

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Ле Вьет Туана

«Расчётная 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

Многослойные композиционные материалы все чаще используются в несущих конструкциях благодаря их многочисленным преимуществам по сравнению с металлическими материалами, особенно в конструкциях самолетов. В процессе эксплуатации самолета он подвергается различным воздействиям, включая удары крупными камнями, металлическими деталями или инструментами, а также воздействие метеорологических условий, таких как мощные градины. Эти факторы могут возникать перед взлетом, во время полета или при посадке. При воздействии ударов на многослойные композитные материалы могут возникать различные виды повреждений. Волокна композита могут быть разорваны, матрица повреждена, а также могут произойти расслоения между слоями. Эти повреждения могут быть невидимыми для невооруженного глаза, но влияют на прочность и надежность конструкции. Кроме того, даже незначительные повреждения могут привести к дальнейшему распространению разрушений внутри материала, что может угрожать безопасности и надежности объекта в целом. Применение численных методов и моделирования для оценки повреждений от низкоскоростных ударов представляет собой эффективный подход. Они позволяют провести обширные исследования с различными условиями воздействия за относительно короткий промежуток времени, более детально исследовать механизмы повреждений и ускорить процесс разработки и испытания структур композиционных материалов.

Исходя из вышеизложенного, работу Ле Вьет Туана на тему «Расчетная оценка повреждаемости композитных авиационных панелей при множественном низкоскоростном ударе» следует признать актуальной.

Содержание работы. Общий объем диссертационной работы составляет 231 страницу, включает 153 страницы основного текста, список литературы и приложения. Содержит 96 рисунков и 69 таблиц, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 141 наименования и 7 приложений.

Во введении отмечается важность выбранной темы исследования, определены его цели и задачи, подчеркнута научная новизна и практическая значимость полученных результатов, а также приведены сведения об апробации работы.

Первая глава диссертации посвящена современным подходам и методам механики контактного взаимодействия, с описанием основных инструментов анализа и решения связанных задач. Рассмотрены исторические проблемы и проведен обзор исследований воздействия града на конструкции самолета. Подчеркивается важность механики контактного взаимодействия в инженерных областях, включая авиацию. Также рассмотрены критерии разрушения композитов и программные продукты для численных решений.

Вторая глава представляет расчетную модель для анализа динамического контакта между жестким индентором и многослойной композитной пластиной с использованием ANSYS. Проведен сравнительный анализ натурных испытаний и численных расчетов полей напряжений, выявлено согласование результатов. Также выполнен анализ разрушений в углеволокнистых и стекловолокнистых композитах, выявлены различия в зонах разрушений.

В третьей главе разработан алгоритм численного решения задачи низкоскоростного контакта частицы града и композитной пластины, использующий метод гидродинамики сглаженных частиц для моделирования града. Результаты численных расчетов сравнивались с экспериментальными данными ИТПМ СО РАН и показали хорошее согласование.

Четвертая глава описывает испытания на одноосное сжатие ледяных образцов, изготовленных двумя методами. Определены механические свойства и плотность льда при различных температурах. В НГТУ создана лабораторная баллистическая установка для изучения повреждений композитных материалов при ударе, проведены натурные испытания частицами града для подтверждения внутренних повреждений.

Пятая глава приводит аппроксимирующие зависимости поврежденности композитной панели от модуля упругости и скорости льда. Разработана методика моделирования множественного удара града по композитной панели, протестированная на примере оценки повреждаемости композитной пластины и передней кромки крыла самолета при воздействии града.

В заключении представлены основные результаты по диссертационной работе и отражены перспективы и направления дальнейшей разработки темы.

Оценка научной новизны, достоверности и практической значимости результатов.

Научная новизна работы состоит в предложении подхода к оценке повреждаемости авиационных композитных панелей при ударе частицами града, основанного на определении числа повреждённых слоёв композита с помощью численного моделирования множественного низкоскоростного удара и критериев прочности слоистого материала. Создана и проверена модель одиночного удара частицы града по композитной пластине, включающая в себя модели композитной панели, контактного взаимодействия и разрушения хрупкого ударника. Определены аппроксимирующие зависимости поврежденности (число разрушенных слоёв) композитной панели при ударе частицей града от модуля упругости и скорости частицы.

Теоретическая и практическая значимость диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в развитии подхода к построению расчетных моделей для исследования прочности многослойных композиционных панелей в условиях ударного нагружения с использованием метода конечных элементов и метода частиц, что позволило решить ряд базовых задач определения прочности композитных пластин при воздействии жестких и хрупких инденторов. Практическую значимость работы подтверждают результаты, внедренные в программные комплексы, используемые для анализа и оптимизации конструкций в авиационной промышленности. Разработанные методики были использованы при проектных и поверочных прочностных расчетах авиационных панелей в ФАУ «Сибирский научно-исследовательский институт авиации имени С.А. Чаплыгина».

Достоверность и обоснованность научных результатов, выводов, положений

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы обеспечивается корректным применением математического аппарата, законов сохранения и принципов равновесной термодинамики, законов динамики деформируемого твердого тела, апробированных методов прикладной математики, сопоставлением и качественным совпадением результатов теоретического анализа с результатами численного моделирования, а также сравнением полученных результатов с результатами других исследователей.

Обсуждение полученных результатов на специализированных конференциях, публикации в научных журналах подтверждают обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Результаты диссертационной работы апробированы на научных конференциях и опубликованы в 7 работах, в том числе 2 статьи из перечня изданий, рекомендованных ВАК, в которых основные научные результаты диссертации отражены достаточно полно.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Объекты, цели и методы проведенных исследований соответствуют паспорту специальности 2.5.14 «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» по двум пунктам: «Методы определения внешних силовых и тепловых нагрузок, воздействующих на объекты авиационной, ракетной и космической техники на этапах транспортировки, применения и эксплуатации» (п. 1) и «Обеспечение прочности объектов авиационной, ракетной и космической техники с использованием современных аналитических и численных методов, а также методов натурного и полунатурного моделирования в условиях стационарных и нестационарных внешних воздействий» (п. 2).

Оценка изложения материалов диссертации и автореферата.

Материал, изложенный в диссертации, понятен, логичен, хорошо структурирован. Проведенные исследования можно считать завершенными. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

По диссертации имеются замечания, как по существу, так и редакционного характера.

1. Стр. 19: «Два тела занимают области Ω_1 и Ω_2 ... в фиксированной глобальной системе координат $x_1(t)x_2(t)x_3(t)...$ » Если система координат фиксирована и глобальна, то почему она зависит от времени?

2. Стр. 22. Почему второй тензор напряжений Пиолы–Кирхгофа назван псевдо-тензором? Это тензор условных напряжений, он характеризует силу, действующую на элементарной площадке в актуальной конфигурации и отнесенную к площадке в отсчетной конфигурации.

3. Глава 2: в названии говорится о контакте с жестким телом. Однако далее речь идет о стальной сфере, в табл. 2.1 приведены механические характеристики стали. Так каким же телом является сфера, жестким или деформируемым?

4. Там же. Это сфера или шар? Если это сфера, то почему не указана толщина, если это шар, то почему он называется сферой?

5. Таблица 3.1 – Свойства материала льда. Чем отличается предел прочности от предела прочности при растяжении?

6. Следовало бы также пояснить, что такое масштабный коэффициент сжатия напряжений.

7. Рисунок 4.6 – Кривые напряжения-деформации при сжатии льда. Деформации измеряются в процентах, а не в миллиметрах.

8. Насколько верен вывод, что лед пластичный материал. Разгрузка образца проводилась? Если да, то по какому закону?

9. Чем объясняется гигантский (чуть ли не в 8 раз) разброс экспериментальных данных, представленных в разделе 4.1.4 Результаты испытаний на одноосное сжатие в универсальной испытательной машине ViSS.

Указанные замечания и недостатки не снижают научную и практическую значимость диссертационной работы.

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.

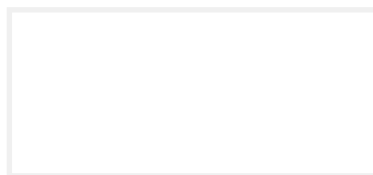
Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных лично автором исследований построена математическая модель одиночного удара частицы града по композитной пластине, включающая в себя модели композитной панели, контактного взаимодействия и разрушения хрупкого ударника.

Диссертация 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 – Ле Вьет Туан – заслуживает присуждения ученой

степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов..

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

Главный научный сотрудник лаборатории механики композитов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт гидродинамики имени М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, доктор физико-математических наук (специальность 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент



Владимир Дмитриевич Кургузов

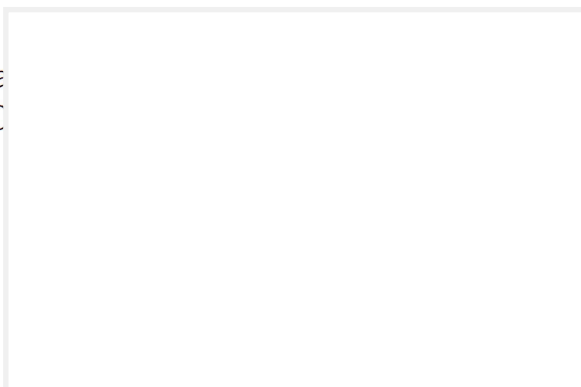
«19» июня 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики имени М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН).

630090, Россия, г. Новосибирск, Проспект Академика Лаврентьева, 15.

+7 (383) 333-21-66 (ученый секретарь), +7 (383) 333-16-12 (приемная директора), e-mail: kurguzov@hydro.nsc.ru

Подпись Кургузова В.Д. за
Ученый секретарь ИГиЛ С
к.ф.-м.н.



Хе А.К.

19.06.2024.

*Результат в свет
21.06.2024* *Д.С. Мюрин к.п.*

с отзывом ознакомлен 21.06.2024 *Хе А.К.* *Ле Вьет Туан*