

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д.212.173.06 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 27 января 2022 г. протокол № 1

О присуждении Паульзен Анне Евгеньевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

**Диссертация** на тему «Математическое моделирование термомеханических процессов в мягких оболочках из тканых полимерных материалов» по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите 08 ноября 2021 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом Д 212.173.06, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, создан на основании приказа №105/нк от 11.04.2012 г.

**Соискатель** Паульзен Анна Евгеньевна, «31» мая 1991 года рождения. В 2015 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет» по направлению «Прикладная математика и информатика», выдан диплом и присвоена квалификация «Магистр». В 2019 году соискатель завершила обучение в очной аспирантуре в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кемеровский государственный университет» по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». Срок обучения в аспирантуре с 01.09.2015 года по 31.08.2019 г.

Соискатель работает младшим научным сотрудником в Кузбасском гуманитарно-педагогическом институте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный

университет» в научно-исследовательской лаборатории математического моделирования. По совместительству занимает должность ассистента по кафедре математики, физики и математического моделирования.

Диссертация выполнена в научно-исследовательской лаборатории математического моделирования и на кафедре математики, физики и математического моделирования Новокузнецкого института (филиала) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

**Научный руководитель** - доктор технических наук, профессор Каледин Валерий Олегович, Кузбасский гуманитарно-педагогический институт Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет», заведующий научно-исследовательской лабораторией математического моделирования.

**Официальные оппоненты:**

**Кургузов Владимир Дмитриевич**, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской Академии наук, главный научный сотрудник лаборатории механики разрушения материалов и конструкций,

**Лопатин Александр Витальевич**, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», заведующий кафедрой компьютерного моделирования, профессор,

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» (г. Самара), в своем **положительном отзыве**, подписанном Радченко Владимиром Павловичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой «Прикладная математика и информатика»

и утвержденном Ненашевым М.В., д.т.н., профессором, первым проректором по научной работе ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», указала, что диссертационная работа Паульзен А.Е. «Математическое моделирование термомеханических процессов в мягких оболочках из тканых полимерных материалов» соответствует специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, имеет важное научное и прикладное значение, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 года (в редакции от 07.07.2021 года), а ее автор – Паульзен Анна Евгеньевна – заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Соискатель имеет 17 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 17 работ, из них: 3 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 2 статьи проиндексированы в наукометрических базах данных Scopus / Web of Science. Получено 1 свидетельство на программу для ЭВМ. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Авторский вклад в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 60%. Общий объем опубликованных работ составляет 5,6 п.л.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

*Научные статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК*

1. Паульзен, А.Е. Разработка и апробация программного пакета для задач расчета динамического деформирования многослойных преград при ударе / А.Е. Паульзен // Инженерный вестник Дона. – 2019. – №6. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N6y2019/6043>.

2. Гилёва, А.Е. (Паульзен, А.Е.) Волновая и оболочечная стадии деформирования многослойного тканого материала при соударении с поражающим элементом / А.Е. Гилёва (А.Е. Паульзен) // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – №5. – С. 97-99.

3. Гилёва, А.Е. (Паульзен, А.Е.) Численная схема волновой и оболочечной стадии деформирования при соударении многослойного тканого материала с поражающим

элементом / А.Е. Гилёва (А.Е. Паульзен) // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – №5. – С.100-102.

*Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ*

4. Программа расчета динамических температурных полей в многослойном композиционном материале при ударе: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2017615345, Рос. Федерация / заявитель и правообладатель Каледин В.О., Будадин О.Н., Гилёва А.Е. (Паульзен А.Е.), Козельская С.О. – № 2017612112; заявл. 15.03.2017; зарегистр. 12.05.2017; опубл. 12.05.2017, бюл. №5. - 1 с.

*Научные статьи в изданиях, индексируемых Scopus / Web of Science*

5. Budadin, O.N. The influence of deformation waves on impact energy absorption and heat release in multi-layer woven fabric ballistic body armor(Article) / O.N. Budadin, V.O. Kaledin, V.P. Vavilov, A.E. Gileva (A.E. Paulzen), S.O. Kozelskaya, M.V. Kuimova // Ceramics International. – 2019. – Vol. 45, Issue 18. – P. 24336-24342.

6. Kaledin, V.O. Modeling of thermomechanical processes in woven composite material at blow by the striking element / V.O. Kaledin, O.N. Budadin, A.Ye. Gilyova (A.Ye. Paulzen), S.O. Kozelskaya // Journal of Physics: Conf. Series. – 2017. – Vol. 894 (012019).

**На диссертацию и автореферат поступили 8 отзывов, все отзывы положительные:**

1. **АО «ЦНИИСМ», г. Хотьково**, д.т.н., профессор, академик РАН, заместитель главного конструктора, Васильев В.В.

*Замечания:* 1) В автореферате указано, что определяющие уравнения материала получены из экспериментальных диаграмм, однако не приведен вид этих уравнений; 2) Автор ограничивается определением адиабатической температуры на поверхности ткани непосредственно после удара. Было бы целесообразно находить также изменение температуры в течение времени регистрации термограммы с учетом теплопроводности ткани и теплоотдачи в воздух.

*Вопрос:* Неясно, каким получается численное решение при полном пробитии преграды. Отражает ли модель изменение скорости ударника после его выхода из контакта с тканью?

**2. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана (национальный исследовательский университет)»**, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Вычислительной математики и математической физики», Захарова Ю.В.

*Замечание:* Представляется целесообразным более полное исследование волновой стадии удара, на которой поглощается до 20-30% всей энергии.

**3. ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»**, к.т.н., доцент кафедры «Вычислительной математики и программирования», Кузнецова Е.В.

*Замечание:* Следовало бы указать количественные ограничения, присущие разработанному программному комплексу: число конечных элементов, порядок решаемой системы уравнений, время решения.

**4. ООО «Научно-производственное предприятие «Радуга-15», дочернее общество АО «ГосМКБ "Радуга" им А.Я. Березняка»**, к.т.н., директор, главный конструктор, Нырковский В.И.

*Вопрос:* Чем обуславливается выбор коэффициента  $b$  в формуле (17), и какие значения он имеет для рассмотренных материалов?

*Замечание:* Не указано, учитываются ли пластичность и ползучесть при высокотемпературном деформировании ткани в момент удара.

**5. Института проблем химической физики РАН, г. Черноголовка**, д.т.н. профессор, главный научный сотрудник отдела Экстремальных состояний вещества, Острик А.В.

*Замечание:* Хотя полученные соискателем результаты численных исследований температурных полей имеют важное практическое значение, они не выносятся на защиту.

**6. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»**, д.ф.-м.н., старший научный сотрудник, заведующий отделом 20 Научно-исследовательского института прикладной математики и механики ТГУ, Пономарев С.В.

*Вопрос:* В работе рассматриваются образцы прямоугольной формы. Применимы ли разработанные модели и компьютерные программы для расчета мягких оболочек с криволинейным контуром?

7. **АО «Электрогорский научно-исследовательский центр по безопасности атомных электростанций»**, к.т.н, начальник Управления НИР и НИОКР в области теплофизики, Локтионов В.Д.

*Замечание:* Волновая стадия удара, судя по автореферату, рассчитывалась только в одномерной постановке, что требует соответствующих обоснований применимости подходов, разработанных соискателем для прогнозирования поведения пространственных конструкций/объектов рассматриваемого класса.

8. **Омский автобронетанковый инженерный институт (ОАБИИ ВА МТО)**, д.т.н., профессор, профессор кафедры двигателей, Ахтулов А.Л.

*Без замечаний.*

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что область научных интересов доктора физико-математических наук, доцента **Кургузова Владимира Дмитриевича** связана с математическим моделированием процессов упруго-пластического разрушения материалов, он имеет значительное число публикаций по тематике, близкой к представленной к диссертации; сфера научных интересов и тематика исследований доктора технических наук, профессора **Лопатина Александра Витальевича** связана в значительной степени с компьютерным моделированием термодинамических процессов, динамического деформирования и разрушения композиционных материалов, он имеет значительное число публикаций, близких по тематике к представленной к защите диссертационной работе.

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет»** - один из крупнейших ВУЗов России, готовящих ученых и выпускающих специалистов в области информационных технологий и прикладной математики. Специалисты кафедры прикладной математики и информатики активно занимаются проблематикой по теме диссертационной работы Паульзен А.Е., в том числе задачами теплопроводности и моделированием термоупругих полей, что подтверждается трудами ведущих специалистов и ученых.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** новая математическая модель деформирования тканого многослойного образца с тепловыделением при соударении с жестким поражающим элементом, позволяющая определить деформацию, напряжение, поглощенную энергию и температуру нитей в динамике;

**предложена** новая научная идея представления тканого материала при ударе как многослойной моментной оболочки, содержащей подвижные нити, непрерывно распределенные по объему слоев ткани и механически взаимодействующие с содержащим их слоем материала;

**доказана** перспективность использования предложенного расчётно-экспериментального подхода к получению оценки энергопоглощения полимерными ткаными материалами при проектировании средств защиты;

**введена** новая трактовка понятия сети конечных автоматов с побочными эффектами как представления алгоритма многократных вычислений функциональных объектов с неявным аргументом.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано** положение о применимости разработанной модели к оценке энергопоглощающей способности тканого полимерного материала;

**применительно к тематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы** методы: конечных элементов, теории разностных схем, объектно-ориентированного программирования и функционально-объектной декомпозиции, экспериментальные методы термомеханики конструкций;

**изложена** идея использования ориентированной сети для представления программного кода алгоритмов расчёта термомеханических процессов;

**раскрыты** существенные противоречия теории оболочек при описании волновых процессов в тканом материале и предложены методы разрешения этих противоречий путём отдельного рассмотрения стадий соударения воздействующего объекта с многослойным образцом для постановки начальных условий оболочечного

деформирования, найденных на основе расчета стадии уплотнения пористого материала;

**изучены** факторы, влияющие на распределение температур по площади слоистого тканого образца;

**проведена модернизация** математической модели движения многослойного пакета ткани на основе гипотезы об оболочке с деформируемой нормалью, устраняющая сингулярность растягивающих напряжений.

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

**разработаны и внедрены:** алгоритм расчета деформирования и нагрева тканого образца при ударе и реализующий его комплекс программ в АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения», алгоритмы и программное обеспечение вычислительного эксперимента в научно-исследовательских работах Новокузнецкого института (филиала) ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»;

**определены** перспективы использования результатов исследований для практической оценки качества тканых полимерных материалов при ударе твёрдым поражающим элементом;

**создан** комплекс программ для ЭВМ, реализующий алгоритмы расчёта динамических напряжений, деформаций, поглощенной энергии и температур, отличающийся представлением программного кода в виде ориентированной сети конечных автоматов;

**представлены** результаты комплексного исследования динамических температурных полей в мягких оболочках из полимерной ткани при ударе твёрдым поражающим элементом.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** использовано сертифицированное оборудование;

**теория** построена на апробированных гипотезах механики и термодинамики конструкций и согласуется с полученными экспериментальными данными;



**идея базируется** на анализе практики моделирования деформирования и тепловыделения в тканых материалах;

**использовано** сравнение авторских оценок энергопоглощения с полученными ранее при теоретических и экспериментальных исследованиях;

**установлено** количественное соответствие авторских результатов с экспериментальными данными, полученными при проведении специально поставленных физических экспериментов;

**использованы** современные методики цифровой регистрации экспериментальных данных.

**Личный вклад соискателя состоит:** в непосредственном участии в получении исходных данных, в личном участии в научных экспериментах, в разработке математической модели и численной схемы, в непосредственном участии в разработке программного комплекса и в разработке его ключевых элементов, в участии в апробации результатов исследования, в подготовке основных публикаций по выполненной работе. При подготовке основных публикаций по выполненной работе вклад соискателя в статьях, выполненных в соавторстве, составляет не менее 60%.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1) Вы пренебрегаете теплопереносом, и все. В принципе задача не такая сложная, мы же в принципе имеем источники тепловыделения, можем сказать, какая температура будет. 2) У Вас написано слово «транслятор», с какого языка? Сейчас не называют слово «транслятор», есть языковой процессор. 3) Поясните, выполняется ли диагностика при выполнении программы. 4) Были ли проведены расчеты в LS-DYNA, может и не надо было разрабатывать программное обеспечение? Там все считается.

Соискатель Паульзен Анна Евгеньевна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы, сделанные замечания и привела собственную аргументацию:

1) В диссертации это исследование приведено. Расчеты показали, что температура изменяется незначительно из-за быстроты процесса. 2) Мы строим функционально-объектные схемы алгоритмов и дальше их транслируем в последовательность команд интерпретатора. 3) На этапе трансляции из графического представления алгоритма в последовательность команд у нас могут быть

неразрешимые ссылки или другие ошибки. Диагностику мы получаем. 4) В существующих комплексах таких моделей нет, температура не рассчитывается.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития комплексных исследований объектов новой техники с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента. Работа соответствует пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842.

На заседании 27 января 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Паульзен А.Е. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.13.18, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, нет человек дополнительно введенных на разовую защиту, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссер  
совета

Борис Юрьевич Лемешко

Учёный секретарь  
диссертационного со

Андрей Владимирович Фаддеенков