

УДК 629.7.015

## ХАРАКТЕРИСТИКА КОНЦЕПЦИИ РАЗРАБОТКИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ БОРТОВЫХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ВКЛЮЧАЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПИЛОТА

Д. С. КОПТЕВ<sup>1</sup>, И. Е. МУХИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>d.s.koptev@mail.ru, <sup>2</sup>ramonkursk@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ)

*Поступила в редакцию 02.10.2020*

**Аннотация.** В данной статье приведены и охарактеризованы основные научно-технические пути разработки и создания интегрированных бортовых систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов, включая системы контроля функционального состояния пилота. Рассмотрены основные методы и средства диагностики и прогностики технического состояния планера и основных агрегатов летательных аппаратов. Проведен их сравнительный анализ, и предложена структурная схема интегрированной системы диагностики, суть которой состоит в реализации процедуры накопления полетных данных о параметрах ответственных узлов и агрегатов на борту летательного аппарата и применении метода экспресс-анализа, заключающегося в контроле динамики изменения тренда контролируемых параметров по отношению к предельным значениям в режиме реального времени.

**Ключевые слова:** летательный аппарат; безопасность полетов; диагностика и прогностика технического состояния; прогнозирование остаточного ресурса; пилот; функциональное состояние.

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие современных летательных аппаратов (ЛА) гражданского и военного назначения характеризуется стремительным увеличением степени функциональной насыщенности, обусловленной требованиями сегодняшнего дня и расширением сферы решаемых задач. В военной авиации данная специфика обусловлена существенным расширением области боевого применения в условиях ведения противником активного противодействия, а в гражданской – широкомасштабным внедрением технических средств автоматизации процессов управления полетом и посадкой в условиях повышенного трафика полетов на урбанизированных территориях. В связи с этим произошел принципиально важный переход от раздельного проектирования планеров и уз-

лов к проектированию авиационных комплексов (АК), представляющих единую сложную систему, решающую множество взаимообусловленных и взаимосвязанных задач. Безусловно, подобная система нуждается в технической диагностике, проверке работоспособности в реальном масштабе времени и прогнозировании остаточного ресурса. Для решения данных задач в настоящее время в рамках государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013–2025 годы» разрабатываются интегрированные бортовые системы обеспечения безопасности полетов ЛА, которые помимо технической диагностики и прогностики ответственных узлов ЛА имеют в своем составе средства непрерывного диагностического контроля функционального

состояния здоровья пилота при выполнении им профессиональных функций. Целью статьи является изложение основных принципов концепции разработки подобных систем.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Интегрированная бортовая система обеспечения безопасности полетов должна обеспечивать сбор данных с датчиков состояния узлов и агрегатов ЛА, а также с датчиков контроля функционального состояния пилота, их обработку на борту с установлением динамических корреляционных связей между значениями параметров во всех фазах полета, автоматическое сравнение полученных данных с предельными значениями и передачу на наземные диспетчерские пункты диагностической информации средствами авиационной связи [1]. Структурно-функциональная схема интегрированной бортовой системы обеспечения безопасности полетов представлена на рис. 1.

Подобная система строится по модульному принципу с открытой архитектурой для максимально простой адаптации на различных типах ЛА. В системе должно быть предусмотрено два режима работы: рабочий и встроенного контроля (ВСК). В первом режиме система обеспечивает выполнение всех базовых функций, во втором осуществляет непрерывный контроль собственной работоспособности с вероятностью обнаружения неисправности не ниже 0,9.

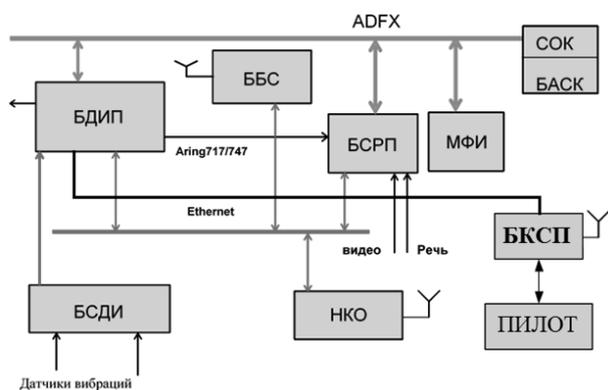
Более подробно предлагаемая интегрированная система безопасности полетов для перспективных ЛА с наличием цифровых линий AFDX и Ethernet на борту представлена на рис. 2.

Блок сбора диагностической информации (БСДИ) обеспечивает преобразование, сбор и передачу по каналу Ethernet сигналов от вибродатчиков, установленных на контролируемых узлах и элементах ЛА. Частота опроса этих датчиков варьируется в пределах от 64 Гц до 15 кГц в зависимости от диагностируемого показателя. Количество вибродатчиков зависит от компоновки ЛА, а также геометрии размещения контролируемых агрегатов.

Блок диагностики и прогностики (БДиП) представляет собой комплекс, обеспечивающий вычисление диагностических и прогностических показателей по заданным алгоритмам, адаптированным под конкретный тип ЛА. Исходная информация для инициализации алгоритмов приходит по каналу Ethernet из блока БСДИ. По каналу AFDX поступает информация в цифровом виде от систем объективного контроля (СОК), бортовой автоматизированной системы контроля (БАСК), аварийного регистратора, а также штатных датчиков ЛА. В зависимости от режима полета и поступившей информации от датчиков обработанная блоком информация передается в полете по каналу Ethernet в блок бортовой связи (ББС), систему регистрации и в наземный комплекс обработки (НКО).



Рис. 1. Структурно-функциональная схема интегрированной системы диагностики и прогностики технического состояния летательного аппарата, включая подсистему контроля функционального состояния пилота



**Рис. 2.** Структурная схема интегрированной системы обеспечения безопасности полетов при наличии шины AFDX: БДиП – блок диагностики и прогностики; БСДИ – блок сбора диагностической информации; ББС – блок бортовой связи; БСРП – бортовая система регистрации параметров; НКО – наземный комплекс обработки; СОК – система объективного контроля; БАСК – бортовая автоматизированная система контроля; БКСО – блок контроля состояния пилота

БДиП в процессе полета по каналу AFDX передает предупреждающую информацию, носящую аварийный характер, на многофункциональный индикатор для экстренного принятия решения командиром ЛА. При критическом превышении предельно допустимых значений параметров полета блок БДиП подает сигнал на включение аварийного радиомаяка.

Блок ББС предназначен для передачи бортовой информации ограниченного объема по каналам широкополосного и узкополосного радиодоступа на удаленный наземный диспетчерский пункт непосредственно в процессе полета, а также для передачи по беспроводному широкополосному каналу всей зарегистрированной полетной информации на наземный пункт обработки в пределах аэродрома.

В БКСО, в соответствии с рекомендациями Центра авиационной и космической медицины, диагностированию в реальном масштабе времени должны подвергаться следующие физиологические показатели здоровья пилота: уровень периферической сатурации крови, частота пульса и дыхания, вариабельность сердечного ритма.

Для реализации концепции интегрированной бортовой системы обеспечения безопасности полетов необходимо решить следующие задачи:

1) выбрать типы, количество, места установки и ориентацию датчиков на борту ЛА;

2) установить динамические корреляционные связи между контролируемыми параметрами ЛА и разработать их технологию обработки в реальном масштабе времени во всех фазах полета с возможностью предупреждения пилота о наступающей предаварийной ситуации;

3) разработать подсистему контроля функционального состояния пилота, определив минимально необходимый набор диагностируемых параметров, их бесконтактный съем, обработку и запись на бортовые средства накопления и передачи информации;

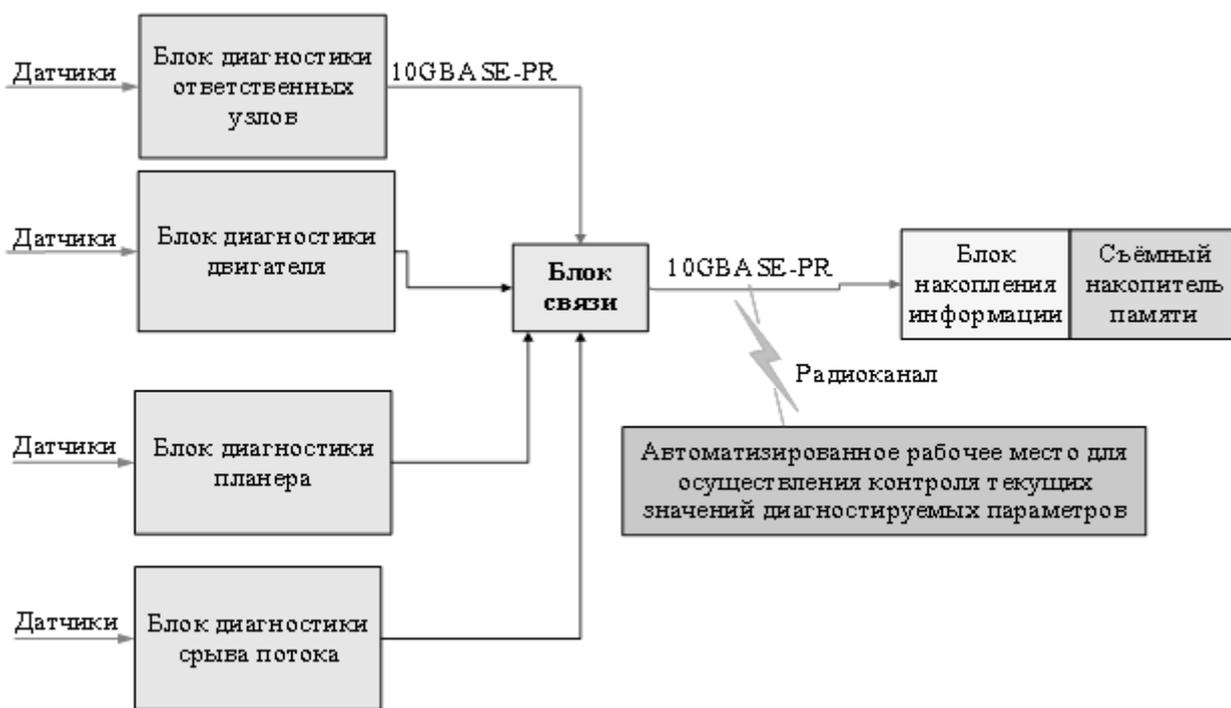
4) разработать алгоритмы функционирования системы диагностики и прогностики технического состояния ЛА;

5) разработать систему дистанционной передачи полетной информации посредством спутниковых и/или мобильных систем связи в режиме реального времени, в том числе сигналов предупреждения диспетчерских пунктов о складывающейся предаварийной ситуации на борту;

6) обеспечить организацию передачи полного объема полетной информации на наземные диспетчерские пункты в условиях аэродрома [2–3].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках данной статьи следует подробно рассмотреть структуру и принципы функционирования основных подсистем интегрированной бортовой системы обеспечения безопасности полетов. Структурная схема системы диагностики напряженно-деформированного состояния планера и ответственных узлов приведена на рис. 3.



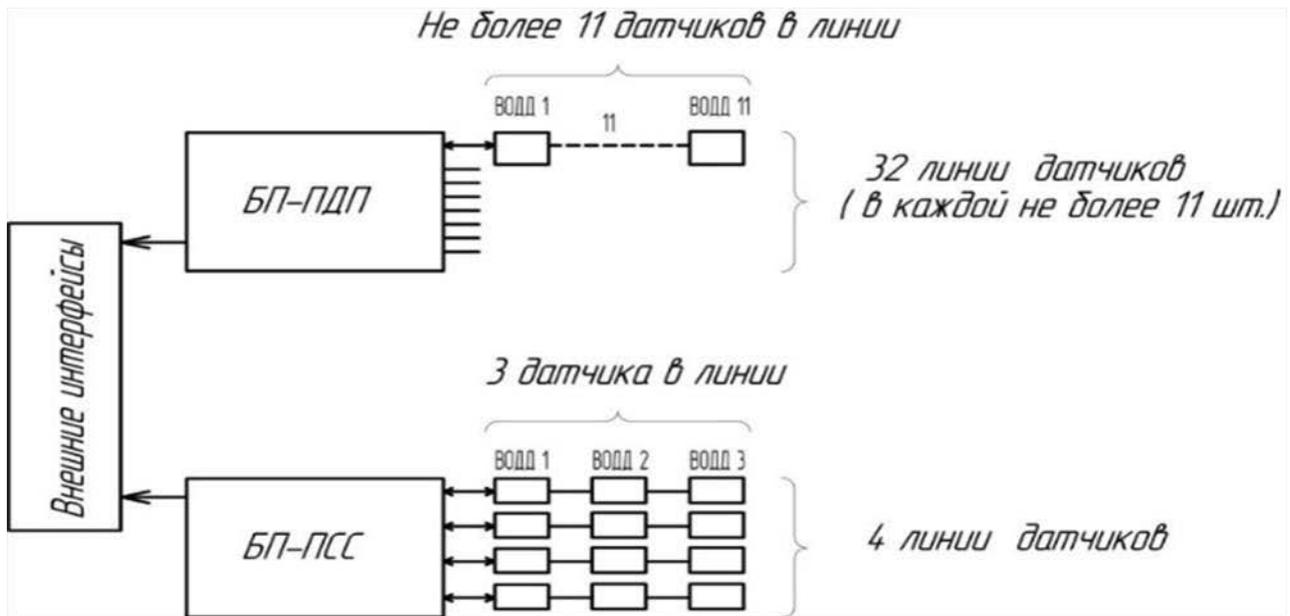
**Рис. 3.** Структурная схема системы диагностики напряженно-деформированного состояния для вертолета

Накопление данных о техническом состоянии ЛА проводится на базе оптоволоконных подсистем с распределенными ячейками Брэгга, позволяющими контролировать напряженно-деформированное состояние узлов ЛА в конкретных точках планера, указанных в атласе напряжений ЛА, а также на базе оптоволоконных подсистем, основанных на эффекте Доплера для возможности определения мест возникновения трещин и пластических деформаций на более широкой площади, чем ячейки Брэгга. Указанные датчики обследуют контролируемые технические узлы и передают данные в блок связи, где они собираются и отправляются в бортовой накопитель информации, а также на наземный диспетчерский пункт, в котором на основе вихретоковых методов принимается решение о допуске к следующему полету.

Помимо этого, высокопроизводительные вычислительные средства наземного контроля на основе постоянно накапливаемой полетной статистики должны определять скорость движения многомерного вектора параметров к границам гиперкуба допустимых значений. Анализ скорости движения многомерного вектора позволит наземным службам определить интервал времени, в течение которого возможна безопасная эксплуатация ЛА.

Подсистема диагностики напряженно-деформированного состояния планера ЛА состоит из блоков преобразователей сигналов от оптоволоконных ячеек Брэгга и комплектов волоконно-оптических датчиков (рис. 4).

Чувствительным элементом всех волоконно-оптических датчиков (ВОД) являются волоконные брэгговские решетки (ВБР).

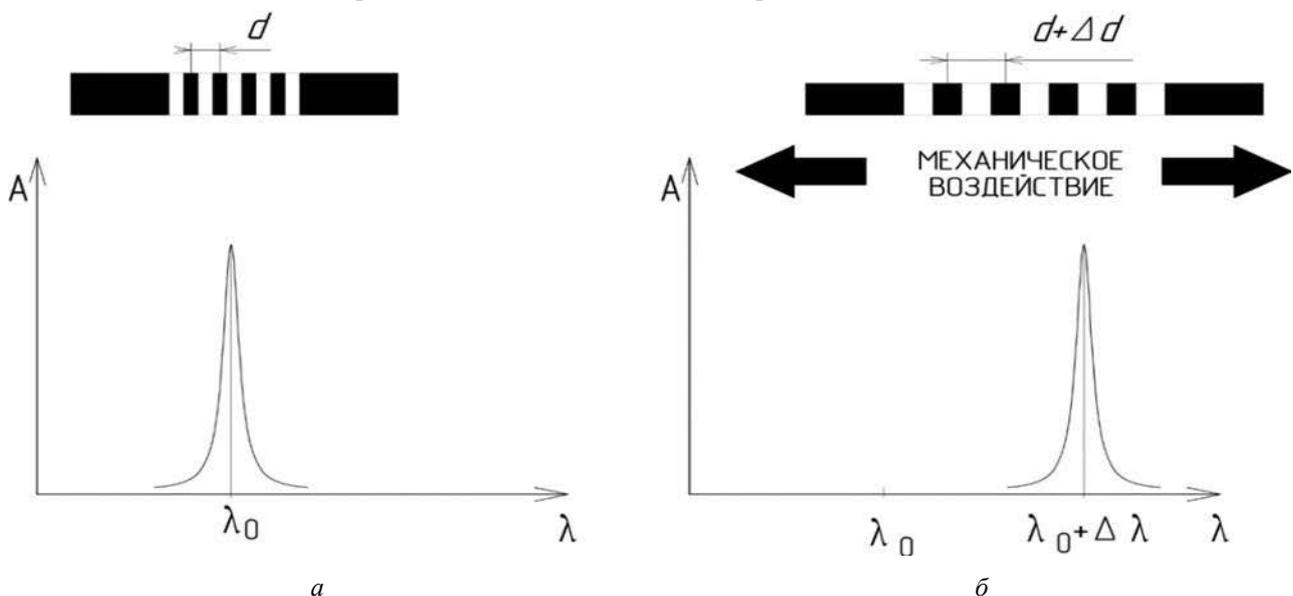


**Рис. 4.** Структурная схема подсистемы диагностики планера ЛА: БП-ПДП – блок преобразования подсистемы диагностики планера ЛА; БП-ПСС – блок преобразования подсистемы срыва потока; ВОЛД – волоконно-оптические датчики деформации

ВБР – это структура с периодическим по длине изменением показателя преломления, сформированная в сердцевине оптического волокна. ВБР обладает узким спектром отражения, резонансная длина волны ( $\lambda_0$ ) которой зависит от периода показателя преломления ( $d$ ) (рис. 5).

Спектральные характеристики оптоволоконных брэгговских решеток (ВБР) носят резонансный характер, однако функция преобразования «длина волны – амплитуда» для их оценки в области резонанса либо ос-

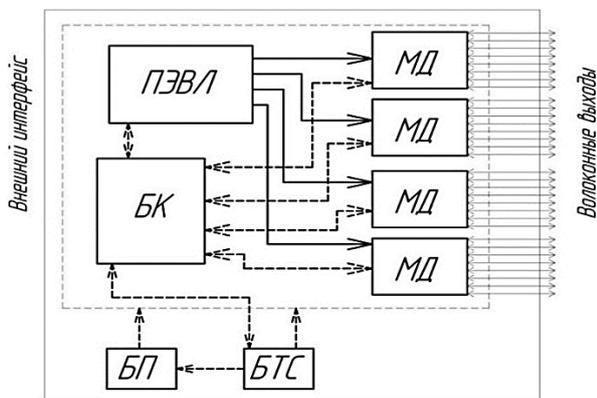
циллирует, либо имеет достаточно плоский или нелинейный характер. Поэтому для повышения разрешающей способности измерений синтезируют ВБР с неоднородностями в спектре или ВБР со специальной формой спектра для обеспечения линейаризации измерительных характеристик. В настоящее время в структуре волоконно-оптических датчиков начинают активно разрабатываться ВБР с вогнутой, треугольными симметричными и асимметричными формами спектра [3, 8].



**Рис. 5.** Спектр отражения ВБР в свободном состоянии (а) и изменение резонансной длины волны ВБР (б) под действием внешнего механического воздействия

При внешнем механическом воздействии на ВБР происходит изменение периода показателя преломления ( $\Delta d$ ), что приводит к изменению резонансной длины волны ВБР ( $\Delta \lambda$ ). Основной задачей блоков преобразователей является измерение сдвига резонансной длины волны ВБР каждого датчика и расчет деформации по этим данным. Так как ВБР чувствительна к изменению температуры, то в каждом комплекте присутствуют два типа датчиков: волоконно-оптические датчики деформации (ВОДД) и волоконно-оптические датчики деформации термокомпенсационные (ВОДД-Т). ВОДД-Т нечувствителен к деформации объекта мониторинга, подвержен только влиянию изменения температуры объекта мониторинга. Данные изменения резонансной длины волны ВОДД-Т позволяют однозначно определить деформационную составляющую изменения длины волны датчика ВОДД как разницу сдвигов резонансных длин волны датчиков ВОДД и ВОДД-Т.

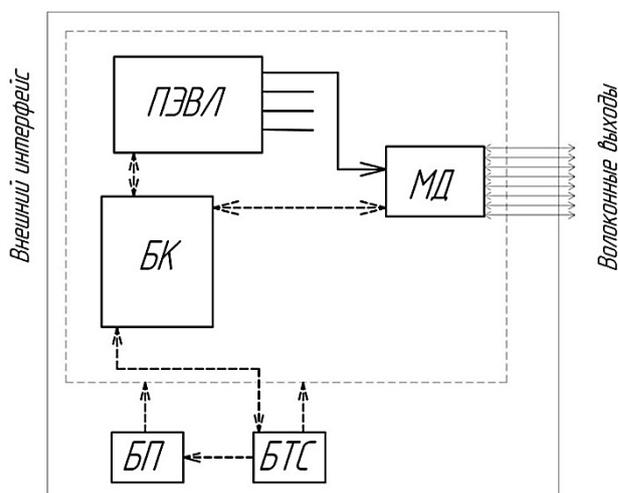
Блоки – преобразователи БП–ПДП и БП–ПСС (рис. 4) по своей конструкции принципиально отличаются только числом оптических измерительных каналов (рис. 6, 7).



**Рис. 6.** Структурная схема БП–ПДП (пунктирной линией показаны электрические взаимодействия, сплошной линией – оптические): БП – блок питания; БК – блок коммутации

Основные составные части блоков идентичны, оба блока состоят из перестраиваемо-

го эрбиевого волоконного лазера (ПЭВЛ), модуля детектирования (МД) (4 МД в блоке ПДП и 1 МД в блоке ПСС), блока коммутации (БК), блока питания (БП) и блока термостатирования (БТС). БП обеспечивает электрическое питание основных модулей блока (БК, МД, ПЭВЛ) напряжением в 5 В. БТС поддерживает заданный температурный режим основных модулей блока за счет управления нагревателями и элементами Пельтье, расположенными на этих модулях, а также управляет блоком питания, включая основные модули после установления на этих модулях необходимого температурного режима. ПЭВЛ является источником оптического излучения и осуществляет сканирование линий ВОД. МД обеспечивает прием отраженных от ВБР оптических сигналов и производит расчет деформаций и напряжений на объекте мониторинга. БК обеспечивает взаимодействие и синхронизацию модуля ПЭВЛ с МД, а также передачу данных во внешние интерфейсы [3]. Структурная схема перестраиваемого эрбиевого волоконно-оптического лазера приведена на рис. 8.



**Рис. 7.** Структурная схема БП–ПСС (пунктирной линией показаны электрические взаимодействия, сплошной линией – оптические): БП – блок питания; БК – блок коммутации

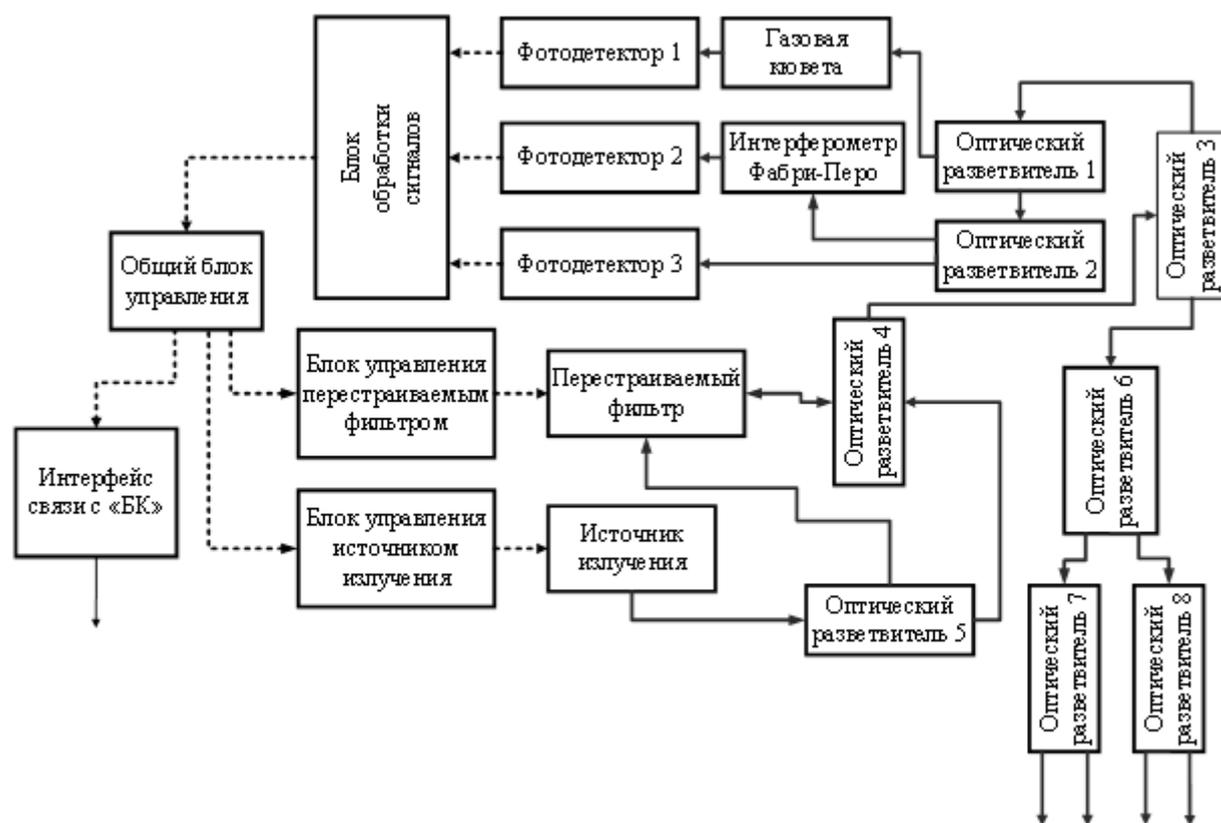


Рис. 8. Структурная схема ПЭВЛ (пунктирной линией показаны электрические взаимодействия, сплошной линией – оптические)

Основной задачей ПЭВЛ является сканирование оптической линии волоконно-оптических датчиков. ПЭВЛ изменяет длину волны излучения, осуществляя сканирование в диапазоне длин волн от 1510 до 1590 нм с частотой 100 Гц. Изменение излучаемой длины волны осуществляется в перестраиваемом фильтре за счет изменения зазора между двумя диэлектрическими зеркалами. Скоростью перемещения одного из зеркал определяется частота сканирования. На выходе кольцевого резонатора (оптический разветвитель 4) излучение попадает на оптический разветвитель 3, после которого 90 % мощности уходит на выходные разветвители (6, 7 и 8), осуществляющие разделение сигнала на 4 независимых оптических канала. Оставшаяся часть излучения разделяется (на оптических разветвителях 1 и 2) и попадает в стабилизатор длины волны на основе интерферометра Фабри – Перо и газовую кювету. Спектр пропускания газовой кюветы представляет собой спектр с выраженными пиками поглощения, которые соответствуют строго определенным длинам волн ( $\lambda_1$ ) и не зависят от внешних воздействий [4].

Сканирующее излучение проходит через кювету и поглощается на определенных длинах волн, что фиксируется фотоприемником 1. Это позволяет получить точное абсолютное значение длины волны ПЭВЛ при прохождении излучаемой длины волны через пики поглощения. Спектр интерферометра Фабри – Перо представляет собой множество пиков с заранее заданным расстоянием между пиками ( $\Delta\lambda$ ), определенным при изготовлении данного элемента. Фотоприемники 2 и 3 позволяют получить спектральную картину интерферометра.

Данные с фотоприемников оцифровываются и непрерывно передаются в БК, который получает информацию от ПЭВЛ в виде координаты каждого пика интерферометра Фабри – Перо на шкале временных отсчетов. Абсолютное значение длины волны каждого пика определяется на стадии калибровки модуля ПЭВЛ и загружается в виде таблицы в БК.

Структурная схема БК приведена на рис. 9.

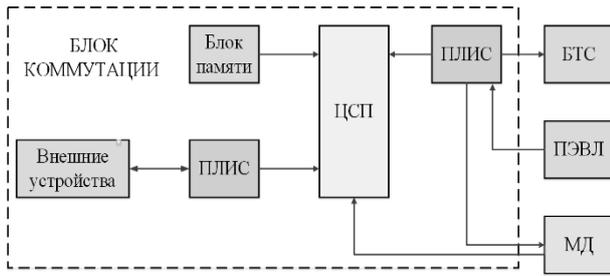


Рис. 9. Структурная схема блока коммутации

Блок коммутации (БК) обеспечивает:

- синхронизацию модуля ПЭВЛ с модулями МД;
- обмен данными с МД (по технологии Ethernet);
- хранение калибровочных и конфигурационных данных;
- обмен данными с внешними интерфейсами;
- передачу данных о температуре и работе всех модулей блоку термостатирования (БТС);
- формирование управляющих сигналов для МД.

Общая структурная схема модуля детектирования представлена на рис. 10.

Всего на МД установлено 15 оптических разветвителей, 7 из которых обеспечивают разделение входного оптического излучения ПЭВЛ на 8 каналов (оптические разветвители 1...7), а 8 других разветвителей (оптические разветвители 8...15) обеспечивают вывод из линии на фотоприемник отраженного от волоконных датчиков сигнала. Оптический сигнал из каждого канала попадает на фотоприемник, где преобразовывается в электрический, после чего усиливается, а затем попадает на АЦП. На плате МД установлено четыре двухканальных АЦП, выходы которых подключены к ПЛИС с частотой тактирования 12,5 МГц. Данные с этих каналов передаются для обработки в цифровой сигнальный процессор (ЦСП).

Общая структурная схема подачи, преобразования и приема сигнала изображена на рис. 11.

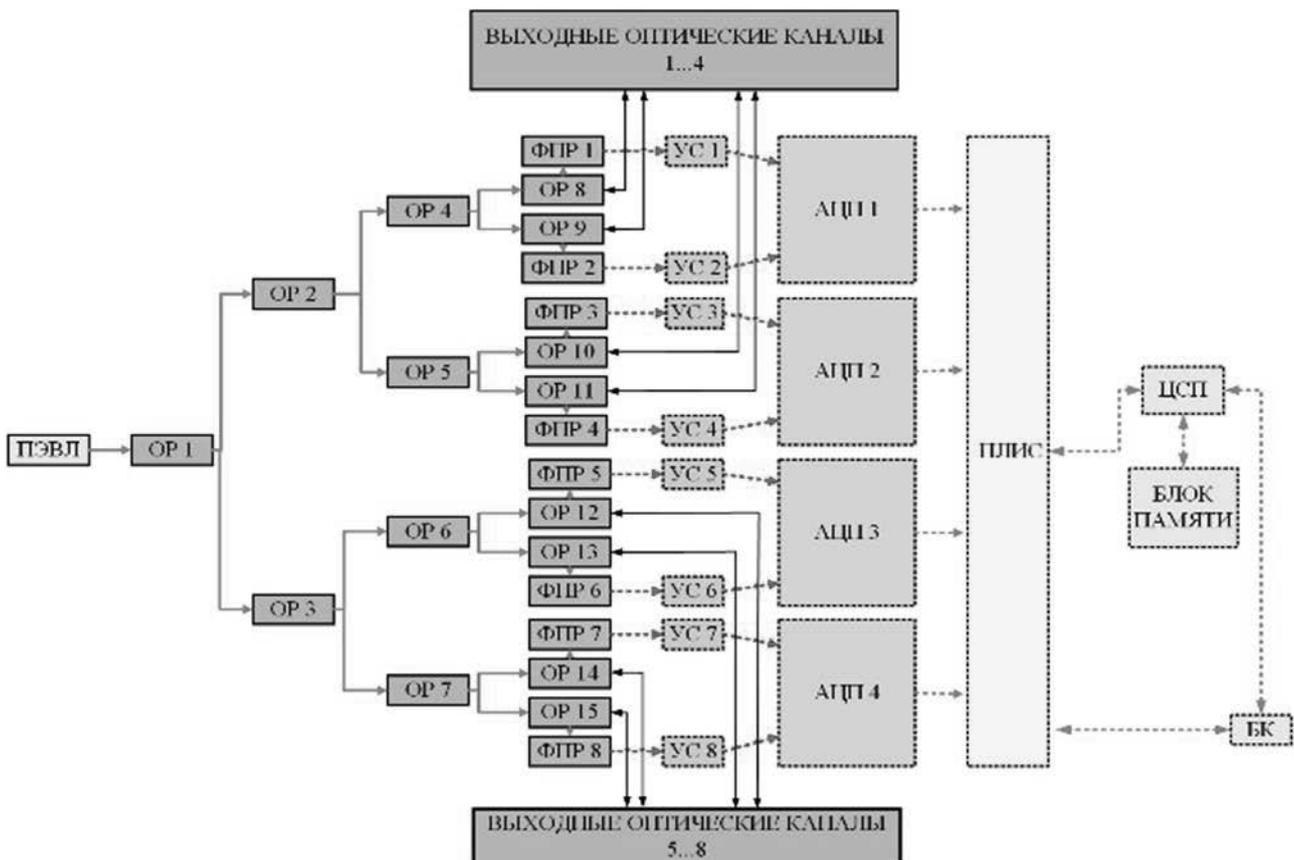
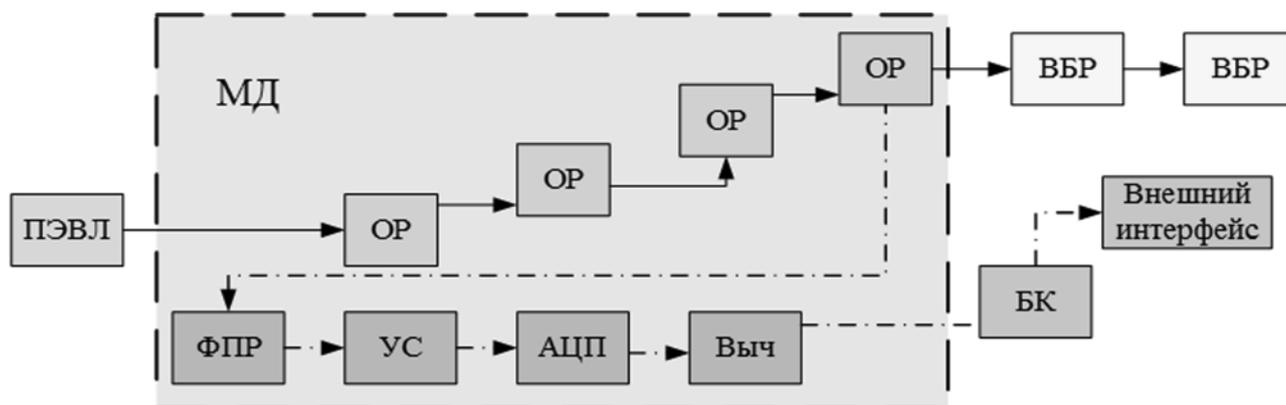


Рис. 10. Структурная схема МД (пунктирная линия – электрические взаимодействия, сплошная линия – оптические): ОР – оптический разветвитель; ФПР – фотоприемник; УС – усилитель



**Рис. 11.** Структурная схема процесса подачи, преобразования и приема сигналов:  
*ОР* – оптический разветвитель; *ФПР* – фотоприемник; *УС* – усилитель; *Выч* – вычислитель;  
*БК* – блок коммутации

Перестраиваемый источник (ПЭВЛ) (рис. 12) непрерывно изменяет длину волны излучения в диапазоне от 1510 до 1590 нм за один цикл сканирования линии. Излучение разделяется на 8 одинаковых потоков (для обеспечения сканирования 32 каналов с помощью 4 МД) за счет оптических разветвителей, установленных на МД. Проходя по оптической линии, излучение доходит до линии датчиков на основе ВБР. Основным свойством ВБР является селективное отражение определенной узкой части спектра. Если резонансная длина волны ВБР в определенный момент времени совпадает с длиной волны, излучаемой лазером, то основная часть излучения отражается от ВБР обратно в блок-преобразователь, где фиксируется скачок оптической мощности фотоприемниками на МД. Зная текущую излучаемую модулем ПЭВЛ длину волны, за счет синхронизации МД и ПЭВЛ с помощью БК система может точно определить текущую резонансную длину волны ВБР. С помощью фотоприемника оптический сигнал преобразуется в электрический сигнал, после этого усиливается в аналоговой части МД, а затем оцифровывается. В вычислителе производится определение центральной длины волны каждого датчика и вычисление деформаций с учетом показаний термокомпенсирующих датчиков [3, 5].

Если же резонансная длина волны ВБР не совпадает с длиной волны, излучаемой лазером в текущий момент времени, то излучение проходит сквозь ВБР с минимальными потерями, обеспечивая возможность

засвечивания следующего датчика в линии. Отраженный сигнал от этого датчика также возвращается в МД, где происходит расчет деформации аналогичным образом [4].

При контроле состояния жизненно важных систем вертолета, в том числе и ответственных механических агрегатов, в программном обеспечении наземного комплекса используется модуль трендового и прогнозирующего контроля, выполняющий два вида трендового анализа – краткосрочный и долгосрочный. Краткосрочный трендовый и прогнозирующий контроль выполняется на основании временного ряда 1:

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

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

Долгосрочный трендовый и прогнозирующий контроль выполняется на основании временного ряда 2:

$$\begin{aligned} \bar{\Delta P}_{j\text{сос}}(T_{\text{нар}1}), \bar{\Delta P}_{j\text{сос}}(T_{\text{нар}2}), \\ \dots, \bar{\Delta P}_{j\text{сос}}(T_{\text{нар.тек}}), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\bar{\Delta P}_{j\text{сос}}$  – среднее изменение параметра состояния системы (агрегата) на  $j$ -м режиме в  $i$ -м полете;  $T_{\text{нар}i}$  – наработка системы (агрегата) на  $j$ -м режиме в  $i$ -м полете;  $T_{\text{нар.тек}}$  – наработка агрегата на  $j$ -м режиме в текущем полете [4–5].

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

Режим использует обучающиеся базы знаний на основе нейросетевых технологий. В ситуации, 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 окончательное решение). Кроме того, определение характеристик исправного (эталонного) состояния контролируемой жизненно важной системы (ЖВС) (агрегата) выполняется по адаптивному принципу, заключающемуся в том, что на начальном этапе эксплуатации ЖВС (механического агрегата), например, при первой раскрутке трансмиссии на земле, при выполнении первого полета, нельзя охватить все возможные режимы работы контролируемой системы (агрегата), особенно динамические, и полный диапазон режимов полета вертолета, поэтому эталонные характеристики при работе контролируемой системы (механического агрегата) на земле и в полете сформируются не для всех режимов. В течение дальнейшей эксплуатации ЖВС (механического агрегата)

постепенно охватываются все новые и новые режимы [6–8].

Блок контроля состояния пилота (БКСП), входящий в интегрированную систему обеспечения безопасности полетов, предназначен для регистрации физиологических показателей здоровья пилота и определения его общего функционального состояния. Данная подсистема посредством пульсоксиметрического модуля типа «клипса» обеспечивает съем и передачу по проводному интерфейсу первичной физиологической информации, а затем с помощью блока обработки физиологических параметров осуществляет преобразование первичных сигналов и проводит расчет физиологических параметров, таких как: частота пульса (ЧП), уровень периферической сатурации крови ( $SpO_2$ ) и частота дыхания (ЧД). Полученные результаты передаются по беспроводному каналу информационного взаимодействия (Bluetooth) в блок сбора данных, в котором происходит сохранение определяемых физиологических показателей во внутреннюю энергонезависимую память, а также отправка полученных данных в БСС для передачи на наземный диспетчерский пункт.

Общая структурно-функциональная схема подсистемы контроля состояния пилота представлена на рис. 12.

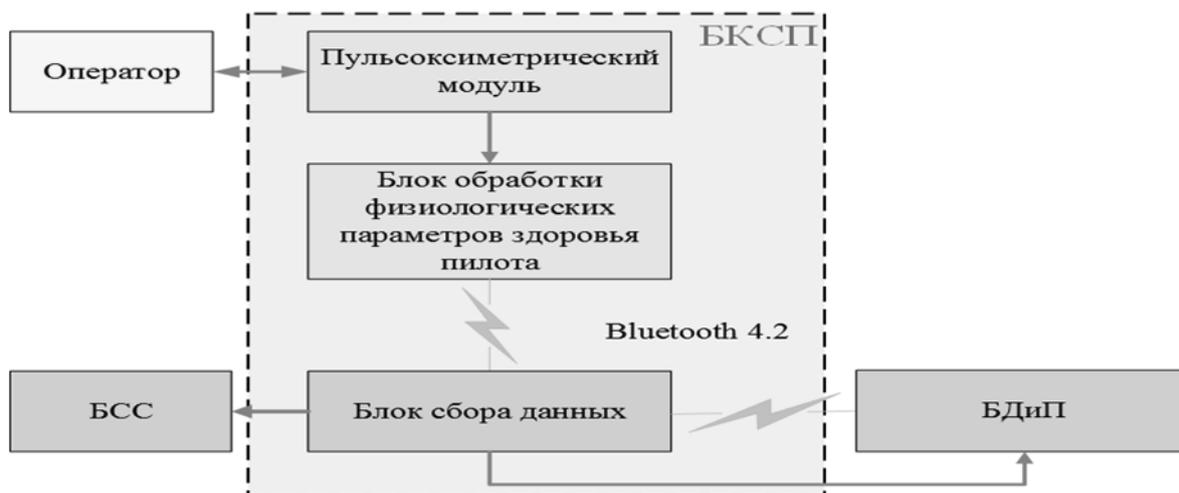


Рис. 12. Общая структурно-функциональная схема подсистемы контроля состояния пилота

В основу метода контроля физиологических параметров здоровья пилота положен спектрофотометрический способ определения количества кислорода, связанного с гемоглобином, в артериальной крови и тканях. Степень насыщения молекул гемоглобина кислородом ( $SpO_2$ ) является объективным показателем уровня кислородного обеспечения организма пилота, который зависит от качества функционирования кислородного оборудования самолета или от парциального давления кислорода в дыхательной смеси при полете на воздушных судах, не оборудованных гермокабиной и кислородным оборудованием. Физиологической нормой здорового человека при дыхании воздухом является уровень ( $SpO_2$ ) 94–98 %. Его снижение до 90–94 % и далее свидетельствует о недостаточном количестве кислорода, поступающего в дыхательную систему, и является предвестником наступающей гипоксии [2, 6].

Диапазоны измерения физиологических показателей состояния здоровья пилота ЛА определяются показателями сердечно-сосудистой и дыхательной систем здорового человека, а также резервными возможностями их отклонения от физиологической нормы. Выход любого показателя за нижний или верхний диапазон измерений свидетельствует о наступлении диагностически значимых изменений в сердечно-сосудистой или дыхательной системе.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, приведены и охарактеризованы основные научно-технические пути разработки и создания интегрированных бортовых систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов, включая системы контроля функционального состояния пилота. В данной статье рассмотрены основные методы и средства диагностики и прогностики технического состояния планера и основных агрегатов ЛА. Проведен их сравнительный анализ, и предложена структурная схема интегрированной системы диагностики, суть которой заключается в реализации процедуры накопления полетных данных о параметрах ответственных узлов и агрегатов на борту ЛА и применении метода

экспресс-анализа, заключающегося в контроле динамики изменения тренда контролируемых параметров по отношению к предельным значениям в режиме реального времени. Показано, что в подобной системе необходимым условием является наличие аварийной визуальной и звуковой сигнализации экипажу ЛА о нештатной ситуации.

Установлено, что осуществление диагностики напряженно-деформируемых состояний планера ЛА должно осуществляться оптоволоконной подсистемой с ячейками Брэгга в конкретных точках, указанных в атласе напряжений ЛА.

Доказано, что наибольшая полнота информации о напряженно-деформированном состоянии ЛА возможна при совместном использовании оптоволоконных подсистем с распределенными ячейками Брэгга и оптоволоконных систем, базирующихся на фиксации факта акустической эмиссии. Фиксация сигналов акустической эмиссии должна быть осуществлена оптоволоконными кольцами, позволяющими использовать эффект Доплера.

Наиболее целесообразная процедура общей диагностики ЛА должна заключаться в диагностике ЛА во время полета, фиксации «подозрительных» мест, обнаруженных во время полета, более тщательном обследовании на земле этих «подозрительных» мест наземными средствами, основанными на вихретоковых методах. Исходя из скорости движения многомерного вектора, наземные службы должны определить интервал времени, в течение которого возможна безопасная эксплуатация ЛА.

Концепция организации контроля физиологического состояния пилота построена на основе спектрофотометрических методов и имеет минимальное число коррелянтов, высокую информативность и возможность быстрой обработки полученных результатов в реальном масштабе времени на борту ЛА. Основной идеей данного мониторинга является ведение профессиональной истории полета, накапливаемой в течение всей профессиональной карьеры для каждого пилота индивидуально. Планируется, что в дальнейшем принятие решения о допуске пилота к полетам будет зависеть от результатов анализа его персонального профиля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коптев Д. С., Бабанин И. Г., Мухин И. Е.** Основные направления разработки и создания интегрированных бортовых систем обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов, включая системы контроля физиологических параметров здоровья пилота // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 2. С. 44–53. [ D. S. Koptev, I. G. Babanin, I. E. Mukhin, "The main directions of development and creation of integrated on-board systems for ensuring the safety of flights of aircraft, including systems for monitoring the physiological parameters of a pilot's health", (in Russian), in *Uspekhi sovremennoj radioelektroniki*, no. 2, pp. 44-53, 2019. ]

2. **Коптев Д. С., Мухин И. Е.** Стратегия разработки систем диагностики и прогностики технического состояния перспективных летательных аппаратов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2019. Т. 17, № 2. С. 65–70. [ D. S. Koptev, I. E. Mukhin, "Strategy for the development of systems for diagnostics and forecasting of the technical condition of promising aircraft", (in Russian), in *Informacionno-izmeritel'ny'e i upravlyayushhie sistemy*, vol. 17, no. 2, pp. 65-70, 2019. ]

3. **Методологические основы синтеза систем диагностики технического состояния космических и летательных аппаратов / И. Е. Мухин [и др.].** Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2018. 212 с. [ I. E. Mukhin, et al., *Methodological foundations for the synthesis of systems for diagnostics of the technical state of space and aircraft*, (in Russian). Kursk: Yugo-Zap. gos. un-t, 2018. ]

4. **Иванов Ю. П., Никитин В. Г., Чернов В. Ю.** Контроль и диагностика измерительно-вычислительных комплексов. СПб.: СПбГУАП, 2004. 98 с. [ Yu. P. Ivanov, V. G. Nikitin, V. Yu. Chernov, *Control and diagnostics of measuring and computing complexes*, (in Russian). Saint-Petersburg: SPbGUAP, 2004. ]

5. **Лемешко Б. Ю., Комиссарова А. С., Щеглов А. Е.** Вопросы применения некоторых критериев проверки случайности и отсутствия тренда // Метрология. 2010. № 12. С. 3–25. [ B. Yu. Lemeshko, A. S. Komissarova, A. E. Shcheglov, "Application of some criteria for checking randomness and lack of trend", (in Russian), in *Metrologiya*, no. 12, pp. 3-25, 2010. ]

6. **Богоявленский А. А.** Анализ процедур обеспечения достоверности средств и методов измерения вибрации в процессах поддержания летной годности воздушных судов // Научный вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 1. С. 78–87. [ A. A. Bogoyavlenskiy, "Analysis of procedures for ensuring the reliability of means and methods for measuring vibration in the processes of maintaining airworthiness of aircraft", (in Russian), in *Nauchnyj vestnik MGTU GA*, vol. 20, no. 1, pp. 78-87, 2017. ]

7. **Гущин С. В., Полонский А. П.** Использование лазерного контроля параметров вибрации при диагностике изделий авиационной отрасли // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20, № 10. С. 21–27. [ S. V. Gushchin, A. P. Polonskiy, "The use of laser control of vibration parameters in the diagnosis of aviation products", (in Russian), in *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, vol. 20, no. 10, pp. 21-27, 2016. ]

8. **Способ и устройство интеллектуального экспресс-контроля технического состояния наземных средств связи и радиотехнического обеспечения полетов / П. А. Будко**

[и др.] // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 235–283. [ P. A. Budko, et al., "Method and device for intelligent express control of the technical condition of ground communication facilities and radio technical support of flights", (in Russian), in *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*, no. 1, pp. 235-283, 2020. ]

## ОБ АВТОРАХ

**КОПТЕВ Дмитрий Сергеевич**, преп., асп. каф. КПиСС. Дипл. магистр (ЮЗГУ, 2010). Готовит дис. о системах контроля функционального состояния пилота.

**МУХИН Иван Ефимович**, проф. каф. КПиСС. Дипл. радиоинженер (Воронежск. пол. ин-т, 1977). Д-р техн. наук по специальности 20.01.09 Военные системы управления, связи и навигации (технические науки) (Военная академия связи им. С. М. Буденного, 2012). Иссл. в обл. диагностики и прогностики технического состояния ответственных узлов летательных аппаратов.

## METADATA

**Title:** Description of the concept of development of integrated on-board systems for ensuring the safety of flights of aircraft, including systems for monitoring the functional state of the pilot.

**Authors:** D. S. Koptev<sup>1</sup>, I. E. Mukhin<sup>2</sup>

**Affiliation:**

Southwest State University (SWSU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>d.s.koptev@mail.ru, <sup>2</sup>ramonkursk@yandex.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 24, no. 4 (90), pp. 57-68, 2020. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** This article presents and describes the main scientific and technical ways of developing and creating integrated onboard systems for ensuring the safety of aircraft flights, including systems for monitoring the functional state of the pilot. The main methods and means of diagnostics and prognostics of the technical condition of the airframe and the main units of aircraft are considered. Their comparative analysis is carried out and a structural diagram of an integrated diagnostic system is proposed, the essence of which is to implement the procedure for accumulating flight data on the parameters of critical units and assemblies on board the aircraft and to apply the method of express analysis, which consists in monitoring the dynamics of change in the trend of controlled parameters in relation to limit values in real time.

**Key words:** aircraft; flight safety; diagnostics and prognostics of technical condition; prediction of residual life; pilot; functional condition.

**About authors:**

**KOPTEV, Dmitriy Sergeyich**, Lecturer, Postgraduate student of the Dept. of Space Instrumentation and Communication Systems (SWSU, 2010).

**MUKHIN, Ivan Efimovich**, Prof., Dept. of Automated Systems. Dipl. Radioengineer (Voronezh State Univ., 1977). Dr. of Tech. Sci. (Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny, 2012).