

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФАУ «СибНИА им.

С.А. Чаплыгина», к.т.н.

В. Е. Барсук

2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Бессонова Павла Сергеевича
**«Разработка алгоритмов анализа нагружения авиационных конструкций в
задачах оценки усталостной долговечности»,**
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.5.14. Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Актуальность темы исследования

Создание современных летательных аппаратов, обладающих высокими тактико-техническими данными и высокой экономичностью, предъявляет повышенные требования к вопросам прочности их конструкций. Обеспечение высокой прочности конструкции достигается применением эффективных методов расчета и качественного проведения экспериментальных исследований как отдельных элементов конструкций летательных аппаратов, так и натурных испытаний их конструкций в целом. Проблема усталостного разрушения конструкции летательного аппарата также является важным фактором, влияющим как на срок службы ЛА, так и на экономическую эффективность их эксплуатации. Для оценки точности прогнозирования ресурса ЛА требуется более точный анализ нагруженности конструкции на всех этапах жизненного цикла. Этим вопросам и посвящена диссертационная работа Бессонова П.С.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 89 наименований. Работа содержит 130 стр., 39 рисунков, 8 таблиц, 2 приложения.

Во введении приводится общий обзор работы, обозначены актуальность, цели и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость, достоверность результатов. Приводится список статей, выступлений на конференциях и участия в научно-технических конкурсах, в ходе которых производилась апробация работы.

В первой главе приведен аналитический обзор современных методов анализа внешних нагрузок, действующих на конструкцию планера ЛА на ключевых этапах жизненного цикла и используемых для оценки усталостной

долговечности. Проведен анализ существующих подходов, позволивший: выявить недостаточно изученные аспекты анализа нагрузок; определить наиболее актуальные проблемы в этой области; обосновать выбор направлений для собственного исследования. На основании проведенного анализа сформулированы конкретные задачи, решаемые в работе.

В главе 2 представлен алгоритм прогнозирования усталостной долговечности, включающий анализ данных в частотной области с элементами временного подхода. Верификация данного алгоритма на экспериментальных виброакустических испытаниях и синтезированных модельных данных показала его практическую применимость в рамках методологии оценки усталостной прочности.

В третьей главе разработан алгоритм и программное обеспечение для анализа циклического нагружения образцов из полимерно-композиционных материалов для определения их усталостных характеристик трещиностойкости по моде сдвига. Представлены результаты применения алгоритма к группам образцов, отличающихся как толщиной, так и способом инициации расслоения.

В четвертой главе приведены результаты исследования применения подходов машинного обучения для прогнозирования внешних нагрузок на опорах шасси транспортного самолёта по данным его штатного бортового регистратора. В рамках данной работы установлено преимущество архитектур нейронных двунаправленных рекуррентных сетей (RNN) перед сетями прямого распространения. Приведены рекомендации для формирования оптимальных нейросетевых алгоритмов для прогнозирования нагрузок авиационной техники.

В заключении приведены выводы по результатам диссертационной работы, а также перспективы дальнейшего развития темы исследования.

Новизна исследования и полученных результатов.

- 1) Разработаны алгоритмы моделирования нагрузок, действующих на конструкции ЛА, основанные на применении искусственного интеллекта и нейронных сетей, позволяющие точнее вести учёт нагруженности каждого экземпляра ЛА в эксплуатации.
- 2) Разработан и апробирован на экспериментальных данных алгоритм и специальное программное обеспечение для определения расчётных характеристик ПКМ по моде сдвига, основанные на анализе данных нагружения образца при усталостных испытаниях, отличающиеся учётом физических особенностей развития расслоения в образце.
- 3) Разработан алгоритм определения усталостной долговечности конструкций ЛА по спектральным данным о нагрузках, основанный на статистическом моделировании нагрузок во временной области методом Монте-Карло, отличающийся интеграцией физически обоснованных

моделей накопления повреждений и позволяющий повысить точность расчётных оценок долговечности конструкции ЛА.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выносимые на защиту, и полученные в работе выводы представляются обоснованными, поскольку они базируются на применении современных апробированных методов расчета на усталостную долговечность конструкций ЛА, признанных отечественной и зарубежной научной общественностью, прошли обсуждения на российских и международных научных конференциях, а также опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

Значимость для науки и практики полученных результатов.

Заключается в возможности применения разработанных алгоритмов для решения важных задач авиационной отрасли, направленных на повышение экономической эффективности эксплуатации современных летательных аппаратов. Полученные результаты рекомендуется использовать для:

1. Определения поэкземплярной нагруженности шасси транспортных самолётов в реальных условиях эксплуатации на основе данных штатного аварийного бортового регистратора.
2. Повышения экономической эффективности эксплуатации парка летательных аппаратов за счет перехода от регламентного обслуживания к предиктивной модели, основанной на фактическом накоплении повреждаемости каждого экземпляра.
3. Формирования программ натурных усталостных испытаний авиационных конструкций с учётом воздействий виброакустического нагружения и статистических данных о нагруженности ЛА в эксплуатации.
4. Определения усталостных характеристик перспективных слоистых ПКМ по моде сдвига.

Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует направлениям исследований, указанным в паспорте специальности 2.5.14 Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов, а именно пунктам 1. Методы определения внешних силовых и тепловых нагрузок, действующих на объекты авиационной, ракетной и космической техники на этапах транспортировки, применения и эксплуатации и 2. Обеспечение прочности объектов авиационной, ракетной и космической техники на основе современных аналитических и численных методов, методов натурального и полунатурного моделирования в условиях стационарных и нестационарных внешних воздействий.

Достоверность и апробация результатов

Подтверждена верификацией данных численных экспериментов с экспериментальными данными, полученными в процессе усталостных испытаний и лётного эксперимента.

Основные результаты работы обсуждались на 7 отраслевых российских и международных конференциях, по теме диссертации автором опубликовано 10 работ, 3 из них – из списка, рекомендованного ВАК РФ, получено 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе

В качестве замечаний по диссертационной работе стоит отметить следующее:

- 1) Рис. 1.14 По тексту к описанию этого рисунка один выходной сигнал, а на рисунке их множество. Как должно быть?
- 2) Стр. 52, абзац первый «Для определения нагрузок использовался трёхслойный перцептрон с сигмоидальными функциями активации. В заключении работы сделаны выводы о том, что точность прогноза нагрузок с помощью ИНС составляет около 1%, а при использовании регрессионного анализа лишь 5 – 15 %». Правильно надо понимать 1% и 5-15% это низкая точность прогноза, или это все же погрешность прогноза?
- 3) Стр. 56. «Разработка алгоритма определения усталостной долговечности на основе данных о нагрузках, представленных в частотной области, **учитывающая** физические модели накопления усталостных повреждений, используемых в отечественном авиастроении». К какому существительному относится причастие «учитывающая»? Может правильно – «учитывающего».
- 4) На рисунке 2.8-2.9 непонятно к какой кривой относится метод Монте-Карло.
- 5) По главе 3 (§3.1-3.3) непонятно, на основе каких данных производится описание алгоритма построения диаграммы КДР. Желательно привести описание КПО при испытаниях их на ресурс.
- 6) По главе 4, в силу того, что заявлено в названии раздела «Разработка алгоритмов» желательно привести или математическое описание алгоритма или представить его в виде диаграмм.
- 7) В главе 4 желательно привести расчетную схему шасси магистрального самолета, а также сравнение абсолютных величин нагрузок (в кгс), полученных на основании норм летной годности и ИНС по данным штатного аварийного бортового регистратора.
- 8) Стр. 106, на рисунке 4.4 и по тексту нет информации о нанесенных на рисунке кривых.

- 9) В таблицах 4.2-4.4 не указаны размерности данных в колонках «МАРЕ», «МРЕ» и «D». Кроме того, при анализе этих таблиц непонятно на основании какого критерия, из выше перечисленных, оценивалась эффективной той или иной схемы нейросети. Правильно ли было оценивать ее по средней арифметической ошибке(МРЕ)? Данное замечание относится не только к разделу 4, но и к разделу 3

Заключение

Общая оценка выполненной соискателем работы является положительной. Представленные замечания носят рекомендательный характер.

Диссертационная работа является завершенным научным исследованием, имеющим научную ценность и практическую значимость. Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертации. Материалы диссертационной работы полно отражены в статьях в журналах из списка ВАК и представлены в материалах конференций. Таким образом, по актуальности и объему выполненных исследований, новизне, достоверности, научной и практической значимости полученных результатов и выводов диссертационная работа Бессонова П.С. полностью удовлетворяет требованиям и критериям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842. Соискатель Бессонов Павел Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Материалы диссертационной работы, автореферат и отзыв прошли обсуждение и получили одобрение на расширенном заседании научно-технического совета ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина» (протокол №15 от 22.10.2025 г.).

Заместитель начальника отделения
усталостной и статической прочности,
д.т.н., старший научный сотрудник

 Лев Петрович Железнов
«19» 11 2025 г.

Заместитель начальника отделения
усталостной и статической прочности

 Валерий Андреевич Беспалов
«19» 11 2025 г.

Наименование организации: ФАУ «Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина» (СибНИА)

Почтовый адрес: 630051, г. Новосибирск, ул. Ползунова, д. 21

Телефон: +7 (383) 278-70-10

Электронная почта: sibnia@sibnia.ru

Сайт: www.sibnia.ru