

## Конкурсная работа

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАНЕРА, ОТВЕТСТВЕННЫХ УЗЛОВ ВОЗДУШНОГО СУДНА И КОНТРОЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПИЛОТА

С 14 ноября 2013 года на законодательном уровне в Российской Федерации в соответствии с требованиями ИКАО официально действуют требования 101-й поправки ИКАО по обеспечению безопасности полетов воздушных судов (ВС). Это означает, что любая организация, ответственная за типовую конструкцию или изготовление ВС должна внедрить систему управления безопасностью полетов (СУБП), которая бы:

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

СУБП должна включать в себя 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 СУБП является **мониторинг** состояния ВС и пилота, как сложного авиационного комплекса (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 на всем этапе его жизненного цикла. Формально-логическая схема интеграции этих аспектов представлена на рис.1.



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

Исходя из объективного факта технической и функциональной сложности современных ВС, имеющих до нескольких тысяч параметров, подлежащих контролю, а также изменяющихся динамичных условий полета, на экипаж ВС существенно

возрастает информационная нагрузка и для ее парирования требуются **высокоинтеллектуальные** системы поддержки принятия решения основой которых являются интеллектуальные системы диагностирования и прогнозирования технического состояния ВС. Такие системы не должны перегружать экипаж текущей информацией о состоянии ВС, а выдавать в реальном масштабе времени только необходимую для продолжения безопасного полета. То есть, такие системы должны взять на себя функции «умного» отсеивания ненужной для продолжения полета информации и выдачу экипажу только такой, которая непосредственно предупреждает о ближайшей опасности.

С другой стороны, применение наряду с бортовыми средствами контроля ВС наземных средств долговременного прогнозирования технического состояния обусловлено объективной необходимостью пространственного разделения относительно простых вычислительных ресурсов предназначенных для контроля предаварийной ситуации на борту и сложных высокопроизводительных ресурсов для долговременного прогноза остаточного ресурса, которые могут быть в настоящее время размещены только в наземных условиях. Последние средства позволяют осуществлять длительный прогноз остаточного ресурса ВС, но в тоже время требуют существенных вычислительных затрат и вычислительной мощности для формирования полного множества состояний контролируемых систем. Бортовыми вычислителями же в реальном масштабе времени могут решаться только задачи контроля по заложенным в базы данных структурам описания состояния систем. Кроме того, бортовые вычислители должны осуществлять подсчёт различных наработок жизненно-важных систем с ограниченным ресурсом.

Особую актуальность применение наземно-бортовой технологии контроля представляет для вертолётов. На них число жизненно-важных систем, критически релевантных к безопасности полётов повышается вследствие наличия различных механических агрегатов: несущий и рулевой винты, редукторы и трансмиссия. Эти механические агрегаты не резервированы и выход из строя любого из них, как правило, приводит к катастрофической ситуации. Следовательно, создание наземно-бортовых систем диагностирования и прогнозирования состояния жизненно-важных систем вертолётов является одним из важных шагов на пути повышения безопасности полётов и снижения эксплуатационных затрат.

В настоящее время в АО «Авиаавтоматика» им. В.В.Тарасова» совместно с АО «ПНППК» г. Пермь разработана и внедряется система диагностики напряженно-деформированного состояния планера и диагностики ответственных механических узлов ВС. В комплексе с этой системой разработана система интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации вертолета. В обеих системах применены новейшие производственные и IT-технологии и к настоящему времени присвоена литера О.

Подсистема диагностирования напряженно-деформированного состояния планера ВС разработана на основе оптоволокну с распределенными ячейками Брэгга, размещенных в критических точках по атласу напряжений. Данный метод диагностики основан на эффекте преобразования линейных размеров ячейки Брэгга в изменение длины отраженной волны.

На рис.1 представлена схематически решетка Брэгга, выполненная на оптоволокну и механизм преобразования механических удлинений в изменение длины волны.

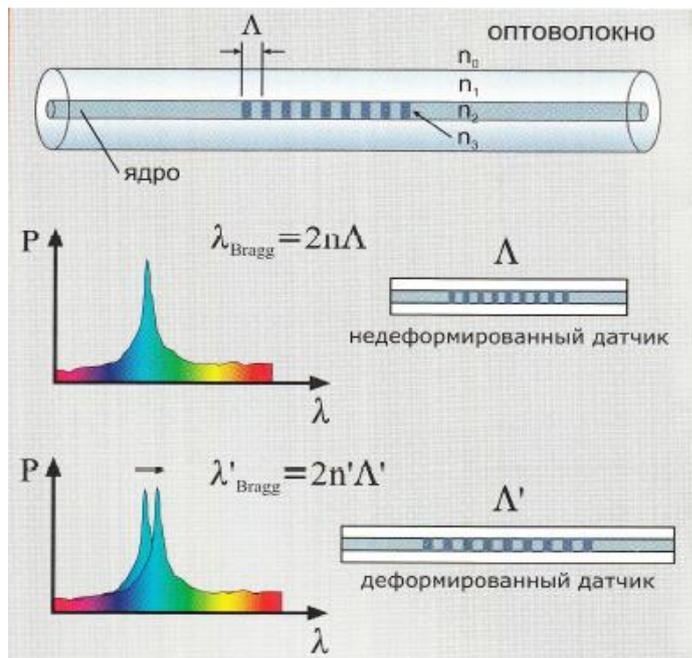


Рисунок 1– решетка Брэгга, выполненная на оптоволокне и механизм измерения деформаций.

Каждая ячейка Брэгговской решетки отражает назад малую часть 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 от 1510 до 1590 нм. Диапазон измерения напряженных состояний находится в пределах от -3000 до +3000 микрострейн. На одной линии оптоволокна возможно размещение до 15 ячеек Брэгга, настроенных на непересекающиеся диапазоны частот. 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 реагирующим только на температурную составляющую. Достоинством этого 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.

В целях исключения федеративного принципа комплексирования бортовых систем диагностики, приводящего к неоправданному увеличению массогабаритных показателей и стоимости, принято в дальнейших разработках применить концепцию централизованной системы сбора, накопления и обработки в полете диагностической информации (планера, силовых элементов, двигателей, ВСУ, трансмиссии и других жизненно-важных агрегатов, обладающих штатными датчиками) на базе стандартных интерфейсов МКИО, ARINC 429, AFDX и др. с соответствующими протоколами информационного обмена. Целевой функцией такой системы является выдача информации:

– **в полете пилоту** о приближении полетных режимов жизненно важных узлов вертолета к предельным значениям с последующей передачей накопленной полной полетной информации на наземные средства обработки;

– на наземных средствах обработки – прогнозирование остаточного ресурса всех контролируемых систем с занесением этих данных в систему интегрированной логистической поддержки.

На рис. 2 представлена структурная схема системы диагностирования и прогнозирования технического состояния планера и ответственных узлов вертолета.



Рисунок 2– Структурная схема опытного образца системы диагностики и прогностики планера и ответственных узлов вертолета

На рис. 3 представлен опытный образец системы диагностирования и прогнозирования технического состояния 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.



Рисунок 3– опытный образец системы диагностирования планера и ответственных узлов вертолета

На рис. 4 представлена схема размещения датчиков диагностирования напряженно-деформируемого состояния планера и датчиков определения критических резонансных частот на вертолете

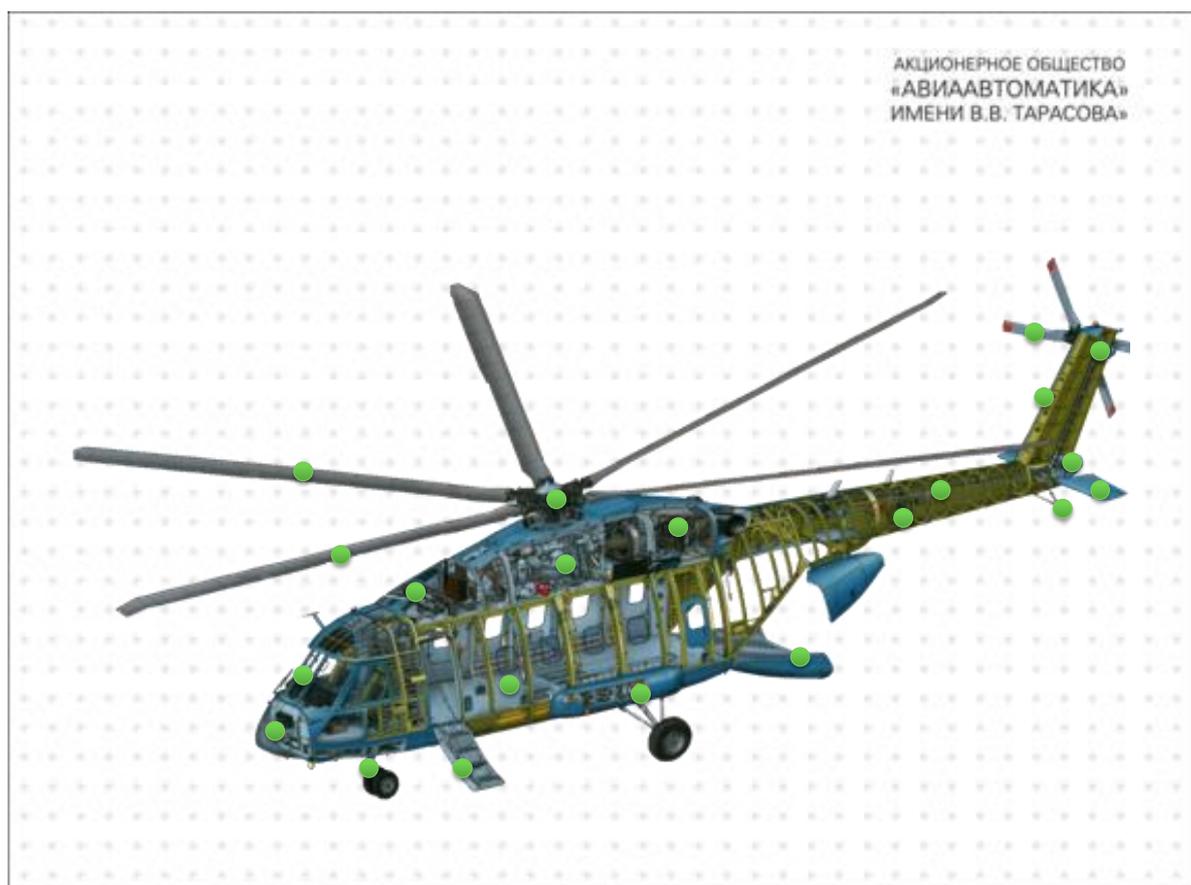


Рисунок 4– схема размещения датчиков на вертолете

При контроле состояния жизненно-важных систем вертолѐта, в том числе и ответственных механических агрегатов, в программном обеспечении наземного комплекса «Топаз-М» используется модуль трендового и прогнозирующего контроля, выполняющий два вида трендового анализа: краткосрочный и долгосрочный. Краткосрочный трендовый и прогнозирующий контроль выполняется на основании временного ряда:

$$\Delta P_{j\text{COC}}(t_1), \Delta P_{j\text{COC}}(t_2), \dots, \Delta P_{j\text{COC}}(t_N), \quad (1)$$

где  $\Delta P_{j\text{COC}}$  - разность между текущим и эталонным значением контролируемого параметра или группы (вектора) параметров, характеризующих состояние системы (агрегата) в момент времени  $t_i$  в текущем полѐте при выходе системы (агрегата) на  $j$ -ый контролируемый режим.

Долгосрочный трендовый и прогнозирующий контроль выполняется на основании временного ряда:

$$\bar{\Delta P}_{j\text{COC}}(T_{\text{НАР}1}), \bar{\Delta P}_{j\text{COC}}(T_{\text{НАР}2}), \dots, \bar{\Delta P}_{j\text{COC}}(T_{\text{НАР ТЕК}}), \quad (2)$$

где  $\bar{\Delta P}_{j\text{COC}}$  - среднее изменение параметра состояния системы (агрегата) на  $j$ -ом режиме в  $i$ -ом полѐте,  $T_{\text{НАР}i}$  - наработка системы (агрегата) на  $j$ -ом режиме в  $i$ -ом полѐте,  $T_{\text{НАР ТЕК}}$  - наработка агрегата на  $j$ -ом режиме в текущем полѐте.

При этом в качестве оценки опасности изменения состояния контролируемой системы (агрегата) в целом выбирается режим с наиболее значимым трендом и наилучшим прогнозом.

Этот программный модуль использует обучающиеся базы знаний на основании нейросетевых технологий. В случаях, где данный модуль не способен по заложенной логике автоматически вынести решение о текущем состоянии контролируемой системы (агрегата), подключается система интерактивного диалога с оператором (лицом, принимающим решение). При этом открывается доступ в экспертно-справочную систему, в которой находится база данных и знаний, как по эксплуатации конкретной жизненно-важной системы (агрегата), так и всего парка систем в эксплуатирующей организации.

Кроме того, определение характеристик исправного (эталонного) состояния контролируемой жизненно-важной системы (ЖВС) (агрегата) выполняется по адаптивному принципу. Этот принцип базируется на том факте, что на начальном этапе эксплуатации ЖВС (механического агрегата), например при первой раскрутке трансмиссии на земле, при выполнении первого полѐта нельзя охватить все возможные режимы работы контролируемой системы (агрегата), особенно динамические, и полный диапазон режимов полѐта вертолѐта. Поэтому эталонные характеристики при работе контролируемой системы (механического агрегата) на земле и в полѐте сформируются не для всех режимов. В течение дальнейшей эксплуатации ЖВС (механического агрегата) постепенно охватываются всё новые и новые режимы. Исходя из этого характеристики эталонного (исправного) состояния контролируемой ЖВС (механического агрегата) необходимо корректировать с учётом результатов измерений датчиков, полученных на этих новых встретившихся режимах. Главное условие такой корректировки заключается в том, что контролируемая ЖВС (механический агрегат) по-прежнему находится в исправном состоянии. Поэтому процесс адаптации, то есть корректировки характеристик эталонного состояния не прекращается после конечного количества полѐтов, а продолжается до тех пор, пока встречаются новые режимы работы системы (механического агрегата) и новые режимы полѐта при условии исправного состояния этой системы (агрегата).

В рамках контроля физического состояния пилота во время полета в АО «Авиаавтоматика» им. В.В.Тарасова» при участии центра авиационной и космической медицины разработан автономный модуль контроля пульса, частоты дыхания и уровня насыщенности кислорода в крови пилота. Измерение частоты пульса основано на

подсчете модулированных частотой пульсации крови в капиллярах мочки высокочастотных импульсов в двух диапазонах, проходящих через мочку уха. Измерение частоты дыхания определяется измерением частоты сердечных сокращений, промодулированных частотой дыхания. Принцип работы автономного модуля приведен на рис. 5.

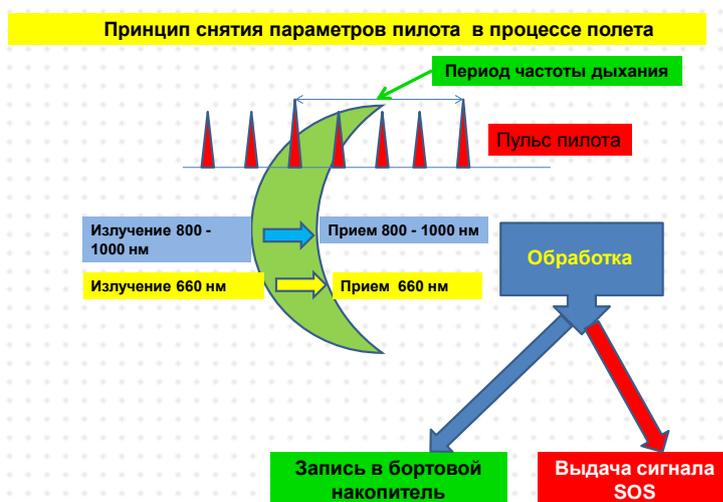


Рис.5– Принцип работы автономного модуля контроля физического состояния пилота

Особенностью функционирования этого 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. Схема размещения автономного модуля приведена на рис.6.



Рис.6– Размещение автономного модуля на борту вертолета.

АО «Авиавтоматика» им. В.В.Тарасова» обладает развитой научно-производственной и испытательной базой для полунатурной отработки основных методов диагностики ВС. На рис.5 и 6 приведены отдельные стенды для полунатурного моделирования систем диагностики.



Рис. 5, 6 – Стендовое оборудование для полунатурного моделирования

Таким образом, разработанные АО «Авиаавтоматика» им. В.В.Тарасова» совместно с предприятиями АО «ПНПК», АО НПП «Топаз», ООО ОКБ «Авиаавтоматика» интеллектуальные системы контроля технического состояния планера, ответственных узлов ВС и контроля физического состояния пилота могут быть реализованы практически на всех ВС. Изложенные научно технические итоги практической реализации диагностирования технического состояния ВС, диагностирования физического состояния пилота во время полета, интегрированной логистической поддержки технической эксплуатации ВС позволяют осуществлять внедрение вышеописанных подсистем на ВС, что в конечном итоге, существенно повысит безопасность эксплуатации и снизит уровень затрат на содержание ВС.