

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Чан Куэт Тханг «Теоретическое и экспериментальное исследование демпфирующих характеристик слоистых металлополимерных композиционных материалов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

Алюмостеклопластик (GLARE) представляет собой перспективный класс металлополимерных композитов, используемых в конструкциях аэрокосмической техники. Такие композиты состоят из чередующихся слоев алюминиевого сплава и стеклопластика, обычно изготавливаемого на основе эпоксидного связующего. Они обладают уникальным сочетанием свойств, включая высокую усталостную прочность, высокие удельные статические свойства, высокую ударопрочность и остаточную прочность после удара и трещиностойкость, а также высокую огнестойкость и коррозионную стойкость. Исследование механических свойств таких материалов и элементов конструкций, включая анализ их динамических характеристик, частотных характеристик и коэффициентов потерь, становится особенно важным, поскольку вибрационные нагрузки являются распространенным фактором воздействия на элементы конструкций авиационной техники. Более 70% отказов в технике обусловлены вибрацией, что приводит к усталостным разрушениям элементов конструкций и поломкам электронной техники. Следовательно, результаты такого исследования могут быть ценными на практике, особенно для определения динамических свойств композитных материалов, применяемых в авиационном производстве. Это имеет значение для снижения шума и вибраций, что способствует обеспечению безопасности оборудования и повышению комфорта пассажиров. **Актуальность** данного исследования определяется повышенными требованиями к снижению шума и увеличению демпфирующих характеристик в авиационных системах и конструкционных материалах. Использование алюмостеклопластика в составе композитных авиационных конструкций требует детального изучения их динамических характеристик и зависимости этих характеристик от параметров армирования.

**Научная новизна работы** определяется полученными результатами:

– разработан новый метод идентификации динамических свойств алюмостеклопластиков, основанный на анализе параметров свободных затухающих колебаний консольно-закрепленных образцов и решении обратной задачи механики слоистых балок. Этот метод позволяет определить комплексную частоту и эффективный коэффициент потерь материала, учитывая как упругие, так и диссипативные свойства монослоев композитов в рамках метода комплексных модулей. В ходе исследования впервые было проанализировано влияние амплитуд деформаций на демпфирующие характеристики слоистых металлополимерных композиционных материалов.

– проведен анализ точности различных подходов к решению обратных задач идентификации диссипативных свойств композитов, включающих использование как статических упругих свойств монослоев, так и их динамических свойств с последовательным и одновременным поиском коэффициентов потерь.

– изучены трехмерные эффекты в зоне заделки образцов, определены характерные значения коэффициентов потерь в продольном и поперечном направлениях в монослоях стеклопластика как в однородных, так и в металлокомпозитных структурах.

**Обоснованность и достоверность полученных результатов** определяется использованием строгих и апробированных методов теории колебаний, теории упругости, теории многослойных балок и механики композиционных материалов, а также результатами динамических и статических исследований рассматриваемых материалов, аналитических и конечно-элементных расчетов. Исследованием сходимости численных решений путем выбора оптимальной сетки при конечно-элементном моделировании. Использование известных программных комплексов при аналитическом и численном (конечно-элементном) решении задач теории колебаний и применении высокоточного оборудования для проведения динамического и статического экспериментальных исследований характеристик рассматриваемых образцов.

#### **Объем и структура диссертации.**

Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (97 источников), всего 138 страниц текста.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, научная новизна и практическая ценность полученных результатов. Перечислены основные результаты, представлены сведения об апробации работы.

**В первой главе** проводится литературный обзор, обсуждаются достигнутые результаты и отмечаются текущие проблемы по теме исследования.

**Во второй главе** представлены характеристики используемых материалов и их применение в авиастроении. Отмечаются достоинства выбранного алюминиевого сплава Al-Li на основании циклических испытаний панелей фюзеляжа самолета, проводимых в США и в России, по сравнению с другими сплавами алюминия. В главе также представлены геометрические параметры исследуемого композиционного материала с различными схемами армирования и дано краткое описание методики их изготовления. Для контроля схемы армирования и толщины образцов применялся лазерный конфокальный микроскоп. В главе также представлены методики проведения динамических и статических испытаний исследуемых образцов.

**Третья глава диссертации** посвящена экспериментальному исследованию рассматриваемых материалов и разделена на два основных раздела.

В первом разделе представлены результаты статических испытаний на растяжение образцов из стеклопластика и алюмостеклопластика. Испытания проводились при таких нагрузках, которые исключали повреждение образцов. Представлены диаграммы зависимости деформаций от напряжений для образцов с различным направлением укладки, а также полученные по результатам испытаний значения модуля упругости.

Во втором разделе главы приводятся результаты динамических испытаний с использованием методики, описанной во второй главе. Далее, с использованием программного продукта Wolfram Mathematica и быстрого преобразования Фурье по полученным экспериментальным данным строилась амплитудно-частотная характеристика и была получена первая собственная частота консольно закрепленной балки. С использованием полученной АЧХ и метода логарифмического декремента был получен коэффициент потерь.

В главе также представлено решение задачи о свободных колебаниях консольно закрепленной балки с целью определения максимальной деформации исследуемых образцов в условиях динамического нагружения.

**В четвертой главе** проведена идентификация упругих и динамических свойств монослоя по известным значениям динамических характеристик образцов композитов с

разными схемами армирования, выполненная на основе теории многослойных балок и метода комплексных модулей. Исследовано влияние модуля сдвига на ошибку индентификации по данным статических испытаний и проведен анализ влияния межслойного сдвига на динамические свойства исследуемого алюмокомпозитного материала GLARE в рамках модели консольной балки Тимошенко.

**Пятая глава** посвящена численному конечно-элементному моделированию задачи о колебании консольной балки с учетом трехмерной концентрации напряжений в зоне закрепления. Проводится расчет собственной частоты, коэффициента потерь балки и оценка влияния обжатия в захвате на динамические свойства затухающих колебаний балки из композитного материала с различной схемой армирования с применением программного комплекса COMSOL Multiphysics.

**В заключении** диссертации представлены общие выводы по работе и перечислены основные результаты проведенного исследования.

**Практическая ценность** работы заключается в разработке метода проведения динамических испытаний и численно-аналитического расчета динамических свойств слоистых металлокомпозитных материалов. Важность представленных результатов на практике связана с необходимостью точной оценки динамических характеристик слоистых композитов, используемых в аэрокосмической промышленности, поскольку снижение шума и вибраций является важным вопросом для безопасности оборудования, а также для повышения комфорта пассажиров.

**Публикация и апробация.** По теме диссертации опубликовано 9 работ в научных журналах, в том числе 2 научные статьи в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ и 7 научных статей в научных журналах, входящих в международную систему цитирования Scopus. Результаты диссертационной работы докладывались на 7 международных научных конференциях и симпозиумах. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

#### **Замечания по диссертации и автореферату**

1. Стоило указать в процентах насколько отличаются измеренные соответствующие динамические и статические модули упругости испытанных образцов.

2. Полученные значения коэффициентов потерь можно было бы сопоставить с результатами микромеханического анализа в рамках простейших моделей смесей или модели цилиндрического включения для валидации полученных экспериментальных данных.

3. В работе содержится ряд орфографических ошибок и опечаток, подписи к графикам имеют разный стиль оформления.

4. В качестве замечания можно отметить отсутствие выводов по каждой главе, хотя выводы к третьей главе имеются.

Указанные замечания не снижают теоретическую и практическую значимость полученных результатов. Основное содержание работы соответствует паспорту специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин, в частности, в пунктах 3, 11, 15.

#### **Заключение.**

Диссертация Чан Куэт Тханг является законченной научно-квалификационной работой, посвященной актуальной научной задаче в области динамики машин и соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013

года №842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями и дополнениями), предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук. Соискатель Чан Куэт Тханг, **заслуживает** присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин.

**Официальный оппонент:**

Королев Вадим Вадимович, гражданин Российской Федерации  
Кандидат технических наук по специальности 05.22.06 – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

Адрес: 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9.

Тел.: +7 495 681-13-40

E-mail: [tu@miit.ru](mailto:tu@miit.ru)

Доцент кафедры «Транспортное строительство» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта»



В.В. Королев

Я, Королев Вадим Вадимович, даю свое согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы, связанные с защитой диссертации Чан Куэт Тханг, и их дальнейшую обработку.



В.В. Королев

Подпись доцента, кандидата технических наук Королева Вадима Вадимовича удостоверяю:



ДИРЕКТОР ЦКДИС

С.Н. КОРЖИН

22.04.2024

С отзывом согласен



27.04.2024