиям. Исследования повреждения материалов в условиях удара показывают, что с изменением условий взаимодействия меняются механизмы разрушения. Эксперименты убедительно свидетельствуют, что в ряде случаев итоговое разрушение определяется комбинацией нескольких механизмов. Однако в экспериментах не удастся проследить последовательность, время действия и вклад различных механизмов разрушения. Кроме того, разрушения, полученные на начальных стадиях процесса, не всегда могут быть идентифицированы при анализе итогового повреждения материалов. Поэтому особую актуальность в изучении ударного взаимодействия приобретает численное моделирование. Вычислительный эксперимент в сравнении с экспериментом физическим имеет ряд преимуществ: позволяет получить информацию о полях напряжений, скоростей, характере разрушения материала на различных стадиях; так же вычислительный эксперимент значительно дешевле. Численное моделирование не заменяет физический эксперимент, но дополняет его. Основными проблемами при численном моделировании являются создание адекватных моделей поведения материалов при динамических нагрузках, и разработка методик расчета, позволяющих максимально учитывать реальные условия нагружения.

Поэтому, с учетом ориентации России в области высоких технологий на импортозамещение, актуальность диссертационной работы Батуева С.П. обусловлена потребностью в создании высокопроизводительного вычислительного комплекса, позволяющего исследовать и прогнозировать поведение перспективных материалов и конструкций, получении новых знаний о свойствах материалов при динамических нагрузках.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов и заключения. Общий объем диссертации 141 страница, включая 46 рисунков, 6 таблиц, 144 библиографических ссылки и 4 приложения.

Во введении обоснована актуальность исследуемой в диссертации проблемы, сформулированы цель и задачи работы, перечислены полученные новые результаты, их научно-практическая ценность, приведены положения, выносимые на защиту, а также обоснованность и достоверность результатов и выводов.

Первая глава посвящена анализу и систематизации научных источников по экспериментальным и численным исследованиям поведения твердых тел при ударно-волновом воздействии. Рассмотрены отечественные и зарубежные литературные данные, связанные с исследованием поведения материалов при динамическом нагружении. Значительное внимание уделяется исследованиям анизотропных материалов, а также таких конструкционных материалов как бетон и железобетон.

Во втором разделе диссертации приведена физико-математическая постановка задач ударного нагружения. Представлены основные уравнения математических моделей поведения материалов, подробно описана методика расчета и используемые алгоритмы. Приведена верификация разработанных моделей и численной методики.

В третьем разделе представлены результаты экспериментальных и численных исследований взаимодействия металлических ударников из стали и алюминия с разнесенными преградами. Получены данные о деформации и разрушении металлов при скоростях взаимодействия 50–3000 м/с. Рассмотрено взаимодействие стальных ударников различной формы, но одинаковой массы с ручной противотанковой гранатой. Произведено сопоставление расчетных данных с полученными экспериментальными результатами. Установлено, что форма поражающих элементов оказывает значительное влияние на их проникающую способность и на механизмы разрушения, как ударника, так и преграды. Показано, что наибольшую проникающую способность имеет ударник в форме удлиненного цилиндра. Установлено, что для рассмотренных поражающих элементов максимальная проникающая способность достигается при скорости 1400 м/с.

В четвертом разделе представлены результаты комплексного экспериментально-численного исследования разрушения конструкций из бетона и фибробетона при динамическом воздействии. Исследовано влияние металлического и неметаллического армирования и наличия фиброволокна на прочностные характеристики бетонных балок. Выявлены схемы образования разрушения: при динамических нагрузках, возникновение трещин начинается с тыльной поверхности бетонных и железобетонных балок. Установлено, что применение в изгибаемых конструкциях стеклопластиковых стержней, позволяет увеличить их несущую способность. Исследована динамика напряженно-деформированного состояния и разрушения в защитной оболочке атомной

станции (АС). Установлено, что при падении самолета на защитную оболочку реактора АС разрушение инициируется на свободных поверхностях сотовой конструкции под действием растягивающих напряжений, которые возникают при отражении волны сжатия от свободных поверхностей сот. С течением времени конструкция продолжает разрушаться под действием растягивающих напряжений.

В заключении работы представлены основные результаты и выводы, полученные в ходе проведенных исследований.

К наиболее значимым *научным результатам работы*, полученным соискателем, можно отнести:

- модель поведения композитов на основе бетона при динамических нагрузках, учитывающая их специфические свойства – разномодульность упругих и прочностных свойств, пластичность, зависимость прочностных характеристик от скорости деформирования;

- алгоритм численного расчета, основанный на методе конечных элементов, позволяющий исследовать свойства и закономерности поведения широкого класса материалов и конструкций при динамических нагрузках в полной трехмерной постановке;

- исследование влияния скорости и формы поражающих элементов на их проникающую способность при взаимодействии с кумулятивным снарядом, соискателем был рассмотрен диапазон скоростей 800-2000 м/с и сделан вывод о максимальной проникающей способности для рассмотренных поражающих элементов, которая достигается при скорости 1400 м/с;

- исследование влияния металлического и неметаллического армирования и наличия фиброволокна на несущую способность изгибаемых элементов конструкций. Выявление схем зарождения и развития разрушения. Исследование влияния анизотропного стеклопластикового армирования на несущую способность и деформативность изгибаемых элементов.

- исследование динамики напряженно-деформированного состояния в защитной оболочке атомной станции, выявление особенностей её разрушения.

Практическая значимость. Работа получила поддержку Российского фонда фундаментальных исследований. Результаты, представленные в диссертации, используются в Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». Программный комплекс EFES, разработанный на основе, представленной в диссертации методики, внедрен на АО НПК «Конструкторское бюро машиностроения» г. Коломна.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию, отражает актуальность темы исследования, его цель и задачи, научную новизну, практическую значимость,

обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов, сформулированных в диссертации.

Публикация основных результатов диссертации в научной печати. По теме диссертации соискателем опубликовано 27 работ, в том числе 8 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (из них 1 статья в российском научном журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science). Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ. В опубликованных работах достаточно полно изложены материалы диссертационного исследования.

По содержанию диссертации необходимо сделать следующие замечания:

1. В пункте «Практическая и теоретическая ценность работы» автореферата присутствуют ссылки на (прил. А) и (прил. Б), которые отсутствуют в автореферате, но есть в самой диссертации;

2. В главе 2 представлен авторский алгоритм расчета контактной границы “элемент-элемент” в качестве достоинства объявлена скорость его работы. При этом в диссертации не представлено количественное значение ускорения задачи после применения этого алгоритма;

3. В работе достаточно подробно рассмотрены модели деформирования и разрушения анизотропных материалов, применение уравнения состояния и процесса, но полностью отсутствуют данные (кроме главы 4) по константам этих моделей для исследуемых материалов. В то время как определение констант для материалов – это отдельная научная задача;

4. Физико-механические характеристики материалов, представленные в таблице 4.1, не согласованы между собой. В частности скорость звука и коэффициент Пуассона с модулем Юнга.

Сделанные замечания не снижают положительной оценки диссертационной работы.

Заключение. Диссертационная работа С.П. Батуева является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на хорошем квалификационном уровне. Автору удалось достичь поставленных целей и решить научную задачу численного исследования поведения и свойств перспективных материалов (в том числе анизотропных) и конструкций при динамических нагрузках в трехмерной постановке, имеющую значение для развития материаловедения, механики деформируемого твердого тела и численного моделирования. Поэтому диссертация «Численное моделирование поведения металлических и неметаллических конструкций при ударных

и импульсных нагрузках» удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела, а ее автор Батуев Станислав Павлович заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент

Заместитель директора по научной работе,

Заведующий лабораторией №11

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт теоретической и прикладной механики

Сибирского отделения Российской академии наук

630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, д. 4/1,

тел.: (383) 330-38-80,

admin@itam.nsc.ru;

<http://www.itam.nsc.ru/>

кандидат физико-математических наук,




подпись

Евгений Иванович Краус

«28» августа 2017 г.

Подпись Е. И. Крауса удостоверяю
Ученый секретарь ИТПМ СО РАН


подпись

Юлия Владимировна Кратова