



ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы инженера 1 категории
ФАУ «ЦАГИ» Баутина Андрея Александровича «Метод обнаружения
повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного
напряжённо-деформированного состояния», представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. –
Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

Диссертационная работа посвящена актуальной для филиала «Региональные самолёты» ПАО «Яковлев» теме – мониторингу структурной целостности несущих систем летательных аппаратов. Вынесенные на защиту результаты расчётно-экспериментальных исследований могут быть использованы в ходе лабораторных ресурсных испытаний на выносливость, длительность развития трещин и остаточную прочность полноразмерных натурных образцов и агрегатов самолётов семейства RRJ-95.

Наряду с мониторингом переменной нагруженности, методы контроля структурной целостности основных силовых элементов серийных самолётов способны обеспечить максимально полное использование возможностей каждого экземпляра, находящегося в эксплуатации. Для этого, однако, требуется решение ещё ряда задач, выходящих за рамки данной диссертационной работы. В частности, нужно изыскать способы установки первичных преобразователей с долговечностью, превышающей назначенный ресурс самолёта, такие способы должны быть предварительно отработаны на планерах для ресурсных испытаний. Также нужно расширить функции бортовых накопителей с регистрации показаний датчиков деформаций до первичной и вторичной обработки – здесь, безусловно, будут востребованы алгоритмы нейросетевой аппроксимации, опробованные автором на конструктивно-подобных образцах.

После ознакомления с авторефератом и полным текстом диссертации считаем необходимым отметить следующие **замечания**:

- В обзоре состояния проблемы (глава 1) не упомянут способ установки датчиков обнаружения трещин с чувствительным элементом в виде токопроводящей композитной пасты. Данный способ защищен патентом RU2446392C1.
- На странице 31 рассказывается о применении метода главных компонент (РСА) с отсылкой к рисунку 1.8(а), в то время как иллюстрация работы РСА показана на рисунке 1.9(а); на странице 38 предлагается расчёт деформации посмотреть на рисунке 1.14(в-г), но есть только рисунок 1.14(в).
- Рекомендуем автору в дальнейших работах, связанных с верификацией и валидацией расчётных моделей напряжённо-деформированного состояния (стр. 75) опираться на термины ГОСТ Р 57700.41—2022 «Верификация и валидация компьютерных моделей. Определение напряжённо-деформированного состояния конструкций в упругопластической области», а также, ГОСТ Р 57700.14—2018 «Численное моделирование физических процессов. Верификация получаемых сеточными методами

численных решений задач механики сплошной среды» и ГОСТ Р 57700.25—2020 «Компьютерные модели и моделирование. Процедуры валидации».

- Верное по смыслу деление повреждений при эксплуатации воздушных судов «... на 3 группы: случайные, вызванные воздействием внешней среды и усталостные» (стр. 105) имеет более строгий аналог, например, в Нормах летной годности самолетов транспортной категории НЛГ-25, п. 25.571(а). Там предписано «...показать, что аварийной или катастрофической ситуации из-за усталости, коррозии, дефектов производства или случайного повреждения можно избежать в течение всего времени эксплуатации самолета».

Вышеприведенные замечания носят непринципиальный характер и не снижают ценности и практической значимости диссертационной работы.

Считаем, что диссертационная работа содержит новые полезные для развития авиационной отрасли результаты. Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор – Баутин Андрей Александрович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Мы, Митрофанов Олег Владимирович и Клепцов Виктор Иванович, даём согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Заместитель начальника НИО прочности –
заместитель главного конструктора по
прочности, д.т.н.
e-mail: O_Mitrofanov@sj.yakovlev.ru


(подпись, дата)
13.03.2025

О.В. Митрофанов

Заместитель начальника департамента
внешних нагрузок НИО прочности, к.т.н.
e-mail: V_Kleptsov@sj.yakovlev.ru


(подпись, дата)
13.03.25

В.И. Клепцов

Подписи Митрофанова Олега Владимировича и Клептова Виктора Ивановича заверяю:

Руководитель направления
по работе с филиалами и ДЗО



Синицын И.В.

Название организации: филиал ПАО «Яковлев» - «Региональные самолёты»

Почтовый адрес: 115280, г. Москва, ул. Ленинская Слобода, 26, стр. 5

Телефон: +7 (495) 777-21-01

Электронная почта: office@yakovlev.ru

Сайт: yakovlev.ru

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Баутина Андрея Александровича на тему:
**«МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В АВИАКОНСТРУКЦИЯХ
НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА МЕСТНОГО НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ»**,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.14 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

Диссертация Баутина А.А. направлена на разработку и апробацию эффективного метода контроля целостности авиационных конструкций, который позволяет своевременно обнаруживать эксплуатационные повреждения. В основе метода лежит использование данных периодической тензометрии для проведения моделирования эволюции местного НДС элементов конструкций с применением МКЭ и дальнейшего критического анализа кинетики повреждений с привлечением искусственной нейронной сети. По сути, автором предложена концепция создания интеллектуальной конструкции и проведена ее успешная широкая апробация при решении ряда практических задач, что подтверждено актами АО «НЦВ Миль и Камов», ПАО «Корпорация «Иркут», ФАУ «ЦАГИ».

Актуальность и своевременность представленной диссертационной работы очевидны, так как автором разработаны новые методы и технологии бортовых средств обнаружения повреждений, позволяющие более эффективно проводить анализ влияния возникающих трещин и дефектов на остаточную прочность авиационных конструкций. В диссертационной работе грамотно использовано гармоничное сочетание экспериментальных данных, численных и аналитических методов анализа. На основе проведенных исследований получены новые результаты, имеющие достаточно весомую **научную и практическую ценность**. К наиболее важным результатам следует отнести:

1. Разработан метод определения оптимальной схемы тензометрии для мониторинга состояния фюзеляжных стыков авиационных конструкций, позволяющий своевременно устанавливать появление многоочаговых усталостных повреждений и отслеживать их эволюционные изменения во времени;

2. Разработан метод моделирования НДС фюзеляжных стыков авиационных конструкций, учитывающий различную морфологию и локацию возникающих усталостных повреждений, обеспечивающий получение необходимых данных для построения искусственной нейронной сети.

3. Разработан метод оценки целостности фюзеляжных стыков авиационных конструкций, позволяющий сформировать характерные совокупности допустимых вариантов многоочаговых повреждений.

Необходимо подчеркнуть, что разработанные Баутиным А.А. методы и технологии бортовых средств обнаружения повреждений в фюзеляжных стыках можно распространить и на другие типы конструкций, что открывает широкие возможности для использования результатов диссертационного исследования в авиационной и космической отраслях.

К **замечаниям** по содержанию автореферата следует отнести:

1. В тексте не указано, что исследуются многорядные стыки, представляющие собой соединения листов постоянной толщины. В таких стыках трещины возникают только в зоне крайних наиболее нагруженных рядов соединения, вблизи которых возможно использование тензодатчиков для задач мониторинга состояния.

2. В п. 3.2 при определении оптимальной схемы расположения датчиков рекомендуется рассмотреть и привести дополнительные условия, связанные с невозможностью установки датчиков в некоторых зонах из-за физических или иных ограничений.

3. Не рассмотрен анализ применимости разработанного метода в условиях, отличающихся от одноосного растяжения образцов фюзеляжных панелей при лабораторных испытаниях.

4. Отсутствует сравнение полученных результатов с мировым опытом создания интеллектуальных систем (интегрирование в конструкцию полупроводниковых тензодатчиков, пьезоэлектрических сенсоров и актюаторов).

Указанные замечания ни в коей мере не снижают общего положительного впечатления от работы.

Автореферат диссертации написан грамотным техническим языком, достаточно хорошо проиллюстрирован графическим материалом. Результаты исследований многократно докладывались и обсуждались на международных и отраслевых тематических конференциях, а также были опубликованы в 21 печатной работе, из которых 6 – в научно-технических журналах из перечня ВАК, 7 – в изданиях, индексируемых МСЦ Scopus, 1 – глава в монографии издательства Springer. Диссертационная работа представляет собой законченное исследование, по актуальности, научной новизне и практической ценности заслуживает высокой оценки, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 16.10.2024 г.)) и заявленной специальности, а ее автор Баутин Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14 – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Доцент кафедры

«Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения»,

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)»,

кандидат технических наук

 **Астапов Алексей Николаевич**
14.03.2025 г.

Подпись Астапова Алексея Николаевича удостоверяю.

Заведующий кафедрой

«Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения»

ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)»,

доктор физико-математических наук, профессор



Рабинский Лев Наумович

125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Телефон: +7-499-158-42-64

Адрес электронной почты: astapovan@mai.ru

Сайт: <http://www.mai.ru>

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Баутина А.А.

«Метод обнаружения повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного напряжённо-деформированного состояния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

Актуальность работы

Обнаружение усталостных повреждений важная и трудозатратная процедура, которая проводится как в эксплуатации, так и в условиях лабораторных испытаний. Технологии обнаружения возникающих повреждений развиваются по пути наращивания автоматизированных, встроенных в бортовой измерительный комплекс, средств диагностики, которые позволят сократить влияние человеческого фактора, а также обеспечат высокую эффективность контроля, за счет выявления повреждений на ранних стадиях развития. Основной тренд совершенствования способов поддержания летной годности ЛА в настоящее время заключается в разработке элементной и методической базы для создания и внедрения бортовых систем мониторинга состояния, которые позволят проводить непрерывный анализ целостности авиационных конструкций в течение всего срока эксплуатации. В испытаниях такой подход позволит предотвратить преждевременные разрушения, повысит объективность анализа причин появления повреждений, что, как следствие, приведёт к сокращению длительности экспериментальных исследований.

Наравне с аппаратной частью, в состав системы мониторинга должно входить ПО, позволяющее корректно интерпретировать регистрируемый датчиками отклик. Обработка и интерпретация данных, входит в спектр задач, которые успешно решаются методами искусственного интеллекта.

Научная новизна

Новизна диссертационной работы заключается в разработке нового метода обнаружения усталостных повреждений в фюзеляжных авиационных стыках на базе предложенной автором схемы тензометрии. Для реализации метода, автором разработан способ получения исходных данных, в результате применения которого формируется и исследуется зависимость между повреждениями и границами зоны изменения местного НДС. Анализ полученной зависимости позволяет определять оптимальные места установки датчиков для мониторинга состояния элементов фюзеляжных стыков.

Практическая значимость работы

Результаты проведённых исследований являются заделом для развития темы мониторинга состояния и используются разработчиками авиационной техники (АО

«НЦВ Миль и Камов», ПАО «Корпорация «Иркут») в теоретических и экспериментальных исследованиях по разработке бортовых систем. Результаты внедрены в методическую базу ЦАГИ и используются в экспертных и научно-исследовательских работах.

Замечания

- 1 Глава 1 включает много информации о разработке и внедрении систем мониторинга в эксплуатацию различной авиационной техники, а метод, рассмотренный в работе, разработан и опробован в испытаниях авиационных конструкций, чему в главе 1 уделено значительно меньше внимания.
- 2 Из текста автореферата не ясно, из каких соображений выбран запас по наработке для обнаруживаемых усталостных повреждений, и проводилась ли расчетная оценка показателей трещиностойкости образцов фюзеляжных стыков при многоочаговом повреждении.
- 3 В автореферате не описано в достаточной мере, каким образом сравниваются деформации при различных внешних нагрузках в испытаниях и как фактические нагрузки для мониторинга состояния планируется определять в условиях эксплуатации.

Указанные замечания несут рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Оценка содержания автореферата позволяет сделать заключение о том, что диссертационная работа Баутина А.А. «Метод обнаружения повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного напряжённо-деформированного состояния» выполнена на высоком научном уровне и представляет собой самостоятельное завершённое исследование. Диссертация отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным исследованиям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Баутин Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

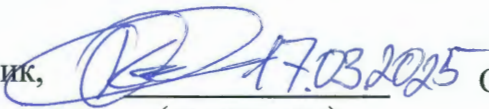
Я, Осипов Константин Анатольевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку

Отзыв составил:

К.т.н, ведущий научный сотрудник,
ФАУ ЦИАМ им. П.И. Баранова

e-mail: kaosipov@ciam.ru

тел: +7(967) 196-55-99


(подпись, дата)

Осипов К.А.

Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного
моторостроения имени П.И. Баранова»

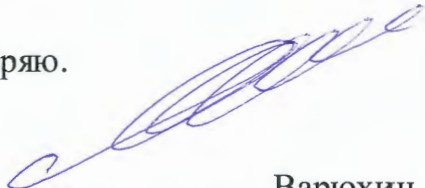
Адрес: 111116, Россия, Москва, ул. Авиамоторная, д. 2

Телефон: +7(495) 555-21-77

e-mail: info@ciam.ru

Подпись Осипова Константина Анатольевич заверяю.

Заместитель генерального директора –
директор исследовательского центра
«Гибридных и электрических силовых
установок» ЦИАМ им. П.И. Баранова


Варюхин А.Н.



17.03.2025

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Баутина А.А.

«Метод обнаружения повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного напряжённо-деформированного состояния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14.

Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

Разработка эффективных методов обнаружения повреждений является одной из наиболее важных задач для обеспечения безопасности в условиях высокоинтенсивной эксплуатации современных самолетов транспортной категории. Закономерным в такой ситуации является создание новых методов контроля целостности авиационной конструкции, основанных на непрерывном анализе данных бортовых систем, которые могут применяться в качестве альтернативы стандартным способам поддержания летной годности, реализованным за счет периодического контроля. Отдельной задачей для создания и применения средств мониторинга является интерпретация регистрируемых данных. Обработка данных является одной из наиболее распространенных сфер, в которых использование методов искусственного интеллекта крайне эффективно и даёт наиболее практически полезные результаты.

Диссертационная работа Баутина А.А. посвящена актуальной проблеме разработки научно-методического подхода к мониторингу состояния элементов фюзеляжа авиационных конструкций с соединениями. В результате расчетно-экспериментальных исследований автором показана эффективность применения средств измерения деформаций для обнаружения усталостных трещин в фюзеляжных стыках и разработан метод мониторинга состояния стыков, опробованный в ходе испытаниях на усталость конструктивно подобных образцов.

Новизна работы заключается в разработке нового метода определения схемы тензометрии для обнаружения в фюзеляжных стыках усталостных повреждений, имеющих многоочаговый характер. Для реализации метода, соискателем разработан способ получения исходных данных, позволяющий сформировать и проанализировать зависимость между повреждениями и границами зоны изменения деформаций с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС). На основе анализа полученной зависимости определяется оптимальное количество датчиков, необходимое для мониторинга состояния стыков.

Практическая значимость работы заключается в разработке подходов, позволяющих сократить длительность и уменьшить трудоёмкость натурных ресурсных испытаний, также результаты работы используются для создания научно-технического задела по теме мониторинга.

В качестве замечаний по содержанию автореферата необходимо отметить следующее:

- 1 В разделе 3.2.1 отсутствует обоснование выбора метода имитации отжига среди других методов определения экстремумов;
- 2 Не рассмотрен вопрос о возможности использования библиотек подпрограмм с открытым кодом или других вариантов импортозамещения;
- 3 В структуре работы не предусмотрен раздел, включающий рекомендации о требуемом составе и объеме исходных данных, необходимых для обучения ИНС, а также рекомендации о корректном выборе структуры ИНС для получения практически полезного результата.

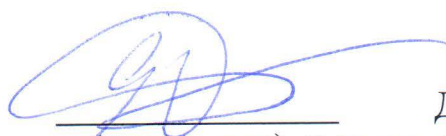
Указанные замечания не снижают значимости сделанных выводов и важности результатов, полученных автором.

В заключении стоит отметить, что диссертационная работа выполнена на высоком уровне и является законченной научно-квалификационной работой.

Представленная работа соответствует всем требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор диссертационной работы Баутин Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Отзыв составил:

К.ф.-м.н, доцент, кафедры
теоретической физики и кафедры
компьютерного моделирования
ФАКТ МФТИ
e-mail: edorofeev@mail.ru



(подпись, дата) 25.02.2025

Дорофеев Е.А.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

Адрес: 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9

Телефон: +7(495)408-57-00

e-mail: info@mipt.ru

Подпись Дорофеева Евгения Александровича заверяю:

Старший диспетчер ФАКТ МФТИ



М.П.

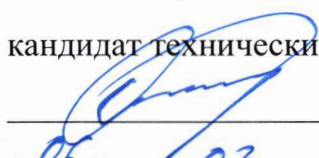
Моргунова М.А.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной
работе

ФАУ «СибНИА им. С.А. Чаплыгина»

кандидат технических наук

 Д.Н. Смирнов

« 06 » 03 2025 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы

Баутина Андрея Александровича

на тему «Метод обнаружения повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного напряжённо-деформированного состояния», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Актуальность темы работы.

Диссертационная работа посвящена вопросам обеспечения безопасной эксплуатации самолётов транспортной категории с использованием подхода эксплуатационной живучести. Внедрение результатов работы позволит снизить расходы, направленные на поддержание лётной годности, а также уменьшить трудоёмкость и повысить надёжность контроля целостности планера, понизить частоту периодических осмотров.

Основные результаты и их новизна

Новизна работы заключается в применении нового разработанного автором метода обнаружения усталостных трещин в элементах фюзеляжных стыков на докритической стадии развития.

Основные научные результаты:

1. Разработан метод определения схемы тензометрии для мониторинга состояния стыков авиаконструкций, позволяющий использовать данные тензометрии для своевременного обнаружения многоочаговых усталостных повреждений;
2. Разработан метод получения исходных данных для мониторинга состояния стыков авиаконструкций, позволяющий сформировать и проанализировать зависимость между повреждениями и границами зоны изменения деформаций с помощью искусственной нейронной сети;
3. Разработан метод определения параметров усталостных повреждений в стыках авиаконструкций, позволяющий сформировать характерную для типового стыка совокупность допустимых вариантов многоочагового повреждения.

4. Результаты экспериментальных исследований, позволяющие использовать данные тензометрии для мониторинга состояния конструкции стыков с визуально не обнаруживаемыми повреждениями.

Значимость для науки и практики полученных результатов работы заключается в разработке эффективного подхода для оценки остаточной прочности конструкций летательных аппаратов.

Достоверность результатов

Подтверждается сравнением с экспериментальными данными, а также с использованием сертифицированных программных продуктов на основе МКЭ.

Степень обоснованности и достоверности полученных положений, выводов и заключений, содержащихся в диссертации. Научные положения, выносимые на защиту, и полученные в работе выводы представляются обоснованными, поскольку они базируются на применении современных апробированных методов расчёта на прочность 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 и входящих в международные базы цитирования Scopus. Выводы по диссертации оформлены структурно и содержательно, подтверждены практическими расчётами в ходе численных экспериментов, проведённых в работе.

Замечания по работе

1. В автореферате слишком частое употребление словосочетания «В параграфе...».
2. Рис.2.2. Не понятно, что за координата t показана для сечения 2. Что за размерность деформаций на рисунках «в»? Что за разброс в показаниях (как я понял из рисунка) тензодатчиков.
3. Неплохо было бы привести выводы по гл.2.
4. Рис. 4.1(б). Не понятно, что за вертикальная координата, единица измерения (почему отрицательные значения)?
5. Формула 7 стоит σ_n , а в пояснении σ_0

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Автореферат диссертации дает основания утверждать, что диссертация Баутина А.А. является законченным научным исследованием, выполнена на высоком уровне, содержит актуальные (новые) научные исследования, имеющие важную теоретическую и практическую значимость в авиационной (ракетно-космической) отрасли. Работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов», а диссертант заслуживает присуждения искомой степени.

Отзыв подготовили:

Начальник отделения
усталостной и статической прочности



Александр Сергеевич Лазненко

«05» марта 2025 г.

Тел.: +7(983) 134-42-86
E-mail: laznenko.a@sibnia.ru

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



Лев Петрович Железнов

« 5 » 03 2025 г.

Тел.: +7(913) 375-94-81
E-mail: zgeleznov@sibnia.ru



Подписи Лазненко Александра Сергеевича, Железнова Льва Петровича удостоверяю.

Дата « 07 » 03 2025 г.

Начальник отдела кадров 
О.С. Смирнова

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

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Баутина А.А.

**«Метод обнаружения повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного напряжённо-деформированного состояния»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.14. Прочность и тепловые режимы летательных
аппаратов**

Авиационная отрасль это одна из наиболее технологически сложных и динамично развивающихся сфер современной экономики. Важнейшей задачей обеспечения безопасности полетов является контроль целостности авиационных конструкций, представляющий собой комплекс мероприятий, направленных на обнаружение дефектов, оценку их влияния на прочность и долговечность конструкции, а также прогнозирование развития повреждений во времени. Эффективность такого контроля напрямую влияет на надежность летательного аппарата, снижение эксплуатационных расходов и повышение уровня безопасности полетов.

Авиационные конструкции подвергаются значительным механическим нагрузкам, воздействию агрессивных сред и температурных колебаний. Данные обстоятельства приводят к возникновению различных видов повреждений, включая усталостные трещины, коррозию, повреждения от ударов. Своевременное выявление и устранение таких повреждений позволяет предотвращать катастрофические последствия, в том числе в полете. Традиционные методы контроля целостности конструкции, такие как визуальный осмотр, ультразвуковой контроль и рентгенография, имеют ряд ограничений.

В этой связи тема диссертационной работы Баутина А.А. является актуальной. Тема обусловлена необходимостью разработки эффективных максимально приближенных к условиям эксплуатации и испытаний методов контроля целостности авиационной конструкции. Результаты работы также полезны для мониторинга технического состояния с целью снижения стоимости испытаний и обслуживания, сокращения сроков проведения натурных испытаний, уменьшения влияния человеческого фактора и повышения надёжности технического обслуживания летательных аппаратов.

Новизна и научная значимость работы не вызывает сомнений. Автором разработан и применен новый метод обнаружения усталостных трещин в элементах фюзеляжных стыков на докритической стадии развития. Определена оптимальная схема расположения датчиков таким образом, чтобы появление в конструкции повреждений могло быть зафиксировано путём анализа относительного изменения деформаций.

Научно и методически обосновано, что оптимальной для типового стыка транспортного самолёта является установка не менее одного датчика вблизи четырех отверстий.

Результаты проведенных исследований имеют практическую значимость и могут быть использованы для разработки новых методов поддержания лётной годности, основанных на применении принципов мониторинга состояния конструкции летательных аппаратов, а также для расширения возможностей сокращения длительности и снижения трудоёмкости натурных ресурсных испытаний авиационных конструкций.

По тексту автореферата можно выделить некоторые недостатки:

- 1 В разделе 4.1 автореферата при описании эмпирического подхода отсутствует анализ возможности перенесения полученных результатов по определению порогового значения ε_{th} на другие типы образцов и измерительного оборудования.
- 2 В тексте автореферата не приведены ссылки или сведения о надежности использования тензодатчиков в условиях длительных испытаний авиационных конструкций на усталость в ожидаемых условиях эксплуатации.
- 3 Из текста автореферата не понятна оценка адекватности математического моделирования при определении параметров метода обнаружения многоочаговых трещин авиаконструкций на основании чего сделан вывод, что принятые допущения не оказывают существенного влияния на полученные результаты.

Указанные замечания несут рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Несмотря на указанные замечания, диссертационная работа Баутина Андрея Александровича на тему «Метод обнаружения повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного напряжённо-деформированного состояния» выполнена на высоком научном уровне и представляет собой самостоятельную законченную научную работу, имеющую существенное значение для развития авиации РФ. Диссертация отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным исследованиям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Баутин Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. – Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Отзыв составил:

Заведующий кафедрой

«Метрология и взаимозаменяемость»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Д.т.н., доцент



12.05.2025

Комшин А.С.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»

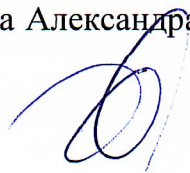
Адрес: 105005, г. Москва,

ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1

e-mail: komshin@bmstu.ru

Тел.: +7(499)263-66-33, доб. 4075

Подпись д.т.н., доцента, заведующего
кафедрой Комшина Александра Сергеевича
заверяю:



СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ
ОТДЕЛА КАДРОВОГО
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ
ХОДЫКИНА Л.Д.



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального директора
по разработке АТ – Директор
Инженерного центра, Главный
конструктор МС-21



К.Ф. Попович

07 2022 г.

АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы А.А Баутина
«Метод определения повреждений в авиаконструкциях на основе
мониторинга местного напряжённо-деформированного
состояния», представленной на соискание учёной степени
кандидата технических наук, в ИЦ ПАО «Корпорации «Иркут»

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы Баутина Андрея Александровича «Метод обнаружения повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного напряжённо-деформированного состояния», были использованы для формирования научно-технического задела инженерного центра ПАО «Корпорации «Иркут» в направлении разработки новых средств и методов поддержания летной годности, основанных на применении принципов мониторинга состояния, перспективных типов самолётов с металло-композитной конструкцией.

В частности, результаты расчетно-экспериментальных исследований кинетики местного напряжённо-деформированного при появлении усталостных повреждений и методика обнаружения многоочаговых усталостных трещин в элементах фюзеляжных стыков с помощью анализа данных тензометрии, переданные в рамках договорных работ по соглашению с МИНОБРНАУКИ (уникальный идентификатор RFMEFI62518X0044), внедрены в научно-исследовательскую практику ПАО «Корпорации «Иркут».

Начальник отделения – Заместитель
главного конструктора по прочности

А.Г. Яшутин

"УТВЕРЖДАЮ"

Главный конструктор

АО «НЦВ Миль и Камов»



Щербина В.Г.

2022 г.

АКТ

об использовании в АО «НЦВ Миль и Камов» научных
результатов диссертационной работы Баутина А.А.,
представленной на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Результаты диссертационной работы Баутина Андрея Александровича «Метод обнаружения повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного напряжённо-деформированного состояния» были использованы при оценке результатов повторно-статических испытаний фюзеляжа и послужили основой для разработки методики определения технического состояния фюзеляжа вертолета в эксплуатации на основе данных местного напряженно-деформированного состояния элементов его конструкции.

Разработанная автором методика обнаружения усталостных трещин в элементах авиационных конструкций и полученные расчетные и экспериментальные результаты о влиянии повреждений на кинетику местного напряжённо-деформированного состояния использовались при формировании методической базы АО «НЦВ Миль и Камов», и в значительной мере способствовали разработке концепции и облику бортовой системы контроля и диагностики состояния критических узлов и деталей жизненно важных агрегатов вертолета («СКД-28»), предназначенной для контроля и диагностики технического состояния вертолетов типа Ми-28.

Заместитель главного конструктора

A handwritten signature in blue ink, belonging to A.S. Barabushka.

А.С. Барабушка

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального директора
— начальник комплекса прочности

ФГУП «ЦАГИ»

М. Ч. Зиченков

2022 г.



АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы Баутина Андрея Александровича «Метод определения повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного напряжённо-деформированного состояния», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.14. (05.07.03) — «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы Баутина А.А. «Метод определения повреждений в авиаконструкциях на основе мониторинга местного напряжённо-деформированного состояния», которая представлена на соискание учёной степени кандидата технических наук внедрены в практику теоретических и экспериментальных исследований ФГУП «ЦАГИ». Научный труд Баутина А.А. являются частью работ по формированию задела в направлении разработки и апробации новых средств и методов мониторинга состояния авиационной конструкции транспортного самолёта.

В работе ФГУП «ЦАГИ» были использованы следующие результаты:

– Методика обнаружения многоочаговых усталостных трещин в элементах фюзеляжных стыков по результатам анализа данных тензометрии, включённая в работы по созданию научно-технического задела по теме мониторинга состояния и выпущенная в виде НТО ФГУП «ЦАГИ» для выполнения исследований по государственным контрактам и договорным работам (шифр «Эволюция» отчеты ЦАГИ: № 18-18-1313 2017 г., № 18-0000 2017 г.; шифр «Магистраль-технология» отчеты ЦАГИ: № 18-18-1306 2017 г., 18-1322 2018 г., № 18-1329 2019 г.; соглашение с МИНОБР НАУКИ (уникальный идентификатор RFMEFI62518X0044) отчеты ЦАГИ: № 18-6338/4 2018 г., № 18-6402/1 2019 г.; шифр «Порыв 2021» отчеты ЦАГИ: № 18-6435 2020 г., № 18-6414 2020 г., № 18-6482 2021 г., № 18-6483 2021 г., № 18-6481 2021 г.; шифр «Порыв 2» отчет ЦАГИ № 18-6437 2020 г.).

– Результаты расчетно-экспериментальных исследований кинетики местного напряжённо-деформированного состояния критических мест планера ЛА при появлении усталостных повреждений, которые использовались для формирования экспертной документации («Заключение о функционале системы СКД-28 для контроля и диагностики состояния критических узлов и деталей жизненно важных агрегатов вертолёт», 2019 г.).

Начальник НИО-18 ЦАГИ, к.ф.-м.н.

С.В. Дубинский

Заместитель начальника НИО-18 ЦАГИ, к.т.н.

А.В. Панков