



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«Самарский государственный
технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

ул. Молодогвардейская, 244,
гл. корпус, г. Самара, 443100
Тел.: (846) 278-43-11, факс (846)
278-44-00
E-mail: rector@samgtu.ru
ОКПО 02068396, ОГРН
1026301167683,
ИНН 6315800040, КПП 631601001

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор – проректор по научной
работе ФГБОУ ВО «Самарский
государственный технический
университет»,

доктор технических наук, профессор


27.12.2021 № 0201/3610

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Паульзен Анны Евгеньевны
выполненную на тему: «Математическое моделирование
термомеханических процессов в мягких оболочках из тканых
полимерных материалов»
и представленную к защите на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и
комплексы программ

1. Структура и объём диссертации. Диссертационная работа содержит введение, четыре главы, заключение, список литературы из 121 источника, изложена на 216 страницах (включая библиографический список и приложения), содержит 65 рисунков и 2 таблицы. Изложение материала четко подчинено раскрытию поставленных целей и задач исследования.

2. Актуальность исследования. В широком многообразии исследований в области статической и динамической прочности композитных материалов важное место занимают конструкции из тканых материалов, поскольку они находят широкое применение в средствах как индивидуальной защиты сотрудников на ответственных и опасных производствах, при ликвидации последствий аварий и

катастроф, военной сфере от ударов, так и при защите различных специфических конструктивных элементов. Несмотря на то, что окончательное решение о надёжности такого рода конструкционного материала принимается по результатам натуральных экспериментальных исследований, этому предшествует глубокая теоретическая проработка на стадии проектирования материалов и конструкций из них, состоящая в математическом моделировании совокупности процессов, сопровождающих ударное взаимодействие композиционной ткани и ударника. При моделировании приходится решать комплексную междисциплинарную задачу, включающую элементы механики деформируемого твердого тела, термодинамики, средств вычислительной математики, современных компьютерных технологий для реализации алгоритмов и методов и другие смежные научные направления. Именно сложность проблемы, в конечном итоге сводящаяся к оценке поглощённой и рассеиваемой энергии при ударе, затрудняет разработку соответствующих математических моделей и является основной причиной неудовлетворительного состояния программного обеспечения для решения такого рода задач в многочисленных коммерческих пакетах. По этим причинам тематику работы А.Е. Паульзен, направленную на создание аппарата математического моделирования ударного взаимодействия ткани с ударником и разработку независимого программного обеспечения для реализации модели, несомненно следует признать актуальной.

3. Научная новизна результатов и выводов. Прежде чем сформулировать элементы новизны отметим следующий немаловажный факт. Работа носит междисциплинарный характер, поскольку для решения поставленных задач требуется комплексное применение положений механики деформируемого твердого тела, термодинамики, методов вычислительной математики, объектно-ориентированного программирования и функционально-объектной декомпозиции, привлечения методических и аппаратных средств для проведения экспериментальных исследований, методов обработки и анализа опытных данных. Такая постановка собственно и является предметом исследований в рамках специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, причём в диссертации в наличии все три компонента. Не вдаваясь в элементы новизны частных результатов, которые сформулированы в выводах по каждой из четырёх глав и с которыми просто нужно согласиться, отметим лишь интегральные результаты исследований, несомненно обладающие новизной.

1. Предложена новая математическая модель процессов деформирования и тепловыделения в многослойном тканом материале при ударе жестким шарообразным элементом. Модель основана на оригинальных кинематических и статических гипотезах, а также на фундаментальных законах движения

механических систем, и описывает изменение деформаций, напряжений, поглощённой энергии и температуры нитей ткани в каждый момент времени. По сравнению с наиболее близкой известной моделью, используемой для расчёта тепловыделения в ткани при ударе, решение предложенных уравнений не содержит особенности в точке удара и в начальный момент времени.

2. Разработана численная схема расчёта энергопоглощения, в которой дискретные аналоги уравнений получены методом конечных элементов по координатам и методом конечных разностей по времени, при этом уравнения расщепляются по процессам переносного движения слоистого пакета как моментной оболочки и относительного движения слоёв ткани и нитей. Численная схема позволяет рассчитать температуру во всех слоях тканого пакета и поглощение энергии по слоям.

3. Численная схема реализована в комплексе программ для расчёта динамического деформирования и вызванных им температурных полей при ударе жесткого поражающего элемента в многослойный тканый материал. Использована развиваемая при участии автора диссертации технология функционально-объектного программирования, в которой автором выполнена модификация организации вычислений в виде сети функциональных объектов с побочными эффектами, что позволяет сократить время расчёта. Комплекс содержит программы интерактивной подготовки исходных данных, расчёта динамических температурных полей и визуализации результатов расчёта.

Приведённые положения новизны как раз и отражают триаду специальности 05.13.18.

4. Соответствие паспорту научной специальности.

Рассматриваемая диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» по следующим областям исследования:

– П.3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий.

– П.4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

– П.5. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

5. Теоретическая и практическая ценность результатов. С точки зрения внутренней логической завершенности работы соискателем сделан существенный вклад в постановку новых краевых задач определения напряжённо-

деформированного состояния и тепловыделения в тканом многослойном композитном образце при ударном взаимодействии с жёстким объектом с учётом энергопоглощения по слоям, что отличает предложенную соискателем модель от имеющихся, в котором этот эффект не учитывается. Следует отметить и численную схему расчёта энергопоглощения на основе модификации метода конечных элементов и конечных разностей и комплекс программ для расчёта динамического деформирования многослойного тканого материала при ударе жёстким поражающим элементом и вызванных им температурных полей. Собственное теоретическое значение имеют и результаты многочисленных расчётов на основе параметрического анализа поставленных задач.

С прикладной точки зрения важную роль играет разработанный инструментарий для автоматизации численных методов при решении поставленных задач, имплантированный в известный программный комплекс «Алгозит» и существенно расширяющий его возможности, а также зарегистрированная программа расчёта динамических, температурных полей в многослойном композиционном материале при ударе, о чём имеется свидетельство о регистрации (стр. 206 диссертации). Часть вошедших в диссертацию результатов уже используется в прикладных научно-исследовательских работах Новокузнецкого института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет», АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (АО «ЦНИИСМ»), что подтверждено справкой и 3 актами об использовании результатов от ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» и АО «ЦНИИ специального машиностроения» (стр. 207-216 приложения).

Очевидно, что все теоретические и экспериментальные результаты будут полезны в научных исследованиях академических институтов, организациях Высшей Школы, отраслевых научно-исследовательских институтах, занимающихся подобными проблемами и в технологической практике промышленных предприятий.

6. Апробация работы и полнота опубликованных результатов. Основные положения рецензируемой работы в достаточной мере опубликованы в рецензируемых научных журналах и изданиях, включая публикации в журналах из перечня ВАК Минобрнауки и в изданиях из базы данных Web of Science и Scopus, материалах ряда Международных и Всероссийских научных конференций. Поэтому считаем, что рецензируемая диссертационная работа в достаточной мере опубликована и апробирована.

7. Диссертация и автореферат написаны ясным и понятным научным языком. Содержание диссертации достаточно полно, подробно и ясно раскрывает

постановку, методы и результаты решения рассмотренных задач. Автореферат в целом отражает содержание диссертации. Оформление диссертации и автореферата в основном соответствует существующим требованиям. Судя по автореферату и диссертации, основные результаты, сформулированные в пункте «Заключение», принадлежат лично автору.

8. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций. Приведённые в диссертации теоретические результаты получены на основе корректного применения математического аппарата механики деформируемого твёрдого тела, апробированных методов термодинамики, вычислительной математики и современных информационных технологий. Для экспериментальных исследований использованы также апробированные методики. Достоверность положений и результатов диссертации подтверждена теоретически полученной оценкой точности полученных численных решений краевых задач, выполнена проверка адекватности разработанных моделей известным экспериментальным данным из независимых источников и проведёнными экспериментальными исследованиями с участием соискателя.

Полученные результаты не противоречат известным результатам в частных случаях и в определённой мере обобщают теоретические (и частично экспериментальные) результаты, полученные ранее другими авторами.

9. Рекомендации по использованию результатов работы. Результаты диссертационной работы могут быть использованы как в учебном процессе, так и в научных исследованиях в Кемеровском государственном университете, Пермском национальном исследовательском политехническом университете (г. Пермь), Самарском государственном техническом университете (г. Самара), Томском национальном исследовательском государственном университете (г. Томск) и других высших учебных заведениях, а также в АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» (г. Хотьково, Московская обл.), АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва (г. Железногорск, Красноярский край), ООО «Научно-производственное предприятие «Радуга-15»» (г. Москва), Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН (г. Новосибирск) и многих других научных и научно-исследовательских организациях, занимающихся родственными проблемами.

10. Замечания по содержанию и оформлению работы. Недостатков, ставящих под сомнение справедливость какого-либо результата, в диссертации не обнаружено. Тем не менее, замечания по диссертационной работе А.Е. Паульзен можно классифицировать как по оформлению диссертации, так и по существу работы.

1. Не исследован вопрос о влиянии выбора закона трения нитей на результаты моделирования. Рассматривается только вязкое трение, хотя известные теоретические представления не исключают возможности использования и других моделей трения, например, кулоновой.

2. Сложно классифицировать постановку краевой задачи (2.5)–(2.7) с точки зрения теории уравнений в частных производных. Во-первых, начальные условия для скоростей \dot{U} заданы с сингулярностью в точке $t=0$, поэтому, строго говоря, решение должно строиться с использованием теории обобщённых функций. Во-вторых, для $\frac{\partial \sigma_z}{\partial z}$ заданы 2 граничных условия, т.е. имеем переопределённость,

при этом в граничные условия входит старшая производная \ddot{U} , чего не должно быть, при классической постановке. Здесь возникает вопрос, почему (2.5) – одномерное волновое уравнение. Хотя из физических соображений – это двумерная задача для слоистой пластины с перекрёстно-армированными слоями нитей и переход к сплошной среде не может привести эту задачу к одномерной. Судя по рис. 2.3 физически это удар цилиндрического тела о пластину, а в дальнейшем используется всё же шарообразный ударник. В силу вышеизложенного сравнение данных расчётов (одномерная задача) и экспериментальных данных (двумерная задача) не вполне корректно.

3. Строго говоря, реализация подхода с отдельным описанием волнового процесса, а затем оболочечного деформирования (несвязная задача) может дать приемлемые результаты лишь при условии, что скорость звука в нитях композитной конструкции много больше скорости ударника. При соизмеримых величинах этих скоростей к решению нужно относиться с осторожностью.

4. В системе (3.8) (если неизвестными являются скорости и перемещения, как указано на стр. 76) число уравнений в 2 раза меньше числа неизвестных. Почему в (3.6) нельзя было заменить вторую производную \ddot{U}_i через конечные разности второго порядка и получить замкнутую систему уравнений относительно перемещений?

5. Каждая глава диссертации обычно начинается с информации о том, в соответствии с какими опубликованными работами соискателя излагается материал этой главы. Это даёт представление о полноте опубликованных результатов, однако, эта информация отсутствует.

К сожалению, в некоторых местах текст диссертации изложен без должных комментариев с определённой долей невнимательности, что затрудняет его понимание. Дальнейшие замечания связаны именно с этим.

6. Пункт 1.4 для читателя, не знакомого с программой «Алгозит», малоинформативен вследствие специфичности сути материала.

Рис. 4.23-4.30 в диссертации и рис. 3 автореферата неинформативен, понять из них что-либо трудно без необходимых комментариев. Что означают численные значения справа от рисунков? Это же относится к рис. 2.9. Эксперимент практически не описан, для какого материала установлены графики, отсутствует размерность по оси абсцисс. Разброс в 3 градуса на приведённых графиках свидетельствует о статистической незначимости результатов.

7. Диаграмма какого материала представлена на рис. 2.7. Здесь размерность напряжений указана в МПа, а временной предел сопротивления соответствует высокопрочным сталям и жаропрочным сплавам. Что происходит с образцом в точке С на рис. 2.7б?

Далее, на стр. 54 аппроксимация (2.43) $\sigma = f(\varepsilon)$ имеет квадратичную зависимость, а в (2.44) она имеет вид кубического полигона.

8. К сожалению, текст диссертации не лишён орфографических ошибок и неточностей. На стр. 15 вместо «волной» должно быть «волновой», на стр. 17 вместо «расходов» – «расходах», на стр. 18 непонятна фраза: «... требуется особой аккуратность их вывода...» и т.д.

Разумеется, отмеченные недостатки носят частный характер и ни в коей мере не влияют на общую положительную оценку работы Анны Евгеньевны Паульзен.

10. Заключение по диссертации. Оценивая работу в целом, считаем, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной соискателем самостоятельно и на достаточно высоком научном уровне. Совокупность научных исследований можно классифицировать как разработку в определённом смысле новой математической модели для решения задачи исследования термомеханических процессов при ударном взаимодействии жёстких тел с мягкими оболочками из тканых полимерных материалов, имеющей существенное значение для развития комплексных исследований новой техники с использованием математического моделирования.

Полученные результаты достоверны, выводы и умозаключения обоснованы. Работа базируется на достаточном объеме полученных экспериментальных и теоретических результатов и вносит существенный вклад в теорию и практику математического моделирования.

Исходя из вышеизложенного, считаем, 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 её автор – Паульзен Анна Евгеньевна –

заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Отзыв рассмотрен и утвержден на расширенном заседании кафедры «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» под председательством заведующего кафедрой, д.ф.-м.н., профессора Радченко В.П.

Присутствовало – 25 человек.

Результаты голосования: «за» – 25 человек, «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Протокол №5 от 27 декабря 2021 г.

Отзыв подготовлен:

заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет»,
доктор физико-математических наук (01.02.04),
профессор

Радченко Владимир
Павлович

Служебный телефон:
8(846)3370443, 8(846)2423573
E-mail: radchenko.vp@samgtu.ru

Служебный адрес:
443100, г. Самара
ул. Молодогвардейская, 244,
Главный корпус СамГТУ,
кафедра «Прикладная математика и информатика»

Подпись Владимира Павловича Радченко
заверяю,
учёный секретарь ФГБОУ
«Самарский государственный
технический университет»,
доктор технических наук

Малиновская Ю.А.

*Отзыв рассмотрен
в совет 12.01.2022.*

*с отзывом диссертанта
12.01.2022.*