



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

18 ИЮН 2024

№ 324-3097

На № _____ от _____

ИО
проректора
работе

18 июня

2024 года

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
на диссертационную работу Ле Вьет Туана**

**«Расчетная оценка повреждаемости композитных авиационных панелей
при множественном низкоскоростном ударе»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.14. – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов**

Актуальность диссертационного исследования

Авиационная промышленность переживает трансформационные достижения в области материаловедения, особенно с широким применением композитных материалов. Во время эксплуатации самолета многослойные композитные конструкции могут подвергаться внешним воздействиям, таким как контакт с твердыми или хрупкими предметами. Например, это может быть столкновение с градом во время полета или падение града на самолет, стоящий на аэродроме. Повреждения от таких воздействий часто невидимы невооруженным глазом, так как они находятся внутри структуры композитного материала, что негативно влияет на эксплуатационные характеристики и безопасность полетов.

Рассмотрение возможности повреждения конструктивных элементов из композитных материалов при ударе твердыми или хрупкими предметами является достаточно важным. На этапе проектирования проведение комплексных ударных испытаний по всему самолету или его частям нецелесообразно и затратно. Использование методов математического моделирования, численных методов и современного программного обеспечения становится рациональным способом решения этой проблемы. Встреча с градом любого самолета имеет большую вероятность. Поэтому разработка и обоснование методов оценки

повреждаемости конструктивных элементов самолета из угле- и стеклопластиков при низкоскоростных ударах представляется **актуальной** задачей для современных конструкций самолетов из композитов.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 141 наименования и 7 приложений. Общий объем диссертации составляет 231 страницу и включает 96 рисунков и 69 таблиц.

Во введении приведено обоснование актуальности темы, приведены методы исследования. Дан обстоятельный обзор публикаций по проблеме воздействия града на конструкцию самолета, из которого следует актуальность темы, особенно, при использовании слоистых композитов, подверженные внутренней деструкции в виде межслоевого растрескивания. Сформулированы цель и задачи исследования, определена программа проведения работы.

В первой главе работы рассмотрены современные подходы и методы в области механики контактного взаимодействия. Описаны основные инструменты для анализа и решения связанных с этим задач. Контактная задача рассмотрена в достаточно общей, строгой математической постановке. Существенное внимание уделено критериям прочности, раздел 1.3. При этом отметим как положительный аспект работы в целом, правильное использование критерия максимальных напряжений с учетом их знака для компонентов композита, стр. 33, (1.58).

Глава вторая носит «настроечный» характер: обсуждается выбор конечных элементов, сеток, особенности интерпретации результатов расчетов и приводится их сопоставление с собственными экспериментальными данными и данными лаборатории механики композитов ФГБУН «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева» СО РАН.

Третья и четвертая главы являются основными в работе. В этих главах исследуются задачи контактного взаимодействия достаточно необычного, малоизученного по механическим характеристикам индентера из водяного льда. Рассмотрены различные формы и размеры индентеров – шаровидные и цилиндрические с различными геометрическими размерами. Для исследования разрушения ледяного индентера наряду с МКЭ применен метод частиц (SPH). Исследование сопровождается большим количеством вычислительных и натуральных экспериментов. Экспериментальные исследования выполнены на оригинальной специально разработанной установке. Все основные результаты этих глав обладают существенной новизной, достоверностью и практической ценностью в силу новизны задачи и принципиального различия в механических свойствах индентера и элемента конструкции.

В пятой главе сформулирована новая интересная и практически важная задача оценки повреждаемости пластин и оболочек из слоистого композиционного материала при множественной последовательно разновременной бомбардировке панелей участков конструкции определенных размеров с наблюдением за ростом деструкции материала в

виде расслоения, растрескивания матрицы и разрыва волокна. Для решения поставленной задачи разработана специальная методика моделирования множественного удара. В работе представлены результаты расчета с пятью частицами града с размерами от 10 до 35 мм. В научном плане эта задача представляет особый интерес, так как она в известной мере напоминает накопление усталостных повреждений в традиционных материалах при повторных нагрузках.

Наиболее важными результатами работы являются следующие.

1. Предложен подход к оценке повреждаемости авиационных композитных панелей при ударе частицами града, основанный на определении числа поврежденных слоев композита с помощью численного моделирования множественного низкоскоростного удара и критериев прочности слоистого материала.

2. Разработана и апробирована модель одиночного удара частицей града по композитной пластине, представляющая собой совокупность моделей композитной панели, контактного взаимодействия и модели разрушения хрупкого ударника.

3. Установлены аппроксимирующие зависимости поврежденности (число разрушенных слоев) композитной панели при ударе частицей града от модуля упругости и скорости частицы.

Все отмеченные выше результаты представляют научную новизну работы. Их значимость заключается в:

а) создании теоретической базы для оценки прочности композитных панелей при динамическом ударном воздействии с помощью методов моделирования и вычислительного эксперимента независимо от отраслевой принадлежности композитов;

б) обосновании необходимости проведения расчетов на повреждаемость композиционных элементов конструкций летательных аппаратов на стадии проектирования изделия;

в) выработке предложений на основе решения ряда базовых задач и в разработке общей расчетной оценки повреждаемости композитных панелей – элементов летательных аппаратов при множественном ударе частицами града.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием известных методов вычислительной механики деформируемого твердого тела; современного конечно-элементного программного комплекса ANSYS, использованием сертифицированного измерительного оборудования и инструментов при проведении натурных испытаний.

Практическая значимость и рекомендации по использованию полученных результатов. Автором предложен подход к построению расчетных моделей при исследовании прочности многослойных композиционных панелей в условиях ударного нагружения МКЭ и методом частиц. С использованием предложенных методик решен ряд базовых задач определения прочности композитных пластин при воздействии жесткого и хрупкого инденторов.

Результаты диссертационной работы Ле В.Т. внедрены: в производственную практику профильной организации ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина» (г.Новосибирск), в учебный процесс ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, не подлежит сомнению. Результаты работы прошли апробацию на всероссийских конференциях по тематике исследования, опубликованы 7 научных работ, в том числе в 2 работы в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК. Материал диссертации изложен в опубликованных работах с достаточной полнотой. Содержание автореферата полностью отражает основные результаты диссертации.

Работа написана точным и понятным научным языком. Все основные результаты представлены в удачной наглядной форме. В тоже время по рассмотренной работе необходимо высказать некоторые замечания.

1. В работе не приводятся сведения о способе закрепления композитных образцов: рисунки 2.9, 3.1, 3.5 и т.п. и не приводятся необходимые соответствующие кинематические граничные условия на МКЭ моделях.

2. В расчете НДС композита в разделе 2.2 используются четыре технические упругие константы (таблица 2.4). Далее в расчетах композитной пластины на воздействие града (раздел 3.3.2, таблица 3.4) используется модель, учитывающая полный набор из 9 технических упругих констант. Возникает вопрос: насколько существенно это усложнение задачи для оценки повреждаемости композита?

3. В работе, по-видимому параллельно, велось исследование на повреждаемость угле- и стеклопластиков. Было бы полезно дать сводку различий в поведении этих материалов при одинаковых нагрузках.

4. Значительная часть реферативной информации по теме диссертации приводится и обсуждается в главах 2 – 4, что несколько затрудняет оценку новизны отдельных положений и результатов этих глав. На наш взгляд было бы целесообразно обсудить критически необходимую информацию в первой главе и завершить главу формулировкой цели и задач работы.

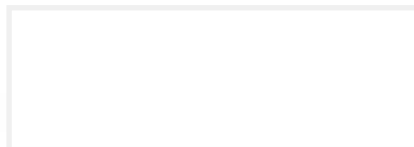
Сделанные замечания не затрагивают существа научной новизны и практической ценности полученных результатов в работе и обусловлены только их представлением. Основное содержание работы соответствует пп. 1, 2 Паспорта специальности 2.5.14 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Считаем, что диссертационная работа Ле Вьет Туана «Расчетная оценка повреждаемости композитных авиационных панелей при множественном низкоскоростном ударе», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» отвечает требованиям пункта 9, 10 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842). Автор работы Ле В.Т.

заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

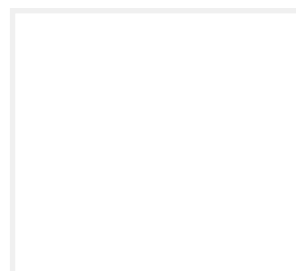
Отзыв на диссертационную работу подготовлен профессором, доктором технических наук Комаровым В.А., обсужден и одобрен на заседании кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов (протокол №13 от 06.06.2024г.).

Директор научно-образовательного
центра авиационных конструкций (НОЦ)
доктор технических наук, профессор
Телефон: +7 (846) 267-46-50
Email: vkomarov@ssau.ru





Комаров
Валерий Андреевич

Заведующий кафедрой конструкции и
проектирования летательных аппаратов
доктор технических наук, доцент
Телефон: +7 (846) 267-46-45
Email: bolav@ssau.ru



Болдырев
Андрей Вячеславович

Послужил в совет 21.06.2024  П. П. П.
С отзывом ознакомлен 24.06.2024  А. В. А.