

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ФГУП ГосНИИ ГА,
канд. техн. наук



Д.В. Бобылев

2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

Федерального государственного унитарного предприятия
Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации на
диссертационную работу Баутина Андрея Александровича «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 исследования

Создание современных ЛА сопровождается разработкой целого ряда технологий, обеспечивающих безопасность, технологичность и высокую экономическую эффективность авиационных изделий, предназначенных для условий интенсивной эксплуатации. Одним из перспективных направлений, отвечающих приоритетам роста авиационной отрасли нашей страны, сформулированных в государственной программе «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы», является разработка эффективных средств контроля состояния ЛА, которые позволят своевременно и надежно обнаруживать возникающие повреждения с минимальными экономическими издержками.

Диссертационная работа Баутина Андрея Александровича посвящена решению актуальной и практически значимой задачи, которая заключается в разработке нового метода мониторинга состояния конструкции ЛА с помощью анализа фактических деформаций, зарегистрированных тензометрической системой. Мониторинг состояния позволит расширить функционал мер по поддержанию летной годности, а также даст возможность сократить длительность и снизить трудоёмкость натурных ресурсных испытаний. Особую важность в контексте создания и применения средств мониторинга имеет разработка методов интерпретации данных, полученных системой измерения.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 126 наименований и четырех приложений.

Во введении работы приведены актуальность и степень разработанности темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, обоснована научная новизна, выделены положения, которые выносятся на защиту, представлена практическая значимость работы, подтверждённая примерами внедрения результатов исследования и приведены сведения об апробации работы на конференциях и семинарах, а также данные о публикациях автора в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, и в изданиях, индексируемых наиболее авторитетными наукометрическими базами данных.

В первой главе приведён действующий подход к обеспечению безопасности полётов, обоснованы возможности для его развития, возникающие при использовании системы мониторинга в эксплуатации ЛА. Рассмотрены преимущества применения системы мониторинга в условиях ресурсных испытаний натурных конструкций. Приведены результаты использования различных тестовых бортовых систем, включая описание элементной и методической базы, послужившей основой для разработки новых технологий. Показано, что сформированный теоретический и экспериментальный задел позволяет в полной мере реализовать принцип эксплуатационной живучести для авиационных конструкций с возникающими многоочаговыми повреждениями, типа фюзеляжных стыков. Приведена постановка задачи исследования, а также состав комплекса расчетно-экспериментальных работ, необходимых для её выполнения.

Во второй главе приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований кинетики НДС в зонах, расположенных вблизи наиболее нагруженных рядов, фюзеляжных стыков при появлении усталостных повреждений. Представлены данные тензометрии, которая проводилась при испытании конструктивно подобных образцов фюзеляжных стыков на усталость, и результаты анализа изменения НДС, полученные с помощью численного моделирования МКЭ. Проведено сравнение расчётных и экспериментальных результатов. Приведены данные о характере многоочаговых трещин, возникающих в элементах стыков, дана оценка возможности обнаружения усталостных повреждений стыков визуальным способом, а также путём анализа изменения местных деформаций регистрируемых тензоизмерительной системой.

В третьей главе представлена методика мониторинга состояния элементов фюзеляжных стыков по результатам тензометрии. Рассмотрена задача определения оптимальных мест установки датчиков, используемых для обнаружения возникающих многоочаговых трещин. Приведена постановка задачи условной оптимизации целевой функции, характеризующей зависимость повреждений и границ зоны изменения местного НДС, решаемой для определения мест измерения деформаций. Представлена схема модулей программного обеспечения, разработанного для выполнения расчетов. Приведены результаты обнаружения усталостных трещин при использовании методики в ходе испытаний образцов продольных и поперечных фюзеляжных стыков.

В четвёртой главе рассмотрены основные параметры метода мониторинга состояния стыков, обеспечивающие надежное обнаружение повреждений на докритической стадии развития. Представлен способ определения суммарной площади многоочаговых трещин, обеспечивающий своевременное обнаружение повреждений в критических сечениях конструкции с соединениями. Приведены рекомендации по выбору параметров методики и результаты дополнительных исследований, подтверждающие обоснованность используемых допущений для результатов, полученных расчетным способом.

В заключении автор обобщает полученные результаты, дает рекомендации по их практическому применению.

В приложении представлены акты внедрения результатов работы на ведущих предприятиях авиационной промышленности России.

Научная новизна работы

– Получены новые экспериментальные данные, характеризующие влияние усталостных многоочаговых повреждений на изменение местных деформаций вблизи критических сечений типовых фюзеляжных стыков, позволяющие использовать данные тензометрии для мониторинга состояния конструкции стыков авиаконструкций с визуально не обнаруживаемыми повреждениями;

– Разработан метод определения схемы тензометрии для мониторинга состояния стыков, основанный на анализе параметров НДС по результатам моделирования МКЭ, отличающийся возможностью оптимизации количества датчиков, позволяющий использовать показания тензодатчиков для своевременного обнаружения многоочаговых усталостных повреждений;

– Разработан метод получения исходных данных для мониторинга состояния стыков, включающий моделирование местного НДС с помощью МКЭ, отличающийся возможностью варьирования параметров многоочагового повреждения средствами специального программного обеспечения, позволяющий сформировать и проанализировать зависимость между повреждениями и границами зоны изменения деформаций с помощью нейронных сетей;

– Разработан метод определения параметров усталостных повреждений в авиационных фюзеляжных стыках, основанный на анализе действующих в критическом сечении напряжений, отличающийся расчетно-экспериментальной оценкой суммарной площади многоочаговых усталостных трещин докритического размера, позволяющий сформировать характерную для типового фюзеляжного стыка совокупность допустимых вариантов многоочагового повреждения.

Практическая значимость результатов исследования

Результаты, полученные в работе, могут использоваться на предприятиях авиационной отрасли для:

1 Сокращения длительности и снижения стоимости/трудоемкости натурных ресурсных испытаний, за счёт своевременного обнаружения повреждений и предотвращения преждевременных разрушений;

2 Формирования экспертной документации на разработку и внедрение новых средств контроля целостности планера, включающих бортовые системы мониторинга состояния;

3 Нарастивания функциональных возможностей научно-экспериментального комплекса и расширения информационной базы, содержащей данные об изменении свойств конструкции в результате циклической наработки.

Степень обоснованности положений, выводов и рекомендаций,

Научные положения, результаты, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе обоснованы и доказаны.

Выносимые на защиту положения и выводы, полученные в работе, обосновываются и верифицируются достаточным объемом экспериментальных данных, а также результатами расчета по применяемым для анализа прочности методикам. Основные положения диссертационной работы отражены в шести публикациях соискателя в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки, а также обсуждались на восьми международных и отраслевых научно-технических конференциях и семинарах.

Соответствие паспорту специальности

Диссертация посвящена разработке метода обнаружения повреждений на основе контроля местного НДС методами тензометрии при нестационарном внешнем нагружении и полностью соответствует направлениям исследований, указанным в паспорте специальности 2.5.14. Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.

Замечания по диссертационной работе

1 В тексте научной работы отсутствует оценка эффективности применения разработанного метода в случае перераспределения деформаций вследствие пластических деформаций, например, в точечных связях;

2 Содержание работы не включает оценку необходимого объема измерительного оборудования, которое требуется для мониторинга состояния элементов всего фюзеляжа самолета с помощью разработанного метода. В главе 2 отсутствует описание используемых в эксперименте тензометрических датчиков;

3 Расчетная схема КЭ модели фюзеляжного стыка, используемая в главе 2, приведена без необходимых подробностей, не указаны деформации (в направлении конкретной оси, эквивалентные, главные) используемые для верификации КЭМ;

4 Не показаны допускаемые и фактические значения погрешностей косвенного метода измерений с применением расчетно-экспериментальной оценки суммарной площади многоочаговых усталостных трещин докритического размера,

использовавшегося соискателем при разработке метода определения параметров усталостных повреждений в стыках авиаконструкций, основанного на анализе действующих в критическом сечении напряжений;

5 В тексте диссертационной работы нет явных рекомендаций о необходимости изменения нормативной документации при изменении способа обеспечения безопасной эксплуатации элементов конструкций с соединениями, эксплуатируемых в настоящее время по принципу «безопасного ресурса», по требованиям которого усталостные повреждения должны быть практически невероятны в пределах установленного ресурса;

6 В недостаточной степени освещен вопрос в части применения и внедрения результатов данной диссертационной работы в новые или действующие методы поддержания летной годности летательных аппаратов транспортной категории.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа Баутина Андрея Александровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой полученные результаты изложены последовательно, обеспечено их логическое единство и соответствие цели исследования. Теоретические и научно-методические положения, выводы по результатам исследования характеризуются научной новизной, практической и теоретической значимостью для развития отрасли науки в области разработки эффективных средств контроля состояния ВС, которые позволят своевременно и надежно обнаруживать возникающие повреждения с минимальными экономическими издержками. Содержание диссертационной работы свидетельствует о личном вкладе Баутина Андрея Александровича в науку.

Автореферат в достаточной мере отражает основные положения, представленные в диссертационной работе.

Материалы диссертации в полной мере отражены в статьях журналов, входящих в перечень рецензируемых изданий ВАК при Минобрнауке России.

Диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям ВАК при Минобрнауке России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, приведённым в Постановлении Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 16.10.2024) "О порядке присуждения ученых степеней" (вместе с "Положением о присуждении ученых степеней") (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025).

Соискатель 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 обсуждены и одобрены на расширенном заседании отделов «Научного центра поддержания летной годности ГосНИИ ГА» (НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА):

- отдел исследования проблем эксплуатации самолетов «Ту»;

- отдел проблем эксплуатации самолетов «Ил» и «Як»;
- отдел поддержания летной годности и совершенствования методов ТОИР вертолетов и секции № 2 «Исследование проблем эксплуатации воздушного транспорта и поддержания летной годности воздушных судов» Ученого совета ФГУП ГосНИИ ГА (Протокол от 14.03.2025 № 2).

Главный конструктор,
заместитель директора
НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА,
кандидат технических наук,
+79852789911,
gromov@gosniiga.ru

М.С. Громов
« 19 » марта 2025

Громов Михаил Степанович выражает согласие на обработку персональных данных и включение данных в аттестационное дело соискателя.

Наименование организации: Федеральное государственное унитарное предприятие Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации

Сокращенное наименование организации: ФГУП ГосНИИ ГА

Почтовый адрес: 125438, г. Москва, ул. Михалковская, д. 67, корп. 1

Телефон: +7 (495) 450-26-15

Электронная почта: gosniiga@gosniiga.ru

Сайт: <http://www.gosniiga.ru/>

Констан

