

На правах рукописи

Ергалиев Дастан Сырымович

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ВЫБОРА
ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОЦЕНКИ
ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ И АГРЕГАТОВ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

специальность

05.07.07 – контроль и испытание летательных аппаратов и их систем

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Самара – 2010

Работа выполнена на кафедре эксплуатации авиационной техники государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» (СГАУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Коптев Анатолий Никитович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Леонович Георгий Иванович

кандидат технических наук,
Арцытов Николай Федорович

Ведущая организация: Институт авиационных технологий и управления
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет»

Защита состоится 24 сентября 2010 г. в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.215.02 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34, корпус 3а, ауд. 209

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГАУ.

Автореферат разослан 23 августа 2010 г

Ученый секретарь совета,
доктор технических наук, доцент

Головин А.Н.

Общая характеристика работы

Актуальность. Сложность летательных аппаратов (ЛА) и бортового комплекса оборудования (БКО), связанная с полной автоматизацией процесса управления полетом, заставляет искать более эффективные средства обеспечения высокой эксплуатационной надежности. Старый принцип эксплуатационника «эрудиция + интуиция» дает неважные результаты применительно к авиационной технике последнего поколения и тем более не подходит для ЛА будущего. Традиционные методы и средства технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) лишь частично решают эту задачу и не могут обеспечить эффективного решения проблем, возникающих при эксплуатации ЛА. В период эксплуатации ЛА надежность его систем обеспечивается средствами контроля и технической диагностики.

За последние 10-15 лет в области эксплуатации авиационной техники быстро формируется направление, которое известно как «упреждающее обслуживание». Основные задачи, рассматриваемые данным направлением, включают разработку технологии упреждающего анализа для улучшения эффективности работы и сокращения производственных затрат. Основанная на сборе и обработке информации технология, позволяющая прогнозировать дальнейшее развитие событий, реализуется системой диагностического управления, которая должна осуществлять автоматический контроль и диагностику состояния любого оборудования в реальном масштабе времени.

Ключевым фактором реализации упреждающего обслуживания является знание того, за чем нужно следить, т.е. какие отклонения параметров коренных причин отказа могут привести к инициации процесса отказа компонента, системы и ЛА в целом.

В указанных направлениях исследований процессов технической эксплуатации ЛА следует отметить успешные работы отечественных ученых: И.М. Синдеева, Е.Ю. Барзиловича, С.В. Далецкого, П.И. Кузнецова, В.И. Перова, П.П. Пархоменко, О.Я. Деркача, Н.Н. Смирнова, А.Н. Коптева, а также зарубежных ученых, таких как Г. Чжен, Е. Мэннинг, Г. Метц, У. Фитч и др.

Совершенствование структуры диагностического и упреждающего обслуживания в контексте взаимодействия специалиста по ТО и Р со сложными информационными потоками позволяет сформировать четыре основных направления развития диагностики в рамках реализации упреждающего обслуживания для оценки технического состояния агрегатов и систем БКО:

- разработка методов представления для анализа агрегатов и систем БКО ЛА как объектов контроля и диагностики;

- построение методов формирования исходного (базового) и текущего множества признаков, в качестве исходных значений которых должны выступать параметры базовых агрегатов, систем БКО, лежащих в основе контроля и диагностики для оценки их технического состояния;

- разработка эффективных методов анализа технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА, основанных на обработке диагностической информации о текущих параметрах и их изменениях относительно базовых, позволяющих прогнозировать дальнейшее развитие событий;

- создание системы моделирования и оценки технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА по результатам текущего ТО и Р.

Прогресс в области ТО и Р сдерживается несовершенством применяемого математического аппарата, в рамках которого должны решаться эти задачи. В этих условиях на первый план выдвигаются вопросы формализации структуры информации и разработки методологии анализа информационных структур. Эти вопросы, положенные в основу данной работы, ставшие по настоящему актуальными, благодаря развитию технологий упреждающего обслуживания. В связи с вышеизложенным тема диссертационной работы, посвященная разработке методов и алгоритмов выбора диагностических параметров для обеспечения оценки технических характеристик агрегатов и систем БКО ЛА для внедрения упреждающего обслуживания, является актуальной.

Цель работы и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка методов и алгоритмов формирования набора диагностических параметров для обеспечения оценки технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА и реализации упреждающего обслуживания.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

- анализ состояния методов и средств диагностики технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА;

- разработка методов представления и анализа обобщенной модели агрегатов и систем БКО ЛА как объектов контроля и диагностики их состояния;

- построение методов формирования исходного (базового) и текущего множества признаков для формирования тензора оценки технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА;

- разработка технологии упреждающего анализа для прогнозирования технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА.

Методы исследования включают теорию образов, теорию графов, тензорный анализ сетей Г.Крона, структурно-функциональный анализ сложных технических систем.

Объектом исследования являются агрегаты и системы БКО ЛА, как объекты технического обслуживания и ремонта.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы анализа и синтеза диагностических параметров обеспечения оценки технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- разработаны методы представления, анализа и обобщенная модель для оценки состояния агрегатов и систем БКО ЛА, при их техническом обслуживании и ремонте;

- построена теория метода формирования исходного (базового) и текущего множества признаков для оценки технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА;

- разработана технология упреждающего анализа для прогнозирования технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА на основе оценки диагностических параметров;

- создана динамическая модель системы прогнозирования технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА с использованием уравнения состояния.

Достоверность полученных результатов и правомерность применения математического аппарата подтверждается адекватностью полученных моделей и результатами экспериментальных исследований.

На защиту выносятся:

1. Метод представления и обобщенная модель агрегатов и систем БКО ЛА на основе точного формализма теории синтеза образов и тензорного анализа сетей для описания их структуры.

2. Метод и алгоритм выбора диагностических параметров агрегатов и систем БКО ЛА для построения процессов контроля и диагностики при их техническом обслуживании и ремонте.

3. Динамическая модель для представления эволюции состояний агрегатов и систем БКО ЛА как объектов технического обслуживания и ремонта.

4. Тандемная схема принятия решений о техническом состоянии агрегатов и систем БКО ЛА.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные результаты позволяют:

– реализовать программу упреждающего обслуживания агрегатов и систем БКО ЛА на основе оценки их текущего состояния;

– обеспечить требуемый уровень надежности агрегатов и систем БКО ЛА для повышения безопасности полетов летательных аппаратов в рамках реализации упреждающих технологий;

– совершенствовать технологические процессы технического обслуживания и ремонта агрегатов и систем БКО ЛА на основе предложенных практических алгоритмов и современных информационных технологий.

Реализация результатов работы. Полученные в диссертационной работе результаты переданы для использования при разработке и реализации проектов совершенствования технологических процессов ТО и Р в ОАО Авиакор (Авиакор-сервис) на ЛА типов Ту-154 и Ан-140 в рамках совершенствования технико-экономических показателей при обслуживании и ремонте и использованы в учебных пособиях «Техническое обслуживание и ремонт авиационной техники», о чем имеются соответствующие акты.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на Международных симпозиумах «Надежность и качество» (Пенза, 2006, 2007, 2008), Второй Всероссийской научно-технической конференции (Каменск-Уральский, 2007).

Публикации. По теме диссертационной работы автором опубликовано 16 работ, в т.ч. 1 статья в издании, рекомендованном ВАК РФ, 2 статьи опубликованы в международном журнале «Поиск» Министерства образования и науки Республики Казахстан, 10 статей опубликованы в сборниках материалов Международных симпозиумов и конференций, 3 статьи опубликованы в сборнике статей семинара по разрушающим методам контроля.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа содержит 150 страниц текста, список литературы включает 113 наименований.

Содержание работы

Во введении сформулирована проблема исследования, обоснована ее актуальность, определена цель работы и круг решаемых задач, отмечена ее практическая направленность и научная новизна.

В первой главе рассмотрено состояние теории и практики оценки технического состояния систем и агрегатов летательных аппаратов, выполнен анализ проблемы контроля и технической диагностики как обязательной части процесса диагностического управления безопасностью полетов.

Отмечено, что главной тенденцией, характеризующей состояние парка летательных аппаратов (ЛА) России и стран СНГ, является физическое старение авиационной техники (АТ) и, как следствие, ухудшение эксплуатационно-технических характеристик. Учет при техническом обслуживании (ТО) нестабильности характеристик ЛА и его систем требует создания гибкой системы диагностического управления, включающей подсистемы контроля и диагностики, дающей полное представление о состоянии жизненно важных агрегатов и систем БКО ЛА. Создание этой системы позволяет реализовать упреждающее техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р).

Работы по системам контроля и диагностики технического состояния разделены на четыре группы: исследование объектов контроля и диагностики (ОКД); теория, методы и алгоритмы построения программ контроля; способы и средства контроля и, наконец, исследование свойств и характеристик систем ТО и Р.

Во всех работах по ТО и Р отмечается, что центральным звеном для построения технологических процессов ТО и Р являются исследования технического обслуживания агрегатов и систем БКО ЛА, охватывающие изучение свойств и характеристик реальных физических объектов и методы построения их математических моделей для целей технической диагностики.

Математические модели агрегатов и систем БКО ЛА составляют основу формальных методов построения программ контроля для оценки их технического состояния с учетом возможных неисправностей.

Исследований, посвященных построению программ контроля, оптимальных и/или оптимизированных по числу отдельных проверок или средних затрат достаточно много. Характерным для этих работ является многообразие постановок задач, применяемых математических аппаратов и методов решения, что затрудняет понимание их сущности, приводит к дублированию и замедляет их внедрение в практику ТО и Р.

Показано, что комплексная задача оценки технического состояния объектов ТО и Р включает разработку методов выбора диагностических параметров, алгоритмы их получения и разработки основ формирования необходимого набора параметров для оценки технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА.

Рассмотренная теория и практика конструирования диагностического теста системы или агрегата ОКД показала, что в целом сформулированы лишь общие требования к ним, которые не являются исчерпывающими и в них отсутствует оценка систематической ошибки тестирования, а создание самих тестов требует глубоких профессиональных знаний, опыта и развитой интуиции.

Одним из наиболее применяемых существующих методов формирования тестов является использование линейных моделей.

Проведено исследование методов построения диагностических тестов с использованием различных критериев для выделения группы диагностических показателей, дающих лишь одно из возможных решений по оценке состояния ОКД.

В заключении на базе проведенных исследований сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе рассмотрены вопросы формальных основ представления агрегатов и систем БКО ЛА для анализа их структуры как объектов ТО и Р.

Центральным звеном изучения реальных агрегатов и систем БКО ЛА как объектов ТО и Р является построение математических моделей для их анализа на базе точного формализма, определенного в рамках теории образов на основе геометрического подхода, т.е. построения уравнения, которое существенно отражает структурные свойства как отдельных агрегатов, так и систем в целом.

Для исследования структуры агрегатов и систем БКО ЛА как объектов ТО и Р строятся их модели, использующие четыре принципа теории синтеза образов У. Гренандера:

- модели строятся из выделенных компонент – формальных образующих этих объектов A ;
- формальные соединения S образующих между собой осуществляются по определенным правилам R ;
- регулярные конфигурации $b(R)$, получаемые в результате формальных соединений образующих Σ , являются абстрактными моделями агрегатов и систем БКО ЛА, т.е. формальным описанием объекта исследования;
- процесс преобразования K , переводящий абстрактные модели в реальные с помощью регулярного механизма деформации, описывающего отклонения от идеального состояния, описываемого тензором преобразований $C_{\alpha'}^{\alpha}$.

В рамках такого подхода, с общих позиций, любой объект ТО и Р есть множество модулей A , состоящее из непересекающихся классов A^{α} , $A^{\alpha} \subset A$, где α – общий индекс, индекс класса модулей

$$A = \bigcup A^{\alpha}, A^{\alpha} - \text{непересекающиеся классы.} \quad (1)$$

При решении задач ТО и Р агрегатов и систем БКО ЛА приходится иметь дело более чем с одной моделью для них, построенной в заданном пространстве модулей, представляющих и дающих возможности анализа их отображений. При этом используются лишь два вида отображений: отношения между реальной системой и ее образом, построенными на основе введенных представлений в виде двух пространств конфигураций $b(R)$ и $b'(R)$:

$$b(R) = \langle A, K, \Sigma, \rho \rangle, b'(R) = \langle A', K, \Sigma, \rho \rangle, \quad (2)$$

где A – набор компонентов агрегатов, и систем БКО ЛА; K – группа преобразования подобия; Σ – структура внешних связей; ρ – отношение связей; R – правила идентификаций.

Для детального анализа структуры реальных агрегатов и систем БКО ЛА в работе на основе этих принципов предлагается использовать в качестве базового уравнения зависимость между: сильными компонентами графа $G=(A^0, F)$ агрегата или системы БКО ЛА, представляемыми порожденными подграфами $G' = \{A^0 - R(a_k^0) \cap Q(a_k^0)\}$, где A^0 – множество точек (не только геометрических, но и вещественных), $R(a_k^0)$ - достижимые множества точек A^0 , $a_k^0 \in A^0$, $Q(a_k^0)$ - контра-

достижимое множество, и конечными ориентированными простыми цепями $c_v = \sum_{v=1}^{\gamma} m_v a_v^i$, формально описываемых линейной формой, которые представляют систему координат.

В уравнении агрегатов и систем БКО ЛА для целей их детального анализа как объектов ТО и Р используется зависимость (3), которая рассматривается им в разных подпространствах – структурах, введенных в работе для представления структур агрегатов и систем этого оборудования и всех допустимых видов преобразования этих структур, и поэтому вместо одного уравнения (3) должна быть записана система уравнений для каждого из рассматриваемых пространств-структур

$$\bigcup_n \{A^{0(q)} - R(a_k^{0(q)}) \cap Q(a_k^{0(q)})\} = \sum_n \left\{ \sum_{v=1}^{\gamma} m_v a_v^{0(q)} \right\}, \quad (3)$$

$q = 1, 2, 3$

где q – индекс данного подпространства – структуры.

Для решения этих уравнений, т.е. получения функциональных компонентов агрегатов и систем БКО ЛА, с которым выполняются действия ТО и Р, использован матричный метод. Матрицы достижимости D и контрадостижимости Q , построенные на графе конкретных агрегатов и систем БКО ЛА, связанные между собой соотношением ортогональности, позволяют по элементам умножением получать разбиение, описываемое квазиединичной матрицей – символом Кронекера, которое интерпретируется для универсальных агрегатов и систем БКО ЛА компанд-тензором

$$\delta_{ij} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} & 1 & 2 & 3 & \dots & n \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ n \end{array} & \begin{array}{|c|} \hline (\delta_{\alpha\beta})_1 \\ \hline \end{array} & & & & \\ & & \begin{array}{|c|} \hline (\delta_{\alpha\beta})_2 \\ \hline \end{array} & & & \\ & & & \begin{array}{|c|} \hline (\delta_{\alpha\beta})_3 \\ \hline \end{array} & & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & \begin{array}{|c|} \hline (\delta_{\alpha\beta})_n \\ \hline \end{array} \end{array} \end{array}$$

Конкретные соединения функциональных компонент агрегата или системы $(\delta_{\alpha\beta})_n$ получают отображение их множества в себя и описываются матрицей соединения $C_{\alpha'}^{\alpha}$.

На базе тензорного анализа сетей разработаны методика вывода тензорного уравнения поведения агрегата или системы БКО ЛА и их топологическая модель в пространстве параметров T множество, X внутренних свойств $[M]$

складывается из

$$X = K \cup R \cup F \cup V \cup C, \quad (4)$$

где K – подмножество параметров основных процессов; R – подмножество характеристик; F – подмножество параметров основных процессов; V – подмножество параметров соответствующих процессов; C – подмножество структурных параметров.

Предложенные уравнения необходимы и достаточны для исследования структуры любых агрегатов и систем БКО ЛА.

В третьей главе рассмотрены модели и алгоритмы преобразования, копаунд-тензорного представления δ_{ij} агрегата или системы БКО ЛА в исходное множество диагностических признаков для оценки их технического состояния, охватывающих весь набор функциональных компонент $(\delta_{\alpha\beta})_n$.

Для физического обоснования тензорных уравнений, предложенных в главе 2 для описания агрегатов и систем БКО ЛА, введена копаунд-сеть, в которой каждая компонента в отличие от исходных компонент физических модулей этих агрегатов, представляют собой целые сети, решающие конкретные задачи копаунд-сети системы.

Полученные в соответствии с этой методикой единое тензорное уравнение по-ведение:

$\mathbf{e}=\mathbf{z}\mathbf{i}$ – для контурной сети;

$\mathbf{I}=\mathbf{Y}\mathbf{E}$ – для узловой сети;

$\mathbf{E}+\mathbf{e}=\mathbf{z}(\mathbf{i}+\mathbf{I})$ – для ортогональной сети

разделяют на n уравнений в зависимости от задач оценки параметров компонент или их отдельных элементов. При этом система n -тензорных уравнений аналогична n -обычных уравнений.

Реализация этого подхода требует выполнения следующих трех этапов.

1. На первом этапе строится модель агрегата или системы БКО ЛА с использованием понятия «копаунд-сеть».

2. На основе технических параметров агрегатов и систем БКО ЛА и их детальных представлений об агрегате или системе формируется обобщенный вариант диагностического теста (исходного множества диагностических признаков).

3. На третьем этапе разрабатывается диагностическая модель агрегатов и систем БКО ЛА и определяются ее параметры.

4. На четвертом этапе проводят стандартизацию и испытание построенной модели.

Копаунд-сеть агрегата или системы БКО ЛА вводится в рамках эффективного метода, позволяющего составлять уравнения сложных сетей, манипулировать ими и решать эти уравнения как обычные уравнения для простых, несложных сетей. На примере топливно-измерительной системы самолета Ан-140(ТИС) (рисунок 1) структурная схема представляется в виде копаунд-тензора преобразования \mathbf{C} , соединяющего копаунд компоненты (датчики топлива - ДТ-140-1,2,4,5; блок топливоизмерения – БТИ-140М; блок релейный – БР-140М; пульт контроля и управления – ПКУ-140; пульт контроля температуры – ПКТ-140; пульт контроля и управления заправкой - ПКУЗ), каждая из которых является сложной сетью, где каждая компонента является тензором валентности 2.

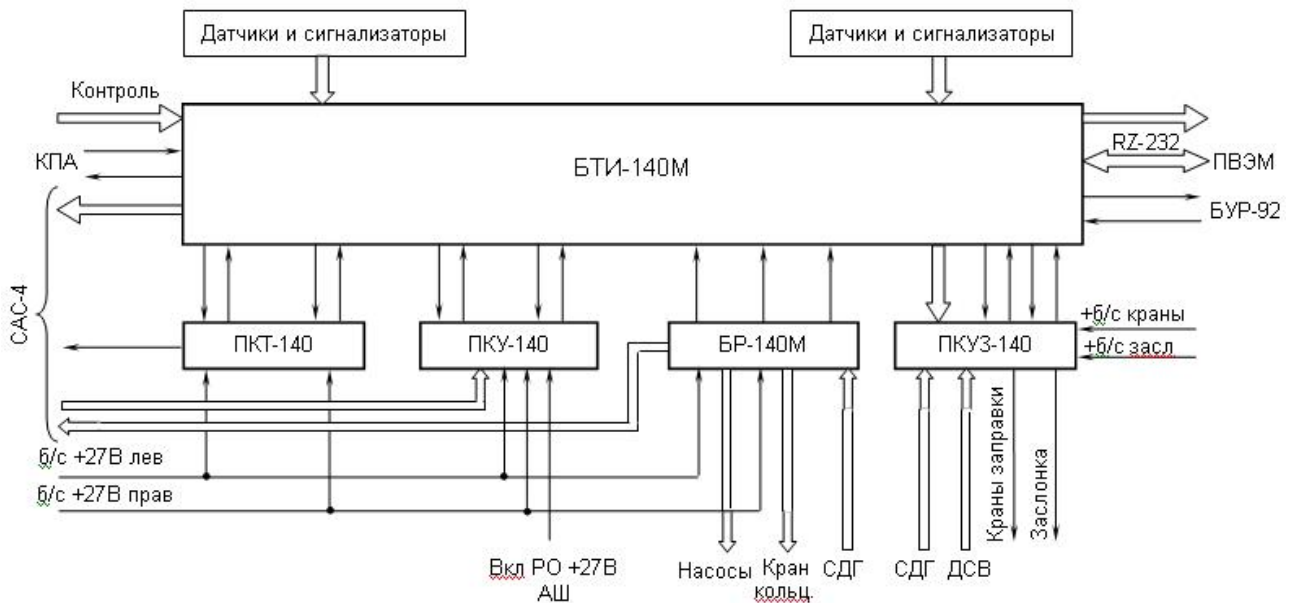


Рисунок 1 - Структурная схема ТИС-140М

Изображение сети базируется на составных физических частях для нашего примера блоков ТИС. При этом в соответствии с предложенной методикой главы 2, сеть составлена из перечисленных блоков как элементов, соединенных друг с другом регулярным способом заданной схемой электрических соединений. Наименьшими составными частями на этапе построения компаунд-сети являются перечисленные блоки ТИС. Дальнейшим развитием такого представления является разбиение блоков ТИС на более мелкие единицы: контуры и узловые пары, в соответствии с их функцией на основе непрерывной модели этой же главы.

В сетях блоков ТИС может оказаться любое количество узловых пар и контуров, функционально отличных друг от друга. Как следствие этого, единое уравнение поведения сети ($\mathbf{I}=\mathbf{Y}\mathbf{E}$ или $\mathbf{e}=\mathbf{z}\mathbf{i}$) разбивается на столько тензорных уравнений, сколько в ней имеется функционально различных типов узловых пар и контуров.

При этом узловые пары сети выполняют различные функции:

1) некоторые узловые пары выполняют роль клемм для приложенных напряжений \mathbf{E} или воздействующих токов \mathbf{I} ; такие узловые пары называются входными клеммами;

2) некоторые из них могут служить клеммами для нагрузок или для присоединения внешних сетей, не учитываемых в уравнениях или схемах сети; в этом случае \mathbf{I} представляет собой токи в нагрузках, а \mathbf{E} – разность потенциалов в нагрузках; такие узловые пары будем называть выходными клеммами;

3) узловые пары могут быть управляемы; например разность потенциалов \mathbf{E} может поддерживаться с помощью регулятора постоянного напряжения или изменяться по заданному закону;

4) некоторые узловые пары могут подвергаться определенным изменениям; например к ним можно присоединить различные измерительные приборы или различные типы нагрузок и т.д.

5) узловые пары могут оказаться вообще постоянно разомкнутыми.

Единое уравнение поведение сети разбивается на столько тензорных уравнений, сколько в ней имеется функционально различных типов узловых пар и контуров.

Для построения программы контроля и диагностики компаунд-сети их тензорное уравнение упрощается точно так же, как простые сети и их уравнения путем преобразования контуров сети. При этом процедура упрощения осуществляется на основе учета активных и пассивных узловых пар или контуров, что позволяет разделить весь набор различных уравнений компаунд токов или напряжений и на их основе построить оптимальную оценку агрегатов и систем БКО ЛА.

Задачи анализа агрегатов и систем БКО ЛА для построения программы их контроля и диагностики сформулировано в общей постановке следующим образом:

Дана их базовая сеть, найти ее текущие свойства. Для решения этой задачи предложен алгоритм решения двух типов задач таких как:

- 1) дана предложенная величина, найти отклик;
- 2) даны изменения величин, определить отклик.

При этом каждый тип контуров или узловых пар может содержать любое число отдельных контуров или узловых пар.

Для оценки технического состояния агрегатов или систем БКО ЛА при их диагностике, с общих позиций, используется взвешенное евклидово расстояние:

$$d_{ij}^{(E)} = \sqrt{\sum_{k=1}^p w_k (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (5)$$

где $\sum_{k=1}^p w_k$ - норма весового вектора w и взвешенное расстояние Хэмминга при контроле:

$$d_{ij}^{(H)} = \sum_{k=1}^p |x_{ik} - x_{jk}|, \quad (6)$$

где элементы d_{ij} являются значениями некоторой меры близости (удаленности) между объектами x_i и x_j .

Анализ надежности диагностических программ, включающих набор тестов, построенных по принципу внутренней согласованности, осуществляется на основе формулы Спирмена – Брауна корреляционной оценки между двумя тестами агрегатов или систем БКО ЛА.

В четвертой главе рассмотрены вопросы динамической оценки технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА на основе реализации диагностических тестов и программ из них в автоматизированной системе контроля «МАСКА» и алгоритмы реализации такой оценки.

Во-первых, рассмотрены вопросы функционирования системы ТО и Р в пространстве состояний. При этом особое внимание уделено исследованию функционирования системы ТО и Р БКО ЛА, реализующей различные возможности с соответствующими степенями допустимости.

На этой основе предложена модель оценки технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА.

Подход, предложенный в данной работе, основан на методе пространства состояний с учетом нелинейностей в уравнении состояния. Процессы ТО и Р в работе моделируются на базе понятия нечеткого множества Заде, основанного на обобщен-

нии понятия характеристической функции множества. Если X – множество состояний, связанное с оценкой агрегатов и систем БКО ЛА, то его нечеткое подмножество результатов оценки есть функция

$$\mu: X \rightarrow [0, 1]. \quad (7)$$

Динамика системы диагностического управления описывается нечетким отношением теоретико-множественным уравнением:

$$d: X \times U \times X \rightarrow [0, 1], \quad (8)$$

где U – множество допустимых управлений, определяемое программой оценки состояний БКО ЛА.

В рамках реализации этого условия предложено уравнение состояния системы ТО и Р в векторно-матричной форме с учетом влияния описываемой системы на среду БКО ЛА своими выходными параметрами:

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t) + Cf(t), \quad (9)$$

где x – вектор состояния функционирования системы ТО и Р при оценке технического состояния агрегата или системы БКО ЛА, u – управляющее действие системы, f – учет влияния отказов, A, B, C – матрицы, описывающие движение системы.

Вектор состояния сформирован из множества величин, которых достаточно для того, чтобы полностью описать движение системы ТО и Р в пространстве состояний. Этот подход оказывается ближе к реальным запросам практики ТО и Р, нежели любая разновидность метода преобразования производственных функций.

Для управления техническим состоянием с прогнозированием использовано уравнение:

$$x(t+1) = x(t) + u(t) - f(t), \quad (10)$$

где x – текущее состояние, u – действия системы, f – затраты. Динамическая оценка движения состояния агрегатов и систем для переменных состояний x_n и u_n – переменных управлений с f_n – номинальными затратами на перевод в нужное состояние будет определяться уравнением:

$$x_n(t+1) = x_n(t) + u_n(t) - f_n(t). \quad (11)$$

Тогда отклонения от нормы будут описываться уравнением, полученным вычитанием (14) из (15):

$$e(t+1) = e(t) + c(t) - s(t), \quad (12)$$

где $e(t) = x(t) - x_n(t)$, $c(t) = u(t) - u_n(t)$ и $s(t) = f(t) - f_n(t)$. При известных затратах $s(t)$ определяется корректирующее воздействие на систему $c(t)$, минимизирующее ошибку $e(t+1)$.

Рассмотрена постановка и решение в рамках предложенного подхода ряда конкретных задач по управлению техническим состоянием агрегатов и систем БКО ЛА как объектов ТО и Р.

При этом состояние системы «объект – ТО и Р» определяется функцией перехода системы из состояния в состояние под воздействием управления:

$$d(x, u) = \min(\mu(x), \lambda(u)), \quad (13)$$

$\mu: X \rightarrow [0, 1]$ – нечеткое подмножество пространства состояний X .

$\lambda: U \rightarrow [0, 1]$ – нечеткое подмножество допустимых управлений U .

Переходная функция d системы ТО и Р определяется на основе использования линейной модели – уравнения состояния:

$$\tilde{x}(t+1) = A\tilde{x}(t) + B\tilde{u}(t), \quad (14)$$

$\tilde{x}(t): X \rightarrow [0, 1]$ и $\tilde{u}(t): U \rightarrow [0, 1]$ – два нечетких множества. Состояние системы определено:

$$\begin{aligned} \tilde{x}(t+1): (X+U) &\rightarrow [0, 1]. \\ (X+U) &= \{(x+u) | x \in X, u \in U\}, \\ \tilde{x}(t+1) &= \sup_{(x+u) \in (X+U)} \min(\tilde{x}(t), \tilde{u}(t)). \end{aligned} \quad (15)$$

В рамках решения основной задачи конструирования программ контроля и диагностики для оценки технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА в среде системы ТО и Р предложена тандемная схема построения и реализации этих программ, объединяющая два подхода: один из них основан на знаниях и опыте специалистов, а другой на применении моделей и алгоритмов их реализации.

Реализация предложенного подхода опробирована на агрегатах и системах БКО самолета Ту-154, в частности, по программе контроля и диагностики системы выработки топлива с применением программно-технического комплекса LabVIEW и РХИ в микропроцессорной автоматизированной системе контроля авионики «МАСКА», разработанной в НИЛ-36 СГАУ. Реализация программ контроля и диагностики панели борт-инженера в рамках «МАСКА» показана на рисунках 2 - 4.

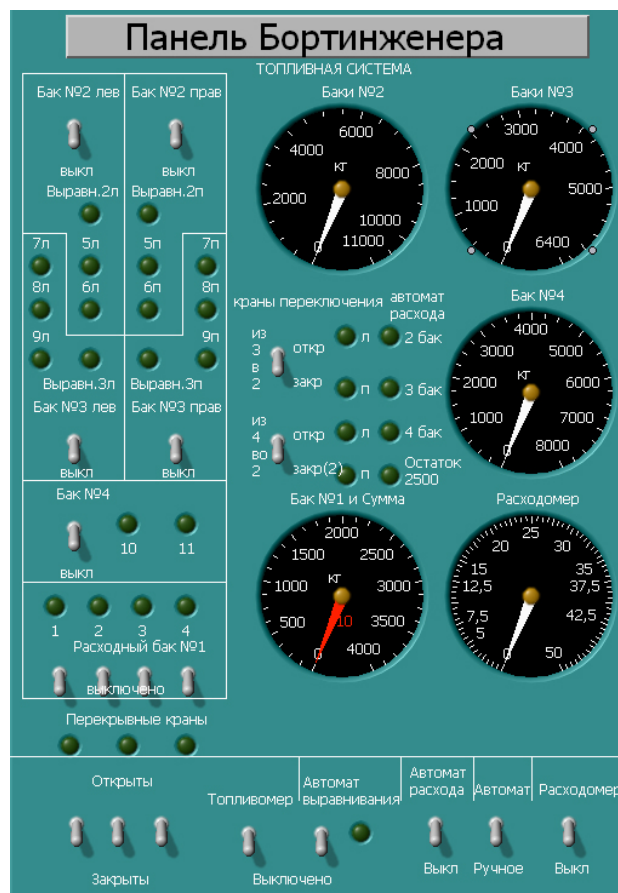


Рисунок 2 - Виртуальная панель бортинженера

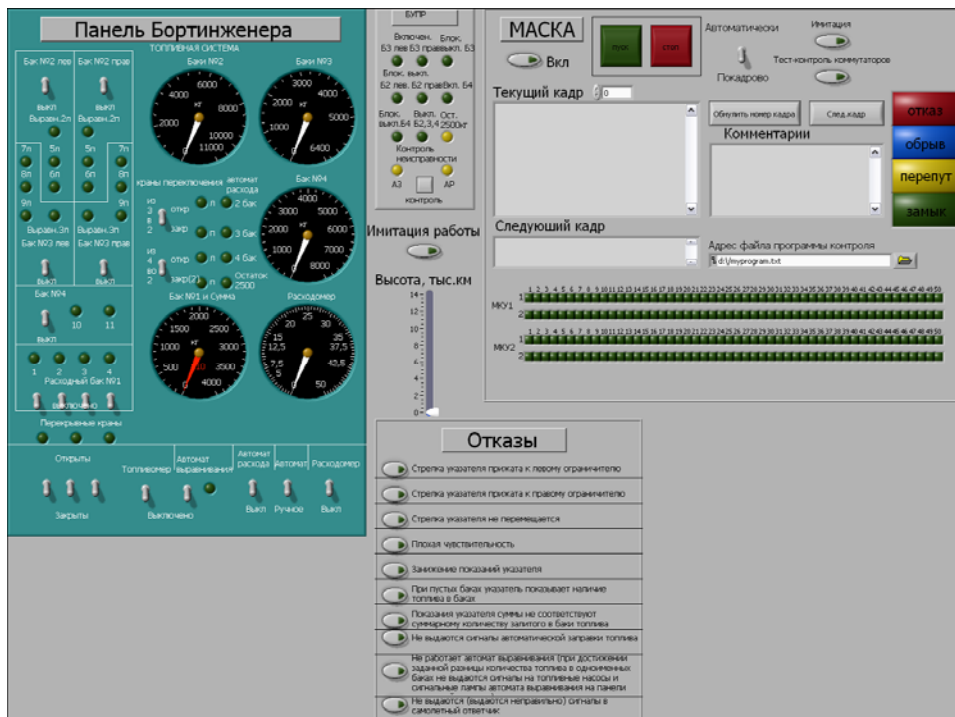


Рисунок 3 - Виртуальная панель управления контрольно-проверочной аппаратурой (КПА)

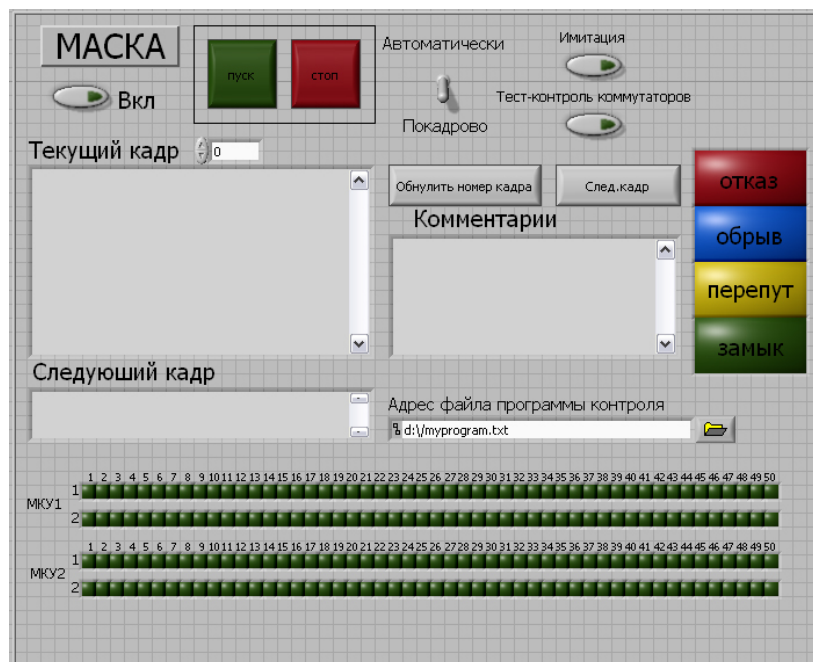


Рисунок 4 - Виртуальная панель управления «МАСКА»

Задача конструирования программы контроля и диагностики агрегатов и систем БКО ЛА решена на базе предложенного тандемного подхода.

В заключительной части работы представлены основные результаты и выводы, полученные в ходе диссертационного исследования.

Основные результаты и выводы

1. Выполнен анализ современного состояния теории и практики ТО и Р и оценки технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА на основе контроля и диагностики их параметров, который позволил выявить проблемы диагностического

управления техническим обслуживанием, сформулировать цель и задачи диссертационного исследования.

2. Разработан на базе теории образов и тензорного анализа сетей Г.Крона метод и алгоритмы представления агрегатов и систем БКО ЛА для исследования их структуры как объектов ТО и Р, позволяющий разделить систему на компоненты и упростить ее анализ как объекта ТО и Р.

3. Разработан математический метод формирования исходного множества признаков для распознавания технического состояния агрегатов и систем БКО ЛА, позволяющий получить точный алгоритм конструирования программ их контроля и диагностики.

4. Создано на основе метода пространства состояний динамическое уравнение функционирования системы ТО и Р агрегатов и систем БКО ЛА, описывающее процесс поведения системы.

5. На основе динамического уравнения функционирования системы ТО и Р предложен алгоритм оценки состояния агрегатов и систем БКО ЛА.

6. Предложена тандемная схема учета опыта специалистов при конструировании программ контроля и диагностики агрегатов и систем БКО ЛА и оценки их технического состояния, позволившая наметить пути полной автоматизации этой оценки.

7. Выполнен комплекс экспериментальных работ по оценке эффективности предложенных методов конструирования программ контроля и диагностики агрегатов и систем БКО ЛА.

Основные положения диссертации отражены в работах, опубликованных:

в издании, рекомендованном ВАК России

1. Ергалиев, Д.С. Моделирование архитектуры системы управления состоянием объектов технического обслуживания [Текст] / А.Н. Коптев, Д.С. Ергалиев, К.Ж. Саханов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева. – №1(14).- 2008 . – С.219–225.

в других изданиях

2. Ергалиев, Д.С. Модели технического обслуживания комплексов оборудования воздушных судов. [Текст] / С.А. Дьячков, Д.С. Ергалиев, А.А. Задорожный, А.Н.Коптев, А.О. Пашутко, // Сб. научн. статей семинара по неразрушающим методам контроля «Совершенствование технологических процессов технического обслуживания». – Самара: СГАУ, 2007. – С.12-21.

3. Ергалиев, Д.С. Теоретические основы формирования исходного множества диагностических признаков объектов технического обслуживания и ремонта. [Текст] / Д.С. Ергалиев, А.Н. Коптев, А.О. Пашутко, К.Ж. Саханов, А.Н. Тихонов // Сб. научн. статей семинара по неразрушающим методам контроля «Совершенствование технологических процессов технического обслуживания». – Самара: СГАУ, 2007. – С.21-27.

4. Ергалиев, Д.С. Аналитические основы контроля и диагностирования систем воздушных судов гражданской авиации[Текст] / Д.С. Ергалиев // Сб. научн. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество», I том. – Пенза: ИПО ПГУ, 2007. – С.23–24.

5. Ергалиев, Д.С. Аналитические организационно-технические аспекты технического обслуживания систем бортового комплекса оборудования воздушных судов [Текст]

- / Д.С. Ергалиев, А.Н. Тихонов, К.Ж. Саханов // Сб. научн. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество», I том. – Пенза: ИПО ПГУ, 2007. – С.322–323.
6. Ергалиев, Д.С. Интеллектуальные системы оценки состояния бортовых комплексов оборудования [Текст] / Д.С. Ергалиев, А.Н. Коптев, К.Ж. Саханов // Сб. научн. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество», I том. – Пенза: ИПО ПГУ, 2008. – С.444–446.
 7. Ергалиев, Д.С. Основы интерпретации результатов диагностического тестирования бортовых комплексов оборудования [Текст] / Д.С. Ергалиев, А.Н. Коптев, К.Ж. Саханов // Сб. научн. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество», I том. – Пенза: ИПО ПГУ, 2008. – С.446–448.
 8. Ергалиев, Д.С. Задача обучения распознаванию образов [Текст] / Д.С. Ергалиев, К.Ж. Саханов, К.М. Казиев // Сб. научн. трудов Всероссийской научно-технической конференции «Радиовысотометрия». – Каменск-Уральский: ИПО УПБК «Деталь», 2007. – С.257–262.
 9. Ергалиев, Д.С. Рекуррентные алгоритмы обучения распознаванию образов [Текст] / Д.С. Ергалиев // Сб. научн. трудов Всероссийской научно-технической конференции «Радиовысотометрия». – Каменск-Уральский: ИПО УПБК «Деталь», 2007. – С.267–272.
 10. Ергалиев, Д.С. Отбор информативных признаков распознавания [Текст] / Д.С. Ергалиев // Сб. научн. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество», I том. – Пенза: ИПО ПГУ, 2008. – С.290–291.
 11. Ергалиев, Д.С. Алгоритмы представления задач организации гибких систем технического обслуживания и ремонта авиационной техники [Текст] / Д.С. Ергалиев, А.Н. Коптев // Сб. научн. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество», I том. – Пенза: ИПО ПГУ, 2008. – С.441–442.
 12. Ергалиев, Д.С. Структурные аспекты создания экспертных систем [Текст] / Д.С. Ергалиев, А.Н. Коптев // Сб. научн. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество», I том. – Пенза: ИПО ПГУ, 2008. – С.442–444.
 13. Ергалиев, Д.С. Обеспечение надежности эксплуатации «стареющих» учебно-тренировочных самолетов [Текст] / В.А. Комаров, Д.С. Ергалиев, К.Ж. Саханов // Сб. научн. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество», I том. – Пенза: ИПО ПГУ, 2006. – С.16–18.
 14. Ергалиев, Д.С. Модель и архитектура системы управления состоянием объектов технического обслуживания [Текст] / А.Н. Коптев, Д.С. Ергалиев, К.Ж. Саханов, А.Н. Тихонов // Сб. научн. статей семинара по неразрушающим методам контроля «Совершенствование технологических процессов технического обслуживания». – Самара: СГАУ, 2007. – С.82-91.
 15. Ергалиев, Д.С. Условия практической эксплуатации «стареющих» учебно-тренировочных самолетов [Текст] / К.Ж. Саханов, Д.С. Ергалиев, В.А. Комаров // Международный журнал министерства образования и науки Республики Казахстан «Поиск» № 4. – Алматы, 2006. – С.266-271.
 16. Ергалиев, Д.С. История создания и особенности конструкции и эксплуатации учебно-тренировочных самолетов [Текст] / К.Ж. Саханов, Д.С. Ергалиев, В.А. Комаров // Международный журнал министерства образования и науки Республики Казахстан «Поиск» № 4. – Алматы, 2006. – С.271-279.