

БАЗОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Девятков Иван Владимирович

канд. экон. наук, старший научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова – МГУ, РФ, г. Москва

Юргенсон Сергей Александрович

канд. техн. наук, младший научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова – МГУ, РФ, г. Москва

Жаренов Иван Александрович

младший научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова – МГУ, РФ, г. Москва

Мишаков Дмитрий Михайлович

младший научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова – МГУ, РФ, г. Москва

Туев Дмитрий Владимирович

младший научный сотрудник, Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова – МГУ, РФ, г. Москва

BASIC FUNCTIONAL REQUIREMENTS TO AN AIRCRAFT HARDWARE MONITORING SYSTEM

Ivan Devyatov

Candidate of Economic Sciences, Senior Researcher of the Lomonosov Moscow State University – MGU, Russia, Moscow

Sergei Iurgenson

Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher of the Lomonosov Moscow State University – MGU, Russia, Moscow

Ivan Zharenov

Junior Researcher of the Lomonosov Moscow State University – MGU, Russia, Moscow

Dmitry Mishakov

Junior Researcher of the Lomonosov Moscow State University – MGU, Russia, Moscow

Tuev Dmitrii

Аннотация. В этой статье формируются базовые функциональные требования к элементам системы мониторинга технического состояния авиационных конструкций, расположенных на борту летательного аппарата.

Abstract. This article formulates the basic functional requirements for the hardware of an aircraft hardware monitoring system.

Ключевые слова: эксплуатация по состоянию; системы мониторинга состояния; прочность авиационных конструкций; элементная база.

Keywords: health-based operation; health monitoring system; aircraft hardware durability; hardware components.

Исследование финансируется Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению о предоставлении субсидии № 05.607.21.0329 (внутренний номер Соглашения 05.607.21.0329) от «18» декабря 2019 г. (уникальный номер RFMEFI60719X0329), прикладные научные исследования проводятся по теме «Разработка базовых проектных решений системы мониторинга технического состояния конструкций и сложных инженерных изделий в интересах обеспечения техногенной безопасности, устойчивого функционирования критической инфраструктуры Российской Федерации и развития отраслей отечественной промышленности».

Для повышения безопасности полетов необходимо создание комплексной системы обнаружения повреждений ответственных элементов авиационных конструкций на ранних стадиях их развития. В соответствии с возможностями современных информационных технологий потребность в переходе от традиционной системы жестко фиксированных периодических регламентных работ к более совершенной системе контроля и управления техническим состоянием воздушного судна (ВС), основанной на сборе и анализе информации о техническом состоянии, становится все более очевидной [1].

Главным преимуществом этой системы является возможность безопасного применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в элементах конструкции перспективных ВС за счет использования современных методов контроля и мониторинга состояния для выявления внутренних повреждений с одновременной оценкой изменения предельно допустимых нагрузок на изделие [2].

В последние годы в ряде стран проводятся исследования по созданию подобных систем мониторинга технического состояния авиационных конструкций, которые принято называть SHM (от англ. Structure Health Monitoring).

Эти работы особенно интенсифицировались в связи с полномасштабным внедрением ПКМ в основную силовую конструкцию ВС.

Это обусловлено, прежде всего:

- чувствительностью конструкций из ПКМ к внешним эксплуатационным (прежде всего - к ударным) воздействиям;
- стремлением понизить уровень проектных критериев (и, соответственно, повысить весовую эффективность конструкции), обеспечивая безопасность эксплуатации не введением запасов прочности, повышающих толерантность конструкции к возможным эксплуатационным повреждениям, а своевременным выявлением и устранением таких повреждений;

- стремлением снизить эксплуатационные расходы на проведение необходимого контроля конструкции с одновременным повышением надежности такого контроля;
- особенностью структуры ПКМ, позволяющей интегрировать в конструкцию необходимые для контроля датчики и средства передачи их сигналов.

Современная система мониторинга состояния конструкции должна иметь ряд встроенных в конструкцию ВС датчиков и информационно-аналитический блок, чтобы получать информацию о выходе контролируемых параметров за пределы допустимых значений в реальном времени. С помощью перспективных волоконно-оптических датчиков (ВОД), датчиков акустической эмиссии и деформации, встроенных или расположенных на поверхности композиционных материалов можно осуществлять непрерывный мониторинг изделий из ПКМ.

К базовым целям такой системы можно отнести:

- Контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) особо ответственных конструктивных элементов и критических мест конструкции самолета.
- Выдачу информации о текущем состоянии особо ответственных конструктивных элементов и критических мест конструкции самолета при наземном техническом обслуживании.
- Сохранение исходной информации на бортовых системах регистрации и наземных системах, которая может применяться использоваться как эксплуатантом ВС, так и разработчиком ВС.

Для отработки отдельных элементов системы целесообразно применение экспериментальных стендов. Стенд оснащается устройствами для автоматизированного создания нагрузки на изделия, первоначальными датчиками и электропреобразователями, средствами сохранения и учета сведений, которые сводятся в единую систему мониторинга состояния изделий. Такая система дает возможность автоматически вести непрерывный контроль, получать сведения о динамике процессов деформации и изменениях НДС элементов конструкций в процессе изменении действующих нагрузок.

Методология работы системы:

- Формирование архива данных от датчиков, для расчета НДС в конструкции самолета при различных внешних воздействиях.
- Измерения НДС на основе информации от датчиков системы и бортовых регистраторов полетной информации.
- Информирование о достижении в отдельных элементах конструкции предельных деформаций (напряжений) с целью изменения профиля полета (по фактическим параметрами датчиков).
- Учет информации о НДС в части определения технического состояния конструкции самолета при наземной обработке информации.
- Обеспечение информацией о фактическом нагружении особоответственных конструктивных элементов и критических мест конструкции самолета наземных служб и разработчика авиационной техники.
- Дополнение паспорта изделия с встроенной системой датчиков фактическими значениями, обеспечивающими определение достигаемых параметров НДС и определения технического состояния.
- Получение дополнительной информации о процессе изготовления деталей из ПКМ.
- Анализ деформаций при выполнении сборочных работ.
- Калибровка и контроль работоспособности системы путем внутренней диагностики.

С учетом стандарта ISO 13374 и OSA-CBM определено несколько уровней, из которых формируется система:

Уровень 1 - Сбор данных, характеризующих количественные или качественные свойства контролируемых объектов или подлежащих измерению в целях контроля технического состояния, диагностирования и прогнозирования отказов оборудования.

Уровень 2 - Обработка данных для дальнейшего анализа (фильтрация, масштабирование и т.д.)

Уровень 3 - Мониторинг состояния: Основной функцией этого уровня является сравнение текущих значений контролируемых параметров с базовым уровнем (ГОСТ Р ИСО 17359-2009) с целью выявления изменений и оценки состояния оборудования (исправное, неисправное, неопределенное и т.д.).

Уровень 4 - Оценка состояния (Диагностика): Основной функцией этого уровня является определение состояния системы, подсистемы или отдельного оборудования в части его деградации, используя при этом не только текущую информацию, но, также, и тенденции, основанные на прежних данных, и историю технического обслуживания.

Уровень 5 - Прогнозирование: Основной функцией этого уровня является проецирование текущего состояния в будущее или определение остаточного ресурса, принимая во внимание характер будущего использования системы.

Уровень 6 - Выдача рекомендаций: Основной функцией этого уровня является формирование рекомендаций относительно планирования действий по техническому обслуживанию, а, также по реконфигурации оборудования и изменению полетного задания с целью успешного завершения полета

Уровень 7 - Человеко-машинный интерфейс (Уровень предоставления информации): Основной функцией этого уровня является выдача летному экипажу и инженерно-техническому персоналу информации относительно оценки прогнозируемого состояния, рекомендаций по обслуживанию, уведомлений об отказных ситуациях, и, также, обеспечение доступа к необходимой пользователю информации предыдущих уровней.

В состав системы входят:

- Бортовая система – датчики, средства коммуникации, регистраторы, модули бортовой обработки информации (могут быть интегрированы в существующие бортовые вычислители).
- Информационно-аналитический модуль – блоки снятия данных, обработки информации, архивирования, автоматического анализа.
- Модуль производственного контроля.

Интеграция датчиков системы в конструкции выполняется на различных этапах производства для разных типов материалов. Для металла монтаж производится после изготовления детали и выполнения всех этапов производства. Для изделий из ПКМ внутренние датчики располагаются на этапе формирования пакетов материала, что позволяет получить информацию о деформациях изделия, возникающие при формовке. Поверхностные датчики монтируются после изготовления и механической обработки.

Перед вылетом система в автоматическом режиме должна произвести самодиагностику с целью выявления отказов отдельных элементов. Все неполадки устраняются (если это возможно) при периодических формах обслуживания. На этапе полета производится сбор информации от датчиков и бортовых средств регистрации полетной информации. Система производит сбор в импульсном режиме с записью информации в блоки регистрации.

В полете производится периодическое сравнение фактических данных с заданными уровнями ограничений для мест конструкции, значительно влияющих на безопасность полета. Выдача предупреждений осуществляется только по отдельным местам, разрушение которых приведет к катастрофической или сложной ситуации, при этом может допускаться наличие превышений по системе в целом. Алгоритм обработки должен быть наиболее простым и требовать минимальных вычислительных ресурсов. Ошибки и погрешности измерения учитываются в автоматическом режиме по заранее определенным алгоритмам.

При регистрации превышения данных над заданными ограничениями информация передается в кабину пилота в виде световой индикации и рекомендаций по изменению профиля полета,

согласованными с другими системами самолета. Значения ограничений и базовых параметров для проведения сравнения формируется на этапах ресурсных и статических испытаниях самолета и конструкций. Такой подход значительно упрощает обработку информации и не требует сложных алгоритмов обработки. Базовой информацией для сравнения являются параметры полета, т.е. нагрузки элемента конструкции ВС.

Информация об обнаружении отклонений от базовых параметров передается в службу осуществляющую техническое обслуживание самолета для возможности планирования работ. Элементы, в которых система отказала полностью, при невозможности замены данных элементов, контролируется традиционными методами контроля с применением стандартных процедур.

Система может применяться на различных типах ВС в комплексе с бортовой системой регистрации полетной информации. Работа в комплексе позволяет определить источник нагрузки и однозначно сопоставить приложенную нагрузку (внешние факторы) и значения датчиков для определения изменения технического состояния.

Заключение

Создание полномасштабной системы SHM авиационных конструкций, на основе которой при минимальных эксплуатационных расходах можно было бы существенно снизить уровень проектных критериев для металлических и, особенно, композитных конструкций (т.е. уменьшить требования к стойкости конструкции к повреждениям, повысить уровень расчетных напряжений и весовую эффективность) - дело отдаленного будущего.

Повышение процентной доли использования композиционных материалов в составе основных силовых элементов конструкции самолетов нового поколения вызывает острую необходимость модернизации российской системы эксплуатации ВС. Кроме этого, требуется понизить (причем существенно) трудоёмкость работ по контролю технического состояния конструкции ВС в эксплуатации и одновременно повысить точность, надежность и объективность данных, получаемых по результатам данного контроля.

За счет указанных мер представляется возможным минимизировать запасы прочности, применяемые на сегодняшний день для авиационных конструкций, что позволит повысить их весовую эффективность, одновременно поднимая и ресурсные характеристики.

Результаты

Создание системы мониторинга позволит контролировать техническое состояние авиационных конструкций в процессе эксплуатации, не допуская выхода за пределы допустимых внешних нагрузок, а также своевременно выявлять повреждения критических элементов конструкции, что в целом приведет к повышению безопасности полетов и увеличению эффективности эксплуатации.

Список литературы:

1. Принципы построения системы мониторинга технического состояния конструкции для авиационных конструкций. Л.Л. Фирсов, С.А. Юргенсон // Пермский инновационный территориальный кластер волоконно-оптических технологий «ФОТОНИКА», Т.4, №4 / МАИ (НИУ), Москва, 2017
2. Перспективы использования бортовых автоматизированных систем контроля выработки усталостного ресурса авиационных конструкций / Игнатович С., Карускевич М., Бурау Н., Краснопольский В. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Спецвипуск — частина 2. — С.136-143. — (механіка та матеріалознавство).