

СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО И ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» И ЕГО ИНТЕГРИРОВАННАЯ ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.В. Майоров, И.Е. Мухин, А.Н. Попов,

С.Л. Селезнев (АО «Авиаавтоматика» им. В.В.Тарасова», г. Курск)

Рассмотрены основные методы и средства диагностики технического состояния планера и основных агрегатов авиационного комплекса на основе вертолета, подверженного наибольшему механическим воздействиям во время полета, создания систем контроля физического состояния пилота во время полета. Показано, что логическим завершением процедуры безопасной эксплуатации воздушных судов является внедрение интегрированной логистической поддержки их технической эксплуатации.

Ключевые слова: авиационный комплекс, планер, диагностика, интегрированная логистическая поддержка, ячейка Брэгга.

Введение

В РФ с ноября 2013 г. введены в действие рекомендации 101-й поправки ИКАО по обеспечению безопасности полетов воздушных судов (ВС), основным тезисом которых является указание: «Любая организация, ответственная за типовую конструкцию или изготовление ВС, должна внедрить систему управления безопасностью полетов (СУБП), которая бы:

- определяла риски для безопасности полетов;
- обеспечивала принятие коррективных действий, необходимых для поддержания согласованного уровня безопасности полетов;
- предусматривала проведение постоянного мониторинга и регулярной оценки уровня безопасности полетов;
- имела своей целью постоянное повышение общей эффективности СУБП [1].

Эти рекомендации учитываются и активно внедряются в текущей работе ассоциации вертолетной индустрии и союза авиапроизводителей России. СУБП должна включать процессы, направленные на существенное снижение влияния человеческого фактора в авиационных происшествиях как минимум на 80% в течение 5...6 лет и прогнозирование отказов авиационной техники. Одним из важнейших аспектов СУБД является мониторинг состояния авиационного комплекса (АК), включающего воздушное судно (ВС) и пилота как сложной технической системы «человек-машина», а также регулярная оценка уровня безопасности полетов. Другим немаловажным экономическим аспектом является снижение затрат на эксплуатацию ВС, который базируется на принципах эксплуатации по техническому состоянию и интегрированной логистической поддержки эксплуатации ВС [1,5,10]. Формально-логическая схема интеграции этих аспектов представлена на рис. 1.

Практическая реализация представленной формально-логической схемы сопряжена с рядом нерешенных задач научно-практического и технологического плана.

Целью статьи является разработка научно-практических подходов к поэтапному созданию технических средств и систем мониторинга авиационного комплекса «человек-машина», позволяющих существенно повысить эффективность функционирования СУБП и обеспечить переход к эксплуатации ВС по техническому состоянию.

Рассмотрим одну из основных проблем, касающихся комплексной диагностики АК, и возможные пути ее разрешения.

Проблемы комплексной диагностики АК и пути их разрешения

Пока в контур управления АК включен человек, высокой остается вероятность авиационных происшествий, связанных с так называемым «человеческим фактором». По статистике доля авиационных происшествий, связанных с этим фактором, постоянно находится на уровне 70%. Исходя из этого, вытекает актуальная необходимость контроля не только технического состояния АК, но и физического состо-



Рис. 1. Формально-логическая схема взаимодействия систем диагностики текущего состояния ВС и пилота с системами долговременного прогнозирования и интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации ВС

яния пилота. Подсистема контроля физического состояния пилота во время полета должна в масштабе реального времени, связанного с бортовым временем АК, неинвазивным методом определять и записывать в защищенный бортовой накопитель ВС параметры пульса, частоты дыхания и уровня кислорода в крови, коррелированные со всеми траекторными эволюциями ВС. Это позволит в дальнейшем определить степень готовности пилота к каждому полету и выработать рекомендации по улучшению его функционального состояния. Крайним случаем применения этой подсистемы является подача сигнала SOS в эфир при потере сознания пилотом.

Вся система мониторинга АК должна подразделяться на бортовую и наземную компоненты. Бортовая компонента должна в реальном масштабе времени отслеживать необходимое и достаточное число значений параметров ВС с целью контроля их выхода за недопустимые пределы, которые могут привести к аварийной ситуации. При выходе контролируемых параметров за ограничения пилоту должна подаваться визуальная и звуковая информация о прекращении полета. Наземная компонента имеет целью проведение постоянного анализа всех накопленных к текущему моменту полетных данных и определение скорости движения многомерного вектора параметров к границам гиперкуба допустимых параметров. Знание этой скорости позволит осуществить долговременный прогноз остаточного ресурса ВС до вывода его из эксплуатации.

В настоящее время в РФ разработана концепция создания интегрированной системы обеспечения безопасности полетов перспективного скоростного вертолета. Она носит системный, интегрированный характер, и ее внедрение рассчитано на несколько этапов по мере освоения предыдущих. Реализация концепции во многом определяется следующими факторами:

- возможностью создания малогабаритных высокопроизводительных бортовых вычислительных систем реального времени;
- возможностью создания блоков системы с минимальными массогабаритными характеристиками;
- ценовыми показателями, доступными для широкой категории эксплуатантов.

Реализация такой концепции ввиду ее многообразия и сложности должна носить поэтапный характер с постепенным наращиванием функциональной насыщенности и завершенности.

Разрабатываемая система должна включать средства диагностики напряженно-деформированного состояния планера и ответственных механических узлов ВС, а также средства оценки физического состояния пилота. В комплексе с этими средствами одновременно должна быть разработана система интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации ВС, которая логически замыкает цепочку «диагностика ВС — диагностика физического состояния пилота — прогноз остаточного ресурса ВС — интегрированная логистическая поддержка

технической эксплуатации ВС на основе диагностической и прогностической информации — эксплуатация ВС по техническому состоянию».

Одной из основных задач системы мониторинга АК является обоснованный выбор датчиков определения технического состояния ВС и физического состояния пилота.

Выбор метода и средств диагностики технического состояния ВС

На основе проведенного анализа существующих датчиков контроля технического состояния ВС по критерию «надежность — массогабаритные показатели» выбраны оптоволоконные датчики с распределенными ячейками Брэгга [2–4,6] и датчики виброускорений для контроля критических к разрушению точек ВС. Метод контроля напряженно-деформируемых состояний планера в авиационной практике является относительно новым и основан на эффекте преобразования линейных размеров ячейки Брэгга в изменение длины отраженной волны. При этом на основе расчетов, проведенных ЦАГИ для конкретного типа вертолета, составлен атлас напряжений планера вертолета. Число точек с существенными значениями механических напряжений планера — до 400 ед. В эти точки планера устанавливаются механически связанные с корпусом ячейки Брэгга. Напряженно-деформированные состояния выбранных точек планера передаются на каждую ячейку Брэгга, и механические деформации однозначно преобразуются в изменение отраженной от ячейки Брэгга длины волны лазерного излучения. На рис. 2 схематически представлена решетка Брэгга, выполненная на оптоволокне.

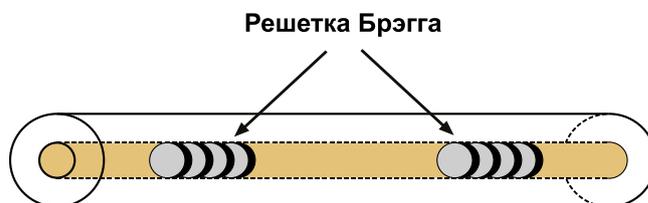


Рис. 2. Решетка Брэгга, выполненная на оптоволокне

Каждая ячейка Брэгговской решетки отражает назад малую часть лазерного излучения, пропускаемого через оптоволокно. Для длины волны в 2 раза большей, чем период решетки, отраженные лучи складываются в фазе. В результате получается отраженный световой сигнал с узкой спектральной полосой. Рабочий диапазон волн лазера для возбуждения ячеек Брэгга составляет 1510...1590 нм. Диапазон измерения напряженных состояний находится в пределах от –3000...3000 микрострейн, то есть каждая ячейка Брэгга может фиксировать как сжатие, так и растяжение элемента конструкции. На одной линии оптоволокна возможно размещение до 15 ячеек Брэгга, настроенных на непересекающиеся диапазоны частот.

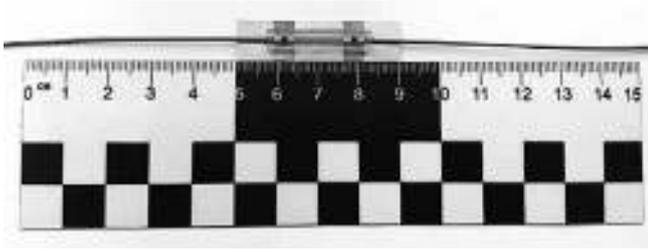


Рис. 3. Ячейка Брэгга на оптоволокне

Это позволяет локализовать места деформаций с точностью до расположения конкретной ячейки. Одним из условий корректных измерений напряженных состояний является необходимость температурной компенсации результатов измерений ячеек Брэгга. Это достигается введением дополнительных ячеек, механически развязанных от диагностируемого материала и реагирующих только на температурную составляющую. Достоинством метода является отсутствие необходимости дополнительной настройки ячеек и их юстировки, а также независимость измерений от воздействия электромагнитных излучений. При определенной пространственной комбинации ячеек Брэгга возможно измерение нормальной и тангенциальной составляющей механических напряжений.

На рис. 3 представлена реальная Брэгговская ячейка для измерения напряженно-деформируемых состояний планера летательного аппарата.

Применение полученных результатов измерения имеет свои особенности, обусловленные требованиями по прочности элементов планера. Рассмотрим более подробно эти особенности.

Процедура применения информации, полученной с оптоволоконных датчиков Брэгга

На борту ВС происходит запись в эксплуатационный накопитель напряженно-деформированных параметров всех контролируемых точек планера с одновременным преобразованием значений механических деформации в механические напряжения каждой точки и сравнение с допустимыми пределами, заранее занесенными в память блока диагностики планера. Предельно допустимые напряжения в каждой точке планера рассчитываются математически, а результаты расчетов подтверждаются на ресурсных испытаниях планера путем его циклического нагружения с разными усилиями, вплоть до полного разрушения. На пункте наземной обработки полетной информации происходит процедура пересчета числа и величины циклов механических нагрузок на элементы планера летатель-

ного аппарата в определение момента возникновения процесса необратимых механических изменений. Это позволит по результатам полетных данных прогнозировать остаточный ресурс планера и других силовых элементов конструкций ВС.

Вторым направлением диагностики силовых конструкций вертолета является контроль резонансных явлений в определенных точках вертолета, локализованных после механических испытаний всего планера на вибрацию. В этих определенных экспериментальным путем точках устанавливаются однокомпонентные и трехкомпонентные датчики виброускорений, позволяющие в реальном масштабе времени определять степень приближения частот механических колебаний к опасным резонансным частотам. При приближении измеренных частот к опасным значениям пилоту выдается информация о прекращении полета или необходимости снижения полетных режимов.

На рис. 4 представлена структурная схема системы диагностики и прогностики технического состояния планера и ответственных узлов вертолета.

На представленной схеме блоки диагностики ответственных узлов вертолета и двигателя производят измерение амплитуды и частот вибрации в парциальных точках вертолета (узлы крепления двигателей, трансмиссия, хвостовой редуктор и т. п.) с последующей передачей информации в съемную кассету памяти. Блок диагностики планера с помощью распределенной системы оптоволоконных ячеек Брэгга производит запись информации о напряженно-деформированном состоянии каждой контролируемой точки с периодичностью в несколько секунд, с последующей передачей информации в съемную кассету памяти. Блок диагностики срыва потока с несущих лопастей вертолета с помощью оптоволоконных датчиков Брэгга, расположенных на нижней тарелке автомата перекоса, определяет изменение усилия на тарелке. Признаком срыва потока является резкое увеличение механического усилия на нижней тарелке автомата перекоса. В назем-

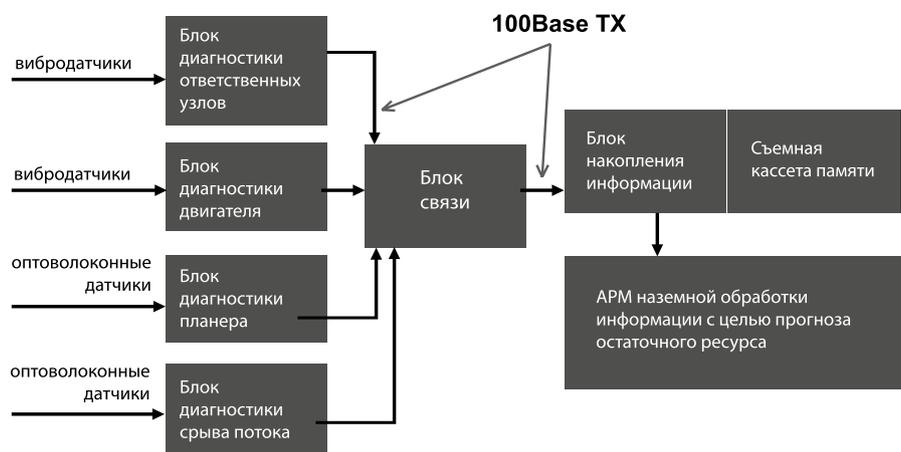


Рис. 4. Структурная схема системы диагностики и прогностики планера и ответственных узлов вертолета



Рис. 5. Опытный образец системы диагностики планера и ответственных узлов вертолета

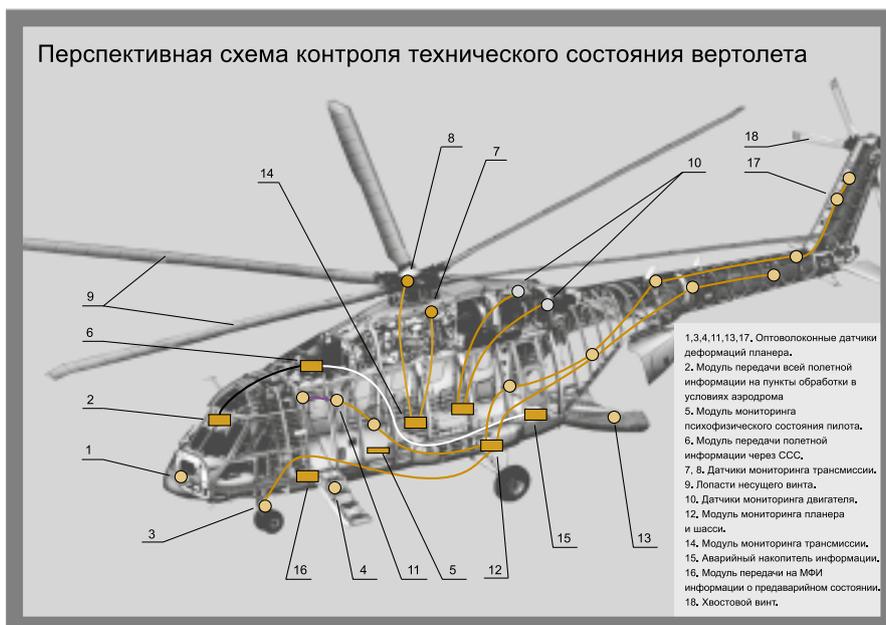


Рис. 6. Схема размещения датчиков контроля технического состояния на вертолете

ных условиях информация со съемной кассеты памяти считывается в АРМ наземной обработки с целью определения остаточного ресурса после каждого полета.

Практическая реализация системы мониторинга технического состояния вертолета

На рис. 5 представлен опытный образец (получена литера «О») системы диагностики и прогностики планера и ответственных узлов вертолета, состоящий из блока диагностики планера (400 ячеек Брэгга, расположенных в точках максимальных напряжений планера), блока вибродиагностики ответственных узлов вертолета, блока связи и блока накопления информации.

На рис. 6 представлена схема размещения датчиков контроля технического состояния вертолета.

Результаты накопленной информации о состоянии планера и ответственных узлов вертолета должны лечь в основу долговременного прогноза остаточного ресурса, который определяется на основе трендового анализа в наземных средствах обработки.

Подход к реализации системы контроля физического состояния пилота во время полета

При разработке системы контроля физического состояния пилота во время полета по рекомендациям центра авиационной и космической медицины наиболее предпочтительным является неинвазивный метод снятия параметров физического состояния пилота с мочки уха на основе фиксации пульсаций крови в ней. Принцип работы такой системы основан на измерении частоты пульсаций крови в капиллярах с помощью просвечивания мочки уха светодиодами в двух различных частотных диапазонах. Прямая частота пульсации фиксирует частоту пульса, низкочастотная огибающая частоты пульса фиксирует частоту дыхания, а отношение глубин низкочастотных модуляций частоты пульса в двух различных частотных диапазонах фиксирует насыщенность уровня кислорода в крови [8]. При выходе значений этих трех параметров за допустимые пределы должен подаваться сигнал тревоги SOS. Особенностью функционирования такого модуля является синхронизация записанных параметров пилота с бортовым временем ВС. Это позволит проводить послеполетный анализ степени физической готовности пилота и осуществлять выдачу медицинских рекомендаций по улучшению его физического состояния.

При выходе значений этих трех параметров за допустимые пределы должен подаваться сигнал тревоги SOS. Особенностью функционирования такого модуля является синхронизация записанных параметров пилота с бортовым временем ВС. Это позволит проводить послеполетный анализ степени физической готовности пилота и осуществлять выдачу медицинских рекомендаций по улучшению его физического состояния.

Интегрированная логистическая поддержка технической эксплуатации ВС

Эксплуатация любого воздушного судна должна быть безопасной и наименее затратной. Этой цели служит интегрированная логистическая поддержка (ИЛП) технической эксплуатации воздушного судна, которая в свою очередь базируется на данных системы мониторинга ВС. Рассмотрим более подробно назначение и задачи ИЛП [7,9].

Система ИЛП включает комплекс организационно-технических мероприятий и аппаратно-программных средств информационной поддержки, обеспечивающих безопасную и наименее затратную эксплуатацию авиационной техники. На рис. 8 представлена структура и задачи ИЛП.

Для обеспечения высокой экономической эффективности применения системы ИЛП основное внимание при ее синтезе необходимо уделять:

– вопросам планирования и управления технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и связанных



Рис. 7. Структура и задачи ИЛПП

с ними вопросам планирования и управления материально-технического обеспечения (МТО);

- обеспечению комплексного применения средств контроля и диагностики технического состояния изделий в целях перехода на эксплуатацию по состоянию;
- планированию и управлению всей цепочкой МТО.

Цель создания системы ИЛПП:

- минимизация времени простоев ВС в ожидании ТОиР, позволяющая обеспечить повышение экономической отдачи от эксплуатации ВС;
- минимизация временных и материальных затрат на эксплуатацию парка выпускаемых изделий;
- обеспечение возможности эксплуатации изделий по техническому состоянию.

Решение этих задач должно осуществляться системой ИЛПП посредством оптимального планирования и управления определенными информационными потоками среди субъектов системы технической эксплуатации и ремонта изделий. При этом информационные потоки, генерируемые вышеуказанными подсистемами, должны распределяться между следующими субъектами системы:

- эксплуатирующими организациями;
- органами управления, осуществляющими общее управление процессами ТОиР, в том числе заказом, поставкой и распределением материальных ресурсов среди эксплуатирующих организаций, организацией капитального ремонта на предприятиях и т. д.;
- предприятиями промышленности, осуществляющими методическое и информационное сопровождение процессов ТОиР, мониторинг и общее руководство системой ТОиР сопровождаемого изделия. При этом предприятия промышленности могут создавать сервисные центры, которые будут непосредственными участниками, входящими в формируемую систему сервисного обслуживания и ремонта;

Майоров Андрей Васильевич – генеральный конструктор – первый заместитель генерального директора,
Мухин Иван Ефимович – д-р техн. наук, заместитель генерального конструктора по инвестиционным проектам,
Попов Александр Николаевич – генеральный директор,

Селезнев Станислав Леонидович – главный конструктор по системам диагностики и прогностики летательных аппаратов
 АО «Авиаавтоматика» им. В.В. Тарасова».

Контактные телефоны: +7(4712) 57-69-55, 58-52-30, 57-65-56.

E-mail: okb@aviaavtomatika.ru

– сервисными центрами, непосредственно выполняющими работы по восстановлению исправности изделий (капитальный ремонт, контрольно-восстановительное обслуживание и т. д.).

В настоящее время на систему ИЛП для вертолета типа Ми получена литера «О».

Заключение

В статье изложены научно-технические пути создания методов и средств мониторинга состояния авиационного комплекса как сложной системы «человек-машина» в рамках реализации первого этапа концепции интегрированной системы обеспечения безопасности полетов, интегрально включающих средства диагностики ВС, физического состояния пилота и систему интегрированной

логистической поддержки технической эксплуатации ВС. Реализация изложенных направлений в конечном итоге существенно повысит безопасность эксплуатации и существенно снизит уровень затрат на содержание ВС.

Список литературы

1. Бордунов В.Д. Новые подходы ИКАО к обеспечению безопасности полетов. 2017. Aviation Explorer.
2. Вуймистрюк Г. Experience of developments and applications of intelligent optical fiber sensors // Proc. SPIE, vol. 8351, APOS Int. Conf., Sydney, Australia, 2012.
3. Prahova D. A., Grishin A. M., Ignahin V. S., Lugovskaya L. A., Osaulenko R. N. Melt-spun Fe-Co-P-Bmetglasses: Structure, crystallization kinetics, magnetic properties//Journal of Physics: Conference Series (2016) — in print.
4. Suo R, Chen XF, Zhou KM, Zhang L, Bennion I. In-fibre directional transverse loading sensor based on excessively tilted fibre Bragg gratings. Meas Sci Technol. 2009;20(3):034015.
5. Def Stan 05-123: (2008) Technical Procedures for the Procurement of Aircraft, Weapon and Electronic Systems. Nierlich S. L. Wavelength selection for low-saturation pulse oximetry. // IEEE Trans. Biom. Eng. 1997. 44. No. 3. p. 148-158.
6. Вуймистрюк Г.Я., Николаев В. Новые принципы и технологические возможности построения волоконно-оптических гидроакустических датчиков и антенн.//Тр. XI Всеросс. конф. «Прикл. технологии гидроакустики и гидрофизики». СПб. 2012. с. 344-352.
7. T-HUMSfor Mi 171-A2. Проспект фирмы RSL Electronics, Израиль. 2013г.
8. Рогаткин Д.А. Физические основы оптической оксиметрии // Медицинская физика. 2012. №2. с.97-113.
9. Мухин И.Е. Основные направления развития систем диагностики и прогностики технического состояния летательных аппаратов // Инновации. 2014. №9. с.110-113.
10. Мухин И.Е. Концепция мониторинга состояния и оценки безопасности системы «Экипаж-воздушное судно»//Инновации. 2014. №9. с. 114-117.