



**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

СДАЮ

директор –  
по науке  
профессор

Кузнецов А.И.  
11.06. 2026 г.

11 ИЮН 2026

№ 104-3280

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Белоусова Ильи Сергеевича  
«Влияние 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

#### Актуальность диссертационного исследования

Полимерные композиционные материалы находят все более широкое применение в авиационной промышленности. Межслойные дефекты (расслоения) относятся к числу наиболее типичных повреждений, возможных в конструктивных элементах из многослойных композиционных материалов, такие дефекты сопровождаются значительным падением несущей способности элемента конструкции и могут возникать как в процессе эксплуатации летательных аппаратов, так и на этапе производства. Следовательно, существует необходимость исследования влияния дефектов на несущую способность элементов конструкций летательных аппаратов, изготовленных из таких материалов. На текущий момент времени отсутствует унифицированный стандартный метод, позволяющий однозначно оценить опасность выявленного межслойного дефекта в конструктивных элементах: приведёт ли он к снижению несущей способности или данный дефект допустим и не препятствует дальнейшему использованию конструкции.

В связи с вышесказанным следует констатировать теоретическую и практическую актуальность исследования и анализа влияния межслойных дефектов на несущую способность, как образцов, так и цельных элементов конструкции летательных аппаратов, а также задачи валидации расчетных моделей на основе экспериментальных данных.

#### Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы из 152 наименований и пяти приложений. Общий объем основной части составляет 161 страницу и включает 89 рисунков и 22 таблицы.

**Введение** содержит обоснование важности исследуемой темы, постановку целей и задач исследования, описание научной новизны и практической значимости полученных результатов. Приведено краткое описание текущего уровня разработанности проблемы в литературе.

**Первая глава** посвящена обзору 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. Отмечено, что в литературе не представлено исчерпывающих экспериментальных данных о несущей способности элементов конструкций ЛА из композитных материалов в зависимости от параметров межслойного дефекта, во многих работах сравнение результатов расчёта приводится с ограниченным набором экспериментальных данных.

Во **второй главе** представлены экспериментальные исследования композитов с межслойными дефектами, а именно:

- испытания образцов типа двойная консольная балка, изготовленных из препрега *Torayca T800*, для определения величины вязкости межслоевого разрушения при нормальном отрыве  $G_{IC}$ ;

- испытания на сжатие композитных образцов из препрега *Torayca T800* в виде полосы со сквозным непроклеем; при испытании визуально отслеживалось и фиксировалось развитие расслоения на свободных краях образца в зависимости от приложенной нагрузки;

- испытания на сжатие композитных образцов из препрега *ACM-102C 130UD* в виде пластины с предварительным дефектом в виде непроклея круглой формы, в процессе испытаний измерялись перемещения точек из плоскости образца в его середине со стороны отслоения и со стороны основного пакета; после проведения испытаний с помощью неразрушающего контроля установлены размеры зон межслойных дефектов;

- испытания на сжатие композитных образцов из препрега *ACM-102C 130UD* в виде пластины без дефекта и с предварительным дефектом в виде непроклея круглой формы до разрушения, рассмотрены образцы двух разных толщин, для каждой толщины были добавлены круглые дефекты двух диаметров, расположенных близко к поверхности образца или посередине композитного пакета; аналогично фиксировались перемещения точек из плоскости образца.

В **третьей главе** выполнено численное моделирование проведённых испытаний методом конечных элементов. По результатам моделирования испытаний образцов в виде двойной консольной балки рассмотрена корректность методов моделирования процесса расслоения. По результатам моделирования испытаний образцов типа полоса со сквозным непроклеем и образцов в виде пластины с круглым непроклеем при сравнении зон роста расслоения получено качественное соответствие результатов численного моделирования экспериментальным данным, характер закритического поведения образцов также имеет хорошее качественное совпадение с результатами моделирования. По результатам моделирования испытаний образцов без дефекта и с дефектом в виде непроклея круглой формы из препрега сжимающей нагрузкой до разрушения проведена валидация конечно-элементной модели относительно разрушающей нагрузки образцов. Для большинства типов образцов разница между экспериментальными и расчетными величинами разрушающей нагрузки не превышает 13%.

**Четвертая глава** посвящена исследованию влияния межслойного дефекта на критическую нагрузку и несущую способность композитной пластины. С использованием валидированной конечно-элементной модели проведены численные параметрические

исследования влияния геометрических параметров межслойного дефекта на несущую способность композитной пластины. Получены зависимости разрушающей нагрузки пластины с межслойным дефектом от размеров дефекта, его расположения по толщине пластины и от толщины самой пластины.

В **заключении** приведены основные результаты работы, изложены дальнейшие планы по развитию темы исследований.

Наиболее важными результатами работы являются следующие.

1. Дана оценка влияния параметров межслойного дефекта круглой формы на несущую способность пластин, полученная на основании новых экспериментальных данных.

2. Разработана и валидирована расчётная параметрическая модель многослойной композитной пластины с межслойным дефектом в виде круглого непрочлея для моделирования процесса расслоения и определения несущей способности пластины

3. Получены новые результаты по влиянию параметров межслойного дефекта на критическую нагрузку и несущую способность композитных пластин при одноосном сжимающем воздействии.

Все отмеченные выше результаты представляют **научную новизну** работы.

**Достоверность и обоснованность результатов** работы определяется согласованностью результатов расчетов и экспериментальных измерений; применением основных положений механики композиционных материалов; использованием расчетных численных моделей, построенных в апробированных и сертифицированных программных комплексах расчета напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов; использованием сертифицированных измерительных машин и инструментов при проведении натуральных испытаний.

#### **Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы**

Теоретическая значимость определяется необходимостью разработки и валидации расчетных конечно-элементных моделей композитных элементов конструкции ЛА с межслойными дефектами, которые учитывают потерю устойчивости, закритическое поведение, процесс расслоения и оценку разрушающей нагрузки.

Практическая значимость заключается в получении экспериментальных и расчетных зависимостей влияния межслойного дефекта на несущую способность композитных элементов конструкции ЛА.

Результаты диссертационной работы Белоусова Ильи Сергеевича использованы в ФАУ «СибНИА им. С. А. Чаплыгина» (г. Новосибирск) при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

**Личное участие соискателя в получении результатов**, изложенных в диссертационной работе, не подлежит сомнению. Результаты работы прошли апробацию на всероссийских и международных научно-технических конференциях по тематике исследования, опубликованы 14 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ. Материал диссертации достаточно полно изложен в опубликованных работах. Содержание автореферата полностью отражает основные результаты диссертации.

Материал, изложенный в диссертации, понятен, логичен, хорошо структурирован. Проведенные исследования можно считать завершенными.

В тоже время по рассмотренной работе необходимо высказать некоторые **замечания**.

1. В диссертационной работе отсутствует пояснение, по какому принципу выбирались укладки композитных пакетов для рассматриваемых композитных пластин. Кроме того, стоило рассмотреть, как влияет укладка композитного пакета на несущую способность композитной пластины с дефектом.

2. Практическую значимость результатов исследования можно было бы расширить, рассмотрев влияние нескольких дефектов на несущую способность композитной пластины.

3. В работе отсутствует сравнение экспериментальных данных, и результатов численного моделирования с результатами решения рассматриваемых задач аналитическими методами. Стоило бы их привести, по крайней мере, для некоторых простейших случаев.

Указанные замечания не затрагивают существа научной новизны и практической ценности полученных результатов работы.

#### **Соответствие паспорту заявленной специальности**

Основное содержание диссертационной работы соответствует п.п. 2 и 6 Паспорта научной специальности 2.5.14. Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

#### **Заключение**

Считаем, что диссертационная работа Белоусова Ильи Сергеевича «Влияние межслойных дефектов на прочность и устойчивость композитных элементов конструкций летательных аппаратов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов, отвечает критериям, изложенным в пунктах 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Автор работы, Белоусов Илья Сергеевич, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по научной 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 расширенном заседании кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского университета 09 июня 2026 года (протокол заседания №11).

Директор научно-образовательного  
центра авиационных конструкций (НО  
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

Поступил в свет 16.06.2026  Комаров В.А.

4

Согласован документ 18.06.2026  Белоусов И.С.