

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 22 сентября 2017 года публичной защиты диссертации Батуева Станислава Павловича «Численное моделирование поведения металлических и неметаллических конструкций при ударных и импульсных нагрузках» по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

На заседании присутствовали 19 из 26 членов диссертационного совета, из них 5 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела:

1.	Христенко Юрий Федорович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р техн. наук	01.02.04
2.	Васенин Игорь Михайлович, заместитель председателя диссертационного совета	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
3.	Пикущак Елизавета Владимировна, ученый секретарь диссертационного совета	канд. физ.-мат. наук	01.02.05
4.	Архипов Владимир Афанасьевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
5.	Биматов Владимир Исмагилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
6.	Бубенчиков Алексей Михайлович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
7.	Бутов Владимир Григорьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
8.	Ворожцов Александр Борисович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
9.	Глазунов Анатолий Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
10.	Зелепугин Сергей Алексеевич	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
11.	Крайнов Алексей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
12.	Люкшин Борис Александрович	д-р техн. наук	01.02.04
13.	Прокофьев Вадим Геннадьевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
14.	Скрипняк Владимир Альбертович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
15.	Старченко Александр Васильевич	д-р физ.-мат. наук	01.04.14
16.	Тимченко Сергей Викторович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
17.	Черепанов Олег Иванович	д-р физ.-мат. наук	01.02.04
18.	Шрагер Геннадий Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.02.05
19.	Шрагер Эрнст Рафаилович	д-р физ.-мат. наук	01.04.14

В связи с невозможностью присутствия на заседании председателя диссертационного совета доктора физико-математических наук, профессора Гришина Анатолия Михайловича по его письменному поручению заседание провёл заместитель председателя диссертационного совета доктор технических наук, старший научный сотрудник Христенко Юрий Федорович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить С.П. Батуеву учёную степень кандидата физико-математических наук.

Заключение диссертационного совета Д 212.267.13
на базе федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства образования и науки Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22.09.2017, № 322

О присуждении **Батуеву Станиславу Павловичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Численное моделирование поведения металлических и неметаллических конструкций при ударных и импульсных нагрузках»** по специальности **01.02.04** – Механика деформируемого твёрдого тела принята к защите 04.07.2017, протокол № 317, диссертационным советом Д 212.267.13 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель **Батуев Станислав Павлович**, 1989 года рождения.

В 2012 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В 2016 г. очно окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет».

Работает в должности старшего преподавателя кафедры прикладной математики в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре прикладной математики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, **Радченко Павел Андреевич**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра прикладной математики, доцент.

Официальные оппоненты:

Пономарев Сергей Васильевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», лаборатория 23 Научно-исследовательского института прикладной математики и механики, заведующий лабораторией

Краус Евгений Иванович, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория № 11, заведующий лабораторией, заместитель директора по научной работе

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Национальный исследовательский Томский политехнический университет**», г. Томск, в своем положительном отзыве, подписанном **Светашковым Александром Андреевичем** (доктор физико-математических наук, профессор, кафедра теоретической и прикладной механики, профессор), указала, что такие материалы, как металлы, бетоны и композиты, а также конструкции из них нашли широчайшее применение в строительстве, машиностроении и ряде других отраслей. Исследование их поведения, свойств и напряженно-деформированного состояния при импульсных

нагрузках создает необходимую основу для их успешного производства и применения. При разработке новых конструкций, помимо анализа поведения отдельных элементов при различных видах воздействия, необходим также анализ поведения конструкции в целом. Потребность реализации высокопроизводительного алгоритма, численной методики и методов, позволяющих исследовать и прогнозировать поведение широкого класса материалов и конструкций при динамическом нагружении, обусловила актуальность диссертационной работы С.П. Батуева. Автором создана методика численного расчета в трёхмерной постановке, позволяющая исследовать свойства и поведение широкого класса материалов и конструкций при динамических нагрузках, описывать процессы разрушения в исследуемых материалах и конструкциях; реализован уникальный алгоритм расчета контактных границ, корректно работающий со сложной геометрией; исследовано влияние металлического и неметаллического армирования, наличия фиброволокна на прочностные характеристики бетонных балок, выявлены схемы зарождения и развития разрушения; исследована динамика напряженно-деформированного состояния и поведение защитной оболочки атомной станции, установлено, что при падении самолета на защитную оболочку реактора атомной станции разрушение инициируется на свободных поверхностях сотовой конструкции под действием растягивающих напряжений; исследовано влияние анизотропной стеклопластиковой арматуры на несущую способность изгибаемых элементов конструкций; в трехмерной постановке исследовано влияние скорости и формы поражающих элементов на проникающую способность. Разработанные в рамках диссертации численные модели и вычислительный алгоритм могут быть применены при исследовании свойств и поведения широкого класса материалов (включая композиционные и анизотропные) и конструкций при динамических нагрузках, при описании процессов разрушения в исследуемых материалах и конструкциях. Разработанная методика и алгоритм расчета могут быть использованы в проектных и научно-исследовательских организациях.

Соискатель имеет 27 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 27 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 8

(из них 1 статья в российском научном журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science), свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ – 1, статей в зарубежных научных журналах, индексируемых Web of Science и / или Scopus – 9, в сборниках материалов международных и всероссийских конференций – 9. Общий объем публикаций 13,81 п.л., авторский вклад – 3,67 п.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные 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:

1. Радченко П. А. Моделирование разрушения железобетонных конструкций при ударных нагрузках / П. А. Радченко, **С. П. Батуев**, В. С. Плевков, А. В. Радченко // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 6 (62). – С. 40–48. – 1,16 / 0,29 п.л.

2. Радченко А. В. Численное исследование влияния анизотропии физико-механических свойств на разрушения ортотропных композитов при ударе / А. В. Радченко, П. А. Радченко, **С. П. Батуев** // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 3. – С. 31–40. – 1,16 / 0,39 п.л.

в переводной версии журнала:

Radchenko A. V. Numerical study of the influence of anisotropy of physicomachanical properties on the impact fracture of orthotropic composites / A. V. Radchenko, P. A. Radchenko, **S. P. Batuev** // Russian physics journal. – 2015. – Vol. 58, is. 3. – P. 319–329. – DOI : 10.1007/s11182-015-0501-1

3. Радченко П. А. Численное и экспериментальное исследование разрушения разнесенных преград при ударе / П. А. Радченко, **С. П. Батуев**, А. В. Радченко, А. М. Тукаев // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. – 2016. – Т. 21, № 3. – С. 1278–1281. – DOI : 10.20310/1810-0198-2016-21-3-1278-1281. – 0,46 / 0,12 п.л.

На автореферат поступило 6 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **В. В. Белов**, д-р техн. наук, главный строитель технического управления АО Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт энергетических технологий «АТОМПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург, *с замечаниями*: в тексте автореферата не оговаривается корректность математической постановки задачи, в частности, выполнимость постулата Друкера и законов термодинамики; не приводятся сведения об используемых регуляризаторах решения при скачкообразно изменяющихся характеристиках бетона (фибробетона); в целом отсутствует описание алгоритмов и параметров решения нелинейных задач; нет анализа внутренней сходимости решения (например, доказательств отсутствия аномальной зависимости решения от вариации исходных данных, размеров и формы КЭ); не ясно, за счет чего достигается острая локализация деформаций в трещинах бетона.
2. **В. М. Косенков**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., старший научный сотрудник отдела Импульсной обработки металлических материалов Института импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев, *с замечанием*: в автореферате не указана зависимость динамической прочности материалов от скорости их деформации.
3. **О. Б. Наймарк**, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий лабораторией физических основ прочности Института механики сплошных сред УрО РАН – филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, г. Пермь, и **М. В. Банников**, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории физических основ прочности Института механики сплошных сред УрО РАН – филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, г. Пермь, *с вопросом* о причине расхождения по глубине кратера во второй преграде, которое составило 20 %.
4. **Р. Р. Балохонов**, д-р физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории механики структурно-неоднородных сред Института физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, *с замечаниями*: не описана модель анизотропного материала и неясно, где она применялась; использование трения на контактных поверхностях могло бы уменьшить расхождение результатов моделирования с экспериментом по диаметру и глубине кратера.
5. **С. В. Мочалов**, канд. техн. наук, первый заместитель

генерального директора – технический директор АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай», г. Бийск Алтайского края, *без замечаний*.

6. **В. Г. Новиков**, д-р техн. наук, заместитель начальника научно-теоретического отделения АО «Научно-производственная корпорация «Конструкторское бюро машиностроения», г. Коломна, **А. М. Тукаев**, начальник сектора динамики старта отдела 122 научно-теоретического отделения АО «Научно-производственная корпорация «Конструкторское бюро машиностроения», г. Коломна, **А. П. Шабалкин**, д-р техн. наук, ученый секретарь научно-технического совета АО «Научно-производственная корпорация «Конструкторское бюро машиностроения», г. Коломна, *с замечаниями*: нет пояснений о личном вкладе автора в используемый расчетный алгоритм и компьютерную программу; не приведены данные, характеризующие динамическую прочность исследованных металлических и композитных материалов, и не показано их отличие от значений, свойственных квазистационарным условиям нагружения; в работе встречаются опечатки и описки.

В отзывах отмечается, что разработка математических моделей и методов численного моделирования для прогнозирования механического поведения твердых тел в условиях высокоэнергетических воздействий составляет важное направление в рамках фундаментальной проблемы создания новых материалов с низким удельным весом и высокими характеристиками прочности и пластичности. В этом смысле работа С.П. Батуева, где представлены численная модель и алгоритм для решения динамических контактных задач механики и исследованы закономерности деформирования и разрушений упруго-хрупких и пластичных материалов и конструкций при ударе и импульсном нагружении, является актуальной. Среди рассмотренных тел выступают стратегически важные объекты и конструкции, такие как поражающие элементы, выпускаемые комплексом активной танковой защиты, реактивная противотанковая граната, ячеистая оболочечная конструкция атомной станции. К достоинству предложенной модели можно отнести достаточную полноту учета основных свойств материалов и физических явлений, сопровождающих взаимодействие ударников с композитными элементами конструкций. Кроме того, необходимо подчеркнуть научную новизну

и прикладную роль предлагаемой модели динамического сопротивления бетона и фибробетона. Комплекс прикладных программ, созданный на основе разработанных моделей, может быть использован при решении задач оптимизации физико-механических свойств перспективных материалов при динамических нагрузках. Широкая область применения разработанных автором алгоритмов и программного комплекса способствует обеспечению надежности и безопасности зданий и сооружений (для инженерных систем в строительстве) и эффективности образцов вооружения (для применения в области обеспечения обороноспособности). Полученные автором результаты могут использоваться в проектных работах в области строительства защитных конструкций и при разработке новых образцов вооружения – комплексов активной защиты объектов от атакующих противотанковых средств.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **С. В. Пономарев** является известным специалистом в вопросах численного исследования деформирования и разрушения твёрдых тел, компьютерного моделирования и исследования пьезоэлектрических материалов, исследования напряженно-деформированного состояния оболочечных конструкций; **Е. И. Краус** является известным специалистом в вопросах численного исследования фундаментальных закономерностей поведения перспективных материалов при динамических и ударно-волновых нагружениях; **Национальный исследовательский Томский политехнический университет** известен своими достижениями в области механики деформируемого твёрдого тела, перспективных материалов и технологий, конструкций и сооружений, математического моделирования и экспериментального изучения процессов контактного взаимодействия.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

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

создан алгоритм численного расчета для исследования свойств и закономерностей поведения широкого класса материалов и конструкций при динамических нагрузках в трехмерной постановке;

исследовано влияние металлического и неметаллического армирования, наличия фиброволокна на прочностные характеристики бетонных балок при кратковременных нагрузках; *выявлены* схемы зарождения и развития разрушения; *установлено*, что при рассмотренных условиях нагружения возникновение трещин начинается с тыльной поверхности балок в результате действия растягивающих напряжений;

исследована динамика напряженно-деформированного состояния и поведение защитной оболочки атомной станции при импульсном воздействии; *установлено*, что при рассмотренных условиях нагружения разрушение оболочки инициируется на свободных поверхностях сотовой конструкции под действием волн разгрузки, в дальнейшем разрушение развивается за счет растягивающих напряжений;

исследовано влияние анизотропной стеклопластиковой арматуры на несущую способность изгибаемых элементов конструкций; *установлено*, что при динамических воздействиях использование стеклопластиковой арматуры в бетонных балках позволяет увеличить несущую способность и деформативность балки;

исследовано в трехмерной постановке одновременное взаимодействие нескольких ударников различной формы с моделью кумулятивной гранаты РПГ–7; *установлено*, что форма поражающих элементов оказывает значительное влияние на их проникающую способность и для рассмотренных поражающих элементов, в исследуемом диапазоне скоростей 800–2000 м/с, их максимальная проникающая способность достигается при скорости 1400 м/с.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

результаты, полученные автором, дополняют имеющиеся теоретические представления по поведению перспективных материалов и конструкций при динамических нагрузках.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– результаты, представленные в диссертации, используются в проектных организациях Росатома в рамках договора ИСЦ «СтройПроект» (г. Томск) с АО

«АТОМПРОЕКТ» (г. Санкт-Петербург) № 474хд/13 «Разработка и экспериментальное обоснование защитных железобетонных конструкций с повышенной отказоустойчивостью»;

– программный комплекс EFES, разработанный на основе представленной в диссертации методики, передан для использования на АО НПК «Конструкторское бюро машиностроения» (г. Коломна) в рамках лицензионного договора Томского государственного архитектурно-строительного университета с АО НПК «Конструкторское бюро машиностроения» № 57180н от 19.11.2015 г.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования. Разработанные в диссертации численная методика, вычислительный алгоритм, математические модели могут применяться при решении широкого спектра задач, связанных с исследованием изотропных, анизотропных материалов и конструкций при динамических нагрузках, в том числе при подготовке высококвалифицированных специалистов в институтах и вузах Российской Федерации, таких как Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН (г. Пермь), Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва), Институт физики твердого тела РАН (г. Черноголовка), Институт проблем химической физики РАН (г. Черноголовка), Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН (г. Новосибирск), Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск), Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск), Институт машиноведения УрО РАН (г. Екатеринбург), Институт сильноточной электроники СО РАН (г. Томск), Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск), Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Казанский национальный исследовательский технический университет – КАИ им. А.Н. Туполева, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, а также в организациях, занимающихся разработкой и созданием перспективных материалов и конструкций, в конструкторских, проектных, научно-исследовательских, академических и других организациях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

математическая модель построена на основе фундаментальных законов и адекватна реальным физическим процессам;

для решения задач использованы хорошо апробированные численные методы;
проведено сравнение результатов вычислений с имеющимися экспериментальными и численными данными других исследователей, которое показало хорошее качественное и количественное совпадение.

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в предложенной модели поведения композитов на основе бетона при динамических нагрузках, учитывающей их специфические свойства – разномодульность прочностных характеристик, пластичность, зависимость прочности от скорости деформирования. На базе метода конечных элементов создан новый алгоритм численного расчета для исследования свойств и закономерностей поведения широкого класса материалов и конструкций при динамических нагрузках в трехмерной постановке. Впервые исследовано влияние металлического и неметаллического армирования, наличия фиброволокна на прочностные характеристики бетонных балок при кратковременных нагрузках, выявлены схемы зарождения и развития разрушения, установлено, что при рассмотренных условиях нагружения возникновение трещин начинается с тыльной поверхности балок в результате действия растягивающих напряжений. Впервые исследована динамика напряженно-деформированного состояния и поведение защитной оболочки атомной станции при импульсном воздействии и установлено, что при рассмотренных условиях нагружения разрушение оболочки инициируется на свободных поверхностях сотовой конструкции под действием волн разгрузки, в дальнейшем разрушение развивается за счет растягивающих напряжений. Впервые исследовано влияние анизотропной стеклопластиковой арматуры на несущую способность изгибаемых элементов конструкций, установлено, что при динамических воздействиях использование стеклопластиковой арматуры в бетонных балках позволяет увеличить несущую способность и деформативность балки. Впервые в трехмерной постановке решена задача одновременного

взаимодействия нескольких ударников различной формы с моделью кумулятивной гранаты РПГ–7, изучено влияние скорости удара и формы поражающих элементов на проникающую способность.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке моделей и алгоритмов расчета в трёхмерной постановке, позволяющих исследовать свойства и поведение широкого класса материалов и конструкций при динамических нагрузках, проведении численных исследований, обработке полученных результатов, анализе и обобщении результатов исследований, подготовке публикаций по выполненной работе.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи численного исследования поведения и свойств перспективных материалов (в том числе анизотропных) и конструкций при динамических нагрузках в трехмерной постановке, имеющей значение для механики деформируемого твердого тела.

На заседании 22.09.2017 диссертационный совет принял решение присудить **Батуеву С.П.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 5 докторов наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

22.09.2017



Христенко Юрий Федорович

Пикушак Елизавета Владимировна