

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Паульзен Анны Евгеньевны

«Математическое моделирование термомеханических процессов в мягких оболочках из тканых полимерных материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 - математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность. В настоящее время тканые полимерные материалы используются в средствах защиты людей и технических устройств от воздействия ударов. Область их применения расширяется, поэтому конструкции защитных устройств должны изменяться и проектироваться под различные условия эксплуатации. Обоснованный выбор параметров проектируемых конструкций требует предварительного установления способности слоистого материала рассеивать и поглощать энергию удара. Поэтому, несмотря на значительные достижения в области создания средств защиты от ударов на основе полимерных тканей, для рационального выбора конструктивных параметров остаются актуальными вопросы экспериментального и расчётно-теоретического определения количественных показателей эффективности защиты.

Традиционно используемые экспериментальные методы позволяют определять защитные характеристики по измерению параметров ткани после удара. Расчётно-теоретическое определение требует разработки адекватных математических моделей, позволяющих прогнозировать поглощение энергии в ткани, что вызывает затруднения в связи со сложностью происходящих при ударе взаимообусловленных процессов движения, деформации, разрушения и необратимого рассеяния энергии. Перспективным направлением представляется использование комбинированных расчётно-экспериментальных методов, в частности метода динамической термографии, в которых математическая модель учитывает измеренные перемещения и температуру на поверхности ткани.

Таким образом, тему диссертационной работы, в которой поставлена цель разработать средства математического моделирования процессов поглощения энергии при ударе жестким поражающим элементом в многослойный пакет из полимерной ткани применительно к оценке нестационарных температур на поверхности, следует признать **актуальной**.

Следующие результаты работы обладают научной новизной.

В области математического моделирования:

- разработана математическая модель деформирования тканого многослойного образца при соударении с жестким воздействующим объектом и тепловыделения в материале;
- модель отличается отдельным описанием процессов на стадии начального уплотнения и оболочечного деформирования;
- модель позволяет учитывать различия деформаций слоёв пакета,

поглощённую энергию и температуру нитей ткани в каждый момент времени.

В области численных методов:

- усовершенствован алгоритм расчета деформаций, напряжений и температурных полей на оболочечной стадии деформирования;
- начальные условия обоснованно принимаются из расчёта начальной стадии уплотнения материала;
- численная схема отличается расщеплением неявной разностной схемы по процессам в переносном и относительном движении, что позволяет сократить время вычислений.

В области комплексов программ:

- разработан и практически апробирован комплекс программ, реализующий алгоритм вычисления динамических напряжений, деформаций, поглощённой энергии и температур.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректным применением математического аппарата, законов сохранения и принципов равновесной термодинамики, законов динамики деформируемого твердого тела, апробированных методов прикладной математики, термоупругости, сравнением с результатов натурных испытаний с результатами численного исследования, асимптотической и фактической оценкой сходимости численных схем.

Практическая значимость результатов исследования определяется возможностью еще на этапе проектирования средств защиты получить оценки энергопоглощающей способности тканого материала. Результаты исследования: численные алгоритмы, комплексы компьютерных программ и результаты расчетов использовались в АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения», а также в научно-исследовательских работах Новокузнецкого института (филиала) Кемеровского государственного университета, что подтверждено документами, указанными в приложении 5.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы. Рекомендуется использование результатов диссертации научно-исследовательскими организациями, проектными бюро и образовательными организациями, такими как АО «ЦНИИСМ», ООО «Научно-производственное предприятие «Радуга-15»», Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, Новосибирский государственный технический университет и др.

Соответствие специальности. Содержание диссертации по областям исследований соответствует пунктам 1-5 паспорта специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

Оценка изложения материалов диссертации и автореферата. Материал, изложенный в диссертации, понятен, логичен, хорошо структурирован. Проведенные исследования можно считать завершёнными. По

теме диссертации автором опубликовано 17 работ, из них 3 статьи – в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, 2 статьи – в международных базах данных Scopus и Web of Sciences, одно свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ, в которых основные научные результаты диссертации отражены достаточно полно. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Имеются замечания по диссертационной работе как, по существу, так и редакционного характера.

1. Введение. Было бы полезно сравнить результаты, полученные в диссертации, с результатами расчетов в LS-DYNA.

2. Стр. 55. Экспериментальные кривые на рис. 2.7 аппроксимировались квадратичной функцией, а зависимость напряжений от деформаций (2.44) – кубическим полиномом.

3. Стр. 69. В формуле (2.101) у σ и ϵ верхний индекс l , а не i .

4. Стр. 93. «Относительное движение будем рассматривать в рамках теории плосконапряженного состояния [80]. Согласно этому подходу перемещения вдоль одной из осей (нормали) отсутствуют, а компоненты перемещения зависят только от двух координат...» При плоском напряженном состоянии $\sigma_z = 0$, $\epsilon_z \neq 0$, поэтому перемещения вдоль оси z , вообще говоря, отличны от нуля.

5. Стр. 110, 111. В оценке порядка сходимости должна стоять o (буква), а не 0 (цифра).

6. Стр. 111. Гладкость решения нарушается не только в случае разрыва нитей, перехода от активного нагружения к разгрузке и от растяжения к сжатию, но также в точках, где свойства материала изменяются скачком, например, при касании нитей с разными жесткостями.

7. В главе 4 следовало бы сказать несколько слов о верификации и валидации программного комплекса.

8. Глава 4, результаты расчетов. С точки зрения практических приложений интересен вопрос: при какой скорости ударник пробивает преграду?

Отмеченные замечания не снижают научную и практическую значимость проведенного исследования.

Заключение. Оценивая работу в целом, следует отметить ее высокий научный уровень, строгую обоснованность решений при изложении их в тексте диссертации, актуальность и ценность результатов, как с теоретической, так и с практической точек зрения. Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования и взаимосвязью выводов. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований построена математическая модель деформирования тканого многослойного образца при соударении с абсолютно твердым телом и разработан комплекс программ,

реализующий алгоритм вычисления динамических напряжений, деформаций, поглощенной энергии и температур в многослойных образцах из полимерной ткани при ударе жестким сферическим объектом.

Диссертация «Математическое моделирование термомеханических процессов в мягких оболочках из тканых полимерных материалов» соответствует требованиям пп. 9-11 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а ее автор – Паульзен Анна Евгеньевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Оппонент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Главный научный сотрудник лаборатории механики разрушения материалов и конструкций ФГБУН Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской Академии наук, д. ф.-м. н. (специальность 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент по кафедре высшей математики

Владимир Дмитриевич Кургузов

«13» 12 2021 г.

630090, г. Новосибирск, пр-т Лаврентьева, д. 15
ИГИЛ СО РАН
тел.: +7(383)333-17-46, 333-21-79
e-mail: kurguzov@hydro.nsc.ru

Подпись Кургузова В.Д. заверяю
Ученый секретарь ИГИЛ СО РАН
к.ф.-м.н.

Хе А.К.

13.12.2021 г.

Отзыв поступил
в совет 12.01.2022 г.

с отзывом ознакомлена
12.01.2022 г.