

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Белоусова Ильи Сергеевича

«Исследование влияния межслойных дефектов на прочность и устойчивость композитных элементов конструкций летательных аппаратов»,
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 машиностроении благодаря их многочисленным преимуществам по сравнению с металлическими материалами, особенно в конструкциях самолетов. В процессе производства и эксплуатации композитных элементов конструкций летательных аппаратов неизбежно возникновение дефектов, что может привести к заметному снижению несущей способности конструкции в целом. Одним из наиболее распространенных типов дефектов, которым подвержены элементы конструкций, выполненные из таких материалов, являются межслойные дефекты, или расслоения. На текущий момент не существует единого стандартного подхода, по которому можно было бы определить степень влияния обнаруженного межслойного дефекта на несущую способность конструкции и оценить уровень опасности такого дефекта. Применение численных методов и моделирования для оценки повреждений представляет собой эффективный подход. Компьютерное моделирование позволяет провести обширные исследования с различными условиями воздействия за относительно короткий промежуток времени, более детально исследовать механизмы повреждений и ускорить процесс разработки и испытания конструкций из композиционных материалов.

Исходя из вышеизложенного, работу Белоусова И.С. на тему «Исследование влияния межслойных дефектов на прочность и устойчивость композитных элементов конструкций летательных аппаратов» следует признать актуальной.

Содержание работы. Общий объем диссертационной работы составляет 161 страницу, включает список литературы из 152 ссылок и 5 приложений. Основной текст содержит 89 рисунков и 22 таблицы.

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 содержит обзор различных подходов к исследованию межслойных дефектов и процесса разрушения вследствие роста межслойных дефектов, методов экспериментальных исследований композитов с межслойными дефектами, а также подходов к моделированию расслоений в композитных пластинах методом конечных элементов.

Вторая глава посвящена экспериментальным исследованиям композитов с межслойными дефектами.

В третьей главе выполнено компьютерное моделирование описанных во второй главе экспериментов методом конечных элементов. Проведено сравнение моделей, построенных с помощью трёхмерных конечных элементов, с моделями на основе двумерных оболочечных элементов. Показано, что использование двумерных конечных элементов с заданием им сечений с соответствующей укладкой значительно уменьшает время расчёта задачи при сохранении приемлемой точности решения.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния межслойного дефекта на критическую нагрузку и несущую способность композитной пластины. Отмечается, что в зависимости от геометрических параметров межслойного дефекта может возникнуть три типа первой формы потери устойчивости: локальная форма потери устойчивости в области дефекта, глобальная форма потери устойчивости пластины как целого и смешанная, или промежуточная, форма потери устойчивости. Проведён анализ полученных автором экспериментальных данных о влиянии параметров межслойного дефекта на несущую способность композитной пластины под воздействием сжимающей нагрузки.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы, даны рекомендации и указаны направления дальнейшей разработки темы.

Научная новизна работы состоит в оценке влияния параметров межслойного дефекта круглой формы на несущую способность многослойных композитных пластин при одноосном сжимающем воздействии. Разработана компьютерная параметрическая модель многослойной композитной пластины с межслойным дефектом в виде круглого непрочного для моделирования процесса расслоения и определения несущей способности пластины. Получены новые результаты исследования влияния параметров межслойного

дефекта на критическую нагрузку и несущую способность композитных пластин при одноосном сжимающем воздействии.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и валидации конечно-элементных моделей композитных элементов конструкций летательных аппаратов с межслойными дефектами, которые включают потерю устойчивости, закритическое поведение, процесс расслоения и дают оценку разрушающей нагрузки.

Практическую значимость работы подтверждают экспериментальные и расчётные зависимости влияния межслойного дефекта на несущую способность композитных элементов конструкции летательных аппаратов. 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 результатов диссертационной работы обеспечивается согласованностью результатов расчётов и экспериментальных измерений; применением основных положений механики композиционных материалов; использованием расчётных численных моделей, построенных в апробированных и сертифицированных программных комплексах расчёта напряжённо-деформированного состояния методом конечных элементов; использованием сертифицированных измерительных машин и инструментов при проведении натурных испытаний.

Обсуждение полученных результатов на научно-технических конференциях и семинарах, публикации в ведущих научных журналах подтверждают обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Результаты диссертационной работы апробированы на научных конференциях и опубликованы в 9 работах, в том числе 3 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: «Обеспечение прочности объектов авиационной, ракетной и космической техники с использованием современных аналитических и численных методов, а также методов натурального и полунатурного моделирования в условиях стационарных и нестационарных внешних воздействий» (п. 2) и «Организация, экономика и оптимизация

процессов обеспечения прочности, термопрочности и тепловых режимов летательных аппаратов» (п. 6).

Оценка изложения материалов диссертации и автореферата.

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

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

1. Стр. 10. В разделе, где перечислены научные конференции, совершенно неуместно выглядит ссылка на публикацию соискателя, да еще и страницы какие-то странные указаны 28-24.

2. В диссертации и в автореферате в разделе «Публикации» указано 11 работ в прочих изданиях. из них 5 – это тезисы докладов. Не следует вносить тезисы в список публикаций поскольку тезисы научной ценности не представляют и публикациями не считаются.

3. Источники в списке литературы следует размещать в алфавитном порядке.

4. Зачем приведены формулы (1.1)–(1.7), если они в дальнейшем не используются?

5. В формуле (1.9) следовало бы пояснить, что такое ds .

6. Критерий максимальной интенсивности деформаций (1.12) позволяет получить критическую нагрузку, но не определяет направление распространения трещины. Критерий скорости освобождения упругой энергии (1.16), (1.17) также не позволяет определить направление распространения трещины.

7. Не ясен смысл геометрического параметра t на рис. 2.1.

8. По всему тексту диссертации: необходимо использовать систему единиц Си.

9. Раздел 2.4. Образцы О62.1 и О62.2 одинаковые и нагружены одинаково. Следовало бы объяснить, почему критические нагрузки и зоны роста межслойного дефекта (рис. 2.15) заметно отличаются.

10. По результатам, приведенным на рис. 2.24–2.31 никакие выводы не сделаны.

11. Что за элементы показаны на рис. 3.1 справа?

12. Что означает величина t_c в табл. 3.1 и 3.7?

13. Почему зоны роста межслойных дефектов на рис. 3.19 повернуты?

14. На рис. 3.35 не пояснено, чем отличаются левые картинки от правых.
15. В подписи под рис. 3.38 перепутаны а) и б).
16. На рис. 4.4. одна кривая резко отличается от остальных, с чем это связано?

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

Заключение

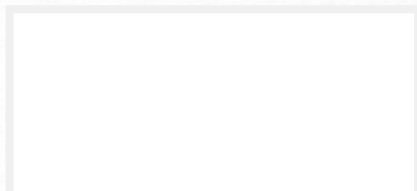
Оценивая работу в целом, следует отметить ее высокий научный уровень, строгую обоснованность решений при изложении их в тексте диссертации, актуальность и ценность результатов, как с теоретической, так и с практической точек зрения, аккуратность, скрупулезность, тщательность и дотошность в проведении огромного массива численных расчетов. 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 построены компьютерные модели потери устойчивости, закритического поведения, процессов расслоения композитных элементов конструкций летательных аппаратов с межслойными дефектами. Поставленные задачи решены полностью, все положения, выносимые на защиту, являются новыми и достоверными.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9-14 «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 Белоусов Илья Сергеевич 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

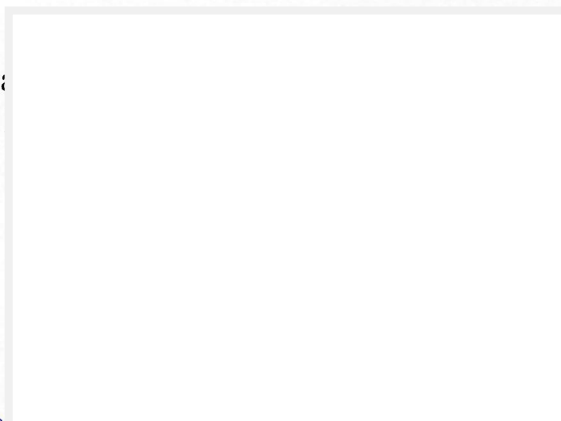
«08» июня 2026 г. ✓

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 Кургузов:
Ученый секретарь
к.ф.-м.н.



Ермишина В.Е.

Получил в свет 15.06.2026 

Сотрудник ознакомлен 18.06.2026  Белоусов ИС