

На правах рукописи

Саханов Канат Жаксылыкович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Специальность

05.07.07 – Контроль и испытание летательных аппаратов и их систем

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Самара – 2009

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» (СГАУ) на кафедре эксплуатации авиационной техники

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Коптев Анатолий Никитович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Гречишников Владимир Михайлович

кандидат технических наук
Прилепский Илья Васильевич

Ведущее предприятие: Федеральное государственное унитарное предприятие
«Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ – Прогресс», г. Самара

Защита состоится 5 марта 2010 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.215.02, созданном при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева», по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГАУ.

Автореферат разослан 4 февраля 2010 г.

Ученый секретарь совета,
д.т.н., профессор

Скуратов Д. Л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ. Эксплуатация существующего парка летательных аппаратов (ЛА) с эксплуатационно-техническими характеристиками, сформированными в прошедшем столетии, а также дальнейшее развитие военной и гражданской авиации связано с созданием и оснащением всех видов потребителей авиационной техники новыми типами летательных аппаратов, которые по своим летно-техническим и эксплуатационным характеристикам должны обеспечивать более высокий, в сравнении с существующим, уровень безопасности и интенсивности полетов, снижение расходов на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), и в целом себестоимости авиаперевозок, выдвинули на первый план проблему создания высокоэффективных средств для их технического обслуживания, в частности, систем электроснабжения (СЭС). В рамках решения этой проблемы, для реализации упреждающих технологий наблюдается растущий интерес к системам диагностического управления состоянием систем СЭС ЛА, включающим подсистему автоматического контроля для оценивания состояния этих систем, которые должны обладать широкими возможностями:

- большим объемом воспринимаемых системой параметров внешних воздействий и реакций на них, в общем случае связанных между собой;
- широким диапазоном изменения всех параметров, известным обслуживающему персоналу с малой точностью;
- способностью системы адаптироваться к широкой номенклатуре систем бортового комплекса оборудования (БКО) воздушного судна, которые поступают на ее вход при техническом обслуживании и ремонте.

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: Г.Чжен, Е. Мэннинг, Г.Метц, У.Фитч и др.

В результате этих исследований решены многие теоретические вопросы анализа и синтеза систем технической эксплуатации (СТЭ) для ЛА, гидромеханических, электротехнических систем и радиоэлектронного оборудования. Однако опыт эксплуатации отечественных ЛА в новых экономических условиях потребовал системного рассмотрения вопросов управления их техническим состоянием на всех этапах их жизненного цикла в рамках последних научно-технических достижений и требований международных стандартов. Сказанное предполагает, что проблема диагностического управления состоянием системы СЭС или ее элементов при техническом обслуживании должна решаться посредством объективного контроля, как отдельных систем и их элементов, так и СЭС в целом, в рамках интегрированной автоматизированной системы принятия решений, способной оценивать готовность СЭС ЛА выполнять свою функцию, по результатам текущего контроля их параметров и сравнения с предыдущими оценками состояний систем и ее компонент. В связи с вышеизложенным тема диссертационной работы, посвященной разработке методов и средств контроля для обеспечения оценки технического состояния бортовых систем летательных аппаратов для внедрения упреждающего обслуживания, является актуальной.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Целью работы является повышение эффективности ТО СЭС за счет разработки прогрессивного метода и использовании современных средств контроля технического состояния и реализации упреждающих технологий.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

1. Исследование методов и средств контроля состояния систем электроснабжения при техническом обслуживании летательных аппаратов.
2. Разработка методов и средств представления компонентов и систем электроснабжения для контроля их технического состояния при ТО.
3. Разработка методов анализа систем электроснабжения как объектов контроля и диагностирования.
4. Задача синтеза тестовой информации для контроля и диагностирования СЭС.
5. Разработка автоматической системы оценки состояния компонентов СЭС в рамках упреждающих технологий.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. В работе использованы теоретико-множественные представления, теория распознавания образов, тензорный анализ сетей, теория принятия решения, теория информации, математическое моделирование сложных многофункциональных систем.

ОБЪЕКТОМ ИССЛЕДОВАНИЯ является система оценки технического состояния СЭС ЛА в процессе серийной эксплуатации.

ПРЕДМЕТОМ ИССЛЕДОВАНИЯ являются методы и средства оценки технического состояния систем ВС для упреждающего обслуживания.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА диссертационной работы состоит в следующем:

- предложен метод представления образа СЭС и ее компонентов с целью анализа их внутренней организации через качественную и количественную определенность, образующих, связей, конфигураций и алгебры изображений для получения информации о них как объектов ТО в условиях реальной эксплуатации конкретного ЛА;
- разработан метод анализа сети СЭС и ее компонентов на основе тензорной модели в различных образующих и конфигураций из них с целью построения больших программно-информационных комплексов для контроля и диагностирования;
- предложена методика синтеза программ контроля испытаний, позволяющая перевести программирование из области опытной практики в область науки и базирующаяся на существовании группы несингулярных матриц преобразования, с помощью которых возможно выявление общих свойств на основе свойств, присущих каждому выделенному компоненту в отдельности.

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

НА ЗАЩИТУ ВЫНОСЯТСЯ:

1. Метод представления СЭС и ее компонентов на основе заданной для нее образующих и правил, ограничивающих способы их соединения между собой, для построения регулярных конфигураций, подлежащих контролю и испытанием при ТО.
2. Тензорная модель СЭС и ее компонентов, включающая группу матриц преобразования, которые оставляют неизменной n -контурную сеть, но по-разному выбирают переменные из n -цепей для оценки их состояния при контроле и диагностики.
3. Метод обобщенного анализа СЭС как объектов контроля и диагностирования и синтеза тестовой информации для совместного исследования множества электрических цепей с различной структурой с одновременным учетом поведения и структуры цепи.
4. Методику синтеза тестовой информации для компонентов (модулей, блоков) для СЭС на основе технологий тензорной методологии, как последовательность этапов преобразований с использованием тензоров.

5. Метод, принципы, структура и алгоритмы системы контроля СЭС ЛА.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ работы состоит в том, что полученные результаты позволяют:

- реализовать технологию упреждающего обслуживания СЭС в «реальном» масштабе времени;
- обеспечить контроль состояния СЭС в процессе эксплуатации с целью предупреждения возможных отказов и неисправностей;
- автоматизировать процесс определения технического состояния СЭС на примере СЭС ИЛ-76 ТД при ТО ЛА;
- повысить эффективность ТО СЭС путем совершенствования технологического процесса на базе предложенных технических решений.

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ. Результаты работы реализованы и внедрены:

- во внутренние стандарты авиакомпаний «Волга-Днепр», «Полет»;
- в учебных планах подготовки, переподготовки и повышения и повышения квалификации инженеров по эксплуатации ЛА отечественного и зарубежного производства;
- использованы в учебном пособии «Избранные главы по авиа- и ракетостроению» (глава 12 «Системы электрооборудования летательных аппаратов»).

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные положения диссертации доложены на Международном симпозиуме «Надежность и качество» (Пенза, 2006), Международном симпозиуме «Надежность и качество» (Пенза, 2007), Второй Всероссийской научно-технической конференции (Каменск-Уральский, 2007), Международном симпозиуме «Надежность и качество» (Пенза, 2008).

ПУБЛИКАЦИИ. По теме диссертационной работы автором опубликовано 13 работ, в т.ч. 2 статьи в периодических научных и научно-технических изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 статьи в опубликованном международном журнале «Поиск» Министерства образования и науки Республики Казахстан, 7 статей в опубликованных сборниках материалов Международных симпозиумов и конференций, 2 статьи в опубликованном сборнике статей семинара по неразрушающим методам контроля.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа содержит 150 страниц текста, список литературы включает 105 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 технической диагностики сложных комплексов оборудования, выполнен анализ проблемы технического обслуживания.

Современные требования к СЭС ЛА для обеспечения высокой надежности их работы, реализуются в основном многократным резервированием, которое приводит к снижению эксплуатационной надежности и росту затрат на техническое обслуживание. Поэтому возникает необходимость совершенствования систем технической эксплуатации СЭС ЛА, включающей различные виды ТОиР.

Анализ проблемы технического обслуживания на основе упреждающих технологий рассматривается как проблема обеспечения эффективной эксплуатации ЛА, для решения которой используются такие области знаний как управление, контроль, надежность.

Управление понимается как осуществление управляющих воздействий на объект. Контроль заключается в получении и обработке информации о состоянии объекта для управляющих воздействий.

Важной характеристикой качества функционирования ЛА является надежность, для обеспечения требуемого уровня которой необходимы проверка и восстановление технического состояния объекта. Эффективная организация проверки и восстановления технического состояния бортовых систем ЛА является главной целью технической диагностики.

Предметами исследований технической диагностики являются системы контроля и диагностические системы управления техническим состоянием.

Исследование объекта контроля (ОК) охватывает изучение свойств реальных объектов и методы построения их математических моделей. Условием построения математических моделей ОК является задание моделей неисправностей. Основной задачей анализа моделей ОК является поиск и разработка эффективных методов и алгоритмов.

Разработка теории, методов и алгоритмов синтеза сложных объектов, наиболее приспособленных к контролю и восстановлению их технического состояния, представляет важнейшую проблему технической диагностики.

Контроль (проверка) технического состояния объекта требует подачи на объект управляющих воздействий и оценки реакций на них. Программа контроля технического состояния - есть последовательность отдельных проверок.

Бортовые автоматизированные системы контроля используют безусловные программы контроля, которые характеризуются жесткой последовательностью реализации входящих в программу отдельных проверок.

Для технологических нужд используются программно-аппаратурные способы контроля, применяемые для проверки объектов и работающие по сменной программе. Аппаратурный способ может быть применен для контроля конкретных объектов. Лучшее решение задачи контроля сложных объектов состоит в правильном сочетании программного и аппаратурного способов контроля.

Следует иметь в виду, что качество средств контроля и качество программ контроля являются двумя основными факторами, определяющими эффективность процесса контроля технического состояния объектов.

Одно из важных достижений связано с созданием системы моделирования – Последовательного Анализатора, который представляет собой набор программ для сложной контролируемой системы (КС), способный генерировать данные моделирования неисправностей, а также автоматически генерировать тесты для комбинационных и последовательностных схем цифроаналоговых бортовых комплексов оборудования.

Следует отметить, что резкий рост автоматизации систем СЭС требует еще большей автоматизации процесса диагностики неисправностей.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ рассмотрены методы представления объектов контроля и диагностирования для моделирования оценки их параметров.

Для построения математической модели систем бортового комплекса оборудования ЛА для целей контроля и диагностики исходными положениями являются следующие принципы.

Во-первых, для представления конкретных систем бортового комплекса оборудования теория использует модули – произвольные объекты, называемые образующими, т.е. модели систем ЛА строят из множества образующих – стандартных блоков или модулей этой системы.

В зависимости от типа и детализации модели использованы модули – образующие, точечные образующие, образующие–множества, образующие–соответствия, образующие–признаки, образующие–функции, операторы, меры, из которых с помощью операции соединения, на основе введенных определенных правил строятся более сложные объекты–конфигурации. В целом множество всех модулей A состоит из непересекающихся классов модулей A^α , $A^\alpha \subset A$, где α – общий индекс, индекс класса модулей

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

Интерпретация этого разбиения состоит в том, что модули, сходные качественно, будут относиться к одному классу, а их свойства выражаются через признаки и связи. В первом случае модулю ставится в соответствие признак $m = m(a)$, причем в качестве значений признака могут выступать целые, действительные числа, векторы и т.д. Одной из составляющих признака служит индекс класса модуля α и другие составляющие, представляющие более специфическую информацию.

Второй тип свойств охватывает связи. Определенному модулю a соответствует число связей $\ell(a)$, которое в конкретном случае является неотрицательным числом, равным числу соединений, представляющих сумму входных и выходных связей.

При решении большинства прикладных задач технической диагностики, как правило, будут использоваться отображения множества модулей A в себя, которые не будут существенно влиять на информацию, содержащуюся в модулях. При этом множество K отображений $k : A \rightarrow A$ образует множество преобразований подобия.

Одновременно, считая модули неделимыми объектами, предполагается их разбиение на более мелкие единицы. В данной работе модули определяются в некоторой среде – носителе информации. В этом случае модуль имеет конкретную интерпретацию. Иногда, для простейшего случая, задание модуля может быть осуществлено в абстрактном виде без учета среды. В качестве общего многомерного аналога модуля вводим универсальные операторы, где всякий модуль есть оператор с ν (переменными) входами x_1, x_2, \dots, x_ν и μ (переменными) выходами y_1, y_2, \dots, y_μ . Область значений всякого x_i есть некоторое пространство X_i , область значений всякого y_i – некоторое пространство Y_i . В частности, существует оператор назначения, не имеющий входов. Преобразования подобия воздействуют только на операторы назначения, оставляя все остальные модули без изменения.

Предлагаемая модель на базе теории образов систем СЭС ЛА предусматривает структурное объединение блоков этих систем – модулей в модели конкретных систем ЛА, представляемые конфигурациями.

Модели конкретных систем (МКС) определяются составом модулей s и структурой их соединений, представляющих множество соединений σ .

Для построения допустимых моделей вводится набор заданных правил и ограничений, которые обозначим через P , определяющие регулярность модели. Множество регулярных моделей, получаемых в рамках P обозначается через $b_n(P)$, где n – число модулей модели в конкретной системе СЭС.

Используя введенные понятия и определения, множество регулярных моделей СЭС записывается в виде следующего набора из четырех элементов:

$$b(P) = (A, K, \Sigma, \rho), \quad (2)$$

где A – множество модулей конкретной системы; K – множество отображений в модулях; Σ – множество всех допустимых множеств σ – тип соединения; ρ – отношение согласования или отношение связи.

Объединив Σ - структуру и отношение связи ρ в правило

$$P = (\Sigma, \rho), \quad (3)$$

получаем набор из трех элементов

$$b(P) = (A, K, P). \quad (4)$$

Так как в дальнейшем на этом этапе рассматриваются только регулярные модели заданной мощности n , то

$$b_n(P) \subset b(P). \quad (5)$$

При построениях конкретных моделей тип соединения Σ представляет собой объединение множеств Σ_n , где всякое множество Σ_n есть множество графов, заданных на n -вершинах.

Таким образом, структура модели системы СЭС ЛА представляет собой множество σ соединений между всеми или некоторыми связями модулей, входящих в ее состав.

Для представления конкретных соединений, предусмотренной σ или соответствующей матрицей инцидентности, в работе предложен тензор преобразования $C_{\alpha'}^{\alpha}$ и сетевой подход к анализу СЭС ЛА, физическая интерпретация которого отличается от интерпретации всех других тензоров встречающихся при анализе физических систем. Тензор преобразования описывает операции изменение состояния системы, представляет собой 2-матрицы, которые образует отдельный класс, называемый «группой».

Благодаря тому, что матрицы преобразования $C_{\alpha'}^{\alpha}$ принадлежат «группе», они обладают некоторыми свойствами, которые не имеет другое множество матриц.

Для решения задач оценки технического состояния систем ЛА необходимо введение целого комплекса воздействий и оценки реакции на них, то есть изменение ее допустимых состояний, описываемых тензором преобразования $C_{\alpha'}^{\alpha}$.

Аналитическое решение задачи контроля испытания сложной системы, к которой относятся и СЭС ЛА, связано с введением матриц преобразования C_1, C_2, \dots, C_n для каждого из составляющих изменений и матрицу преобразования C результирующего изменения, которая является произведением всех отдельных изменений:

$$C = C_1, C_2, C_3, \dots, C_n \quad C_{\alpha'^n}^{\alpha} = C_{\alpha'}^{\alpha} C_{\alpha'}^{\alpha'} C_{\alpha'}^{\alpha''} \dots C_{\alpha'}^{\alpha^n} \quad (6)$$

Эта формула справедлива, так как каждая матрица преобразования является элементом группы линейных преобразований и их произведения также являются матрицей преобразования также принадлежащей этой группе. Эта формула дает эффективный способ экономии труда специалиста при анализе сложных инженерных задач, так как она позволяет разбить анализ на несколько шагов и осуществлять каждый шаг так, как если бы остальных не было, а затем комбинацией отдельных шагов получить один обобщенный результат.

Понятие тензора преобразования позволяет специалисту разделить каждую из имеющихся большого числа подобных физических систем на две аналитические части, идентичные для всех систем и различные в каждой частной системе.

Установление матрицы $C_{\alpha'}^{\alpha}$ для каждой частной системы практически является единственным этапом анализа, на котором требуется участие специалиста для установления уравнения поведения, а понятие группового свойства позволяет в свою очередь разделить аналитическую часть его работы, а именно разделить $C_{\alpha'}^{\alpha}$ на несколько независимых шагов, каждый из которых имеет свои собственные методы анализа.

Разработанный подход позволяет проблему контроля сложной системы разделить на последовательность более простых проблем, объединяемых в виде программы контроля и испытаний систем.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА посвящена синтезу тестовой информации на базе, которой строится реальная программа контроля и испытаний систем.

Введено понятие объекта контроля в его наиболее простом и очевидном проявлении, т.е. любой объект, изучение свойств которого служит средством получения выводов относительно совпадения этих свойств со свойствами объекта-эталона представляемого в системе контроля в виде модели.

Основное содержание этого этапа – решение задач представления объектов контроля, т.е. описание этих объектов, которое привело бы к продвижению в понимании принципов функционирования комплекса «система контроля объекта контроля». При этом исходим из того факта, что успех формального анализа сложных задач контроля (глава 2) в первую очередь зависит от того, насколько удачно выбраны индикаторы. Например, раскрытие сложной структуры объекта контроля стало возможным, потому что выбран эффективный индикатор – электрический ток.

Для построения программы контроля введено ее определение. Программой контроля объекта назовем систему:

- 1) векторов приложенных напряжений (токов) E_1, E_2, \dots, E_m ;
- 2) векторов тока I_1, I_2, \dots, I_m ;
- 3) равенств, вписанных в программу контроля: $|I_\eta| = |I_m|$, где $E_n = (e_0, e_1, \dots, e_n)$ - $n+1$ заданных напряжений; $I_i = (i_0, i_1, \dots, i_k)$ m вычисленных заданных реакций объекта или функционального модуля i_0, i_1, \dots, i_k $k+1$ переменных, которые принимают значения из множества J_x (множество J_x не сказано в том смысле, что известно, сколько цепей оно в действительности содержит, так как не известна реакция контролируемой цепи).

Следовательно, для контроля произвольной электрической цепи объекта следует определить функцию $K(E_{n1}, I_{m1})$, которая позволяет получить значение реального вектора и I_{xm} . В случае исправности электрической цепи выполняется равенство токов, в случае неисправности электрической цепи имеем $|I_{in}| \neq |I_{xm}|$.

Таким образом, программа контроля объекта или системы, в частности СЭС, есть некоторый тест J_k , включающий последовательность входных векторов $E_{k1}, E_{k2}, \dots, E_{kn}$, которые должны быть приложены к объекту, и соответствующих реакций объекта - выходных векторов $I_{k1}, I_{k2}, \dots, I_{kn}$, сравнение которых с реакциями объекта эталона позволяет делать заключения о техническом состоянии объекта контроля.

Длина программы или теста J_k определяется числом кадров программы, под которыми понимается тест длинной равной единицей и базирующийся на тензорах преобразования простых цепей.

Общий метод синтеза тестовой информации базируется на тензорной методологии главы 2, включающая последовательность этапов преобразований на основе теоретического и модельного обеспечения.

1. На базе теоретического, модельного и алгоритмического обеспечения сложный объект контроля разбивается на несколько независимых, простых модулей, каждый из которых имеет свой алгоритм поведения. Разбиение позволяет уменьшить размерность задачи, т.е. введенное понятие группы матриц преобразования, дает возможность ана-

литического разделения группы проблем на последовательность простых проблем, являющихся основой получения тестовой информации.

2. Устанавливается матрица преобразований C для каждого модуля или цепи.

3. Выполняется аналитическое исследование функционального модуля или цепи, т.е. матрицы преобразования C .

4. Осуществляется моделирование внешних связей модуля и определения характера воздействия на них.

5. Устанавливается тензор связи для отдельных компонентов цепи.

6. Устанавливается матрица соединений C отдельных компонентов преобразующая элементарную сеть в действительную.

7. Формула преобразования при переходе от элементарной к реальной сети объекта или его функционального модуля выводится из требований неизменности формы уравнения их поведения.

8. Формула преобразования вектора приложенного напряжения при переходе от элементарной к реальной сети объекта или его модуля имеет вид $e' = C_t e$, где e - напряжение, приложенное к компонентам элементарной сети объекта или модуля; e' - напряжение, приложенное к реальной сети объекта или модуля; C_t - транспонированная матрица соединений компонентов.

9. Формула преобразования токов i при переходе от элементарной к реально сети объекта или модуля имеет вид $i' = C_t i$.

10. Вывод уравнение поведения или его модулей (уравнений напряжений или уравнений тока) производится на базе компонента трех физических величин e, r, i элементарной сети объекта его модулей. Преобразование компонентов физических величин элементарной сети в компоненты реальной сети осуществляется с помощью матрицы соединений объекта или модулей на базе формул преобразования.

Для решения задачи синтеза тестовой информации в соответствии с разбиением модуля на электрические цепи и выделенными входами формируем вектор приложенного напряжения E , имеющий столько компонентов, сколько имеется входов.

Предложенная методика синтеза тестовой информации апробирована на реальных объектах СЭС ЛА.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ разработан метод контроля для оценки состояния бортовых систем воздушных судов, произведен синтез функциональной структуры системы контроля для оценки состояния объекта контроля и диагностики на базе теории распознавания образов, приведено описание его практической реализации на основе технологий National Instruments с применением программной среды LabVIEW.

Контроль состояния объекта заключается в распознавании истинного состояния объекта путем проведения эксперимента. Однако из-за ошибок реальной системы контроля некоторая неопределенность состояния объекта останется. Система восстановления может перевести состояние объекта в любой класс из возможных, в зависимости от состояния объекта перед контролем, результатов контроля и стратегии восстановления.

Процедура контроля состоит из трех операций: формирования информации о состоянии объекта; принятия решения о принадлежности состояния объекта к соответствующему классу; выдачи информации о состоянии объекта.

В системе контроля (рисунок 1), формирователь формирует информацию о состоянии объекта, преобразуя пространство состояний S в пространство сигналов Y ($S \rightarrow Y$); классификатор, на основе сигналов Y указывает на принадлежность состояния

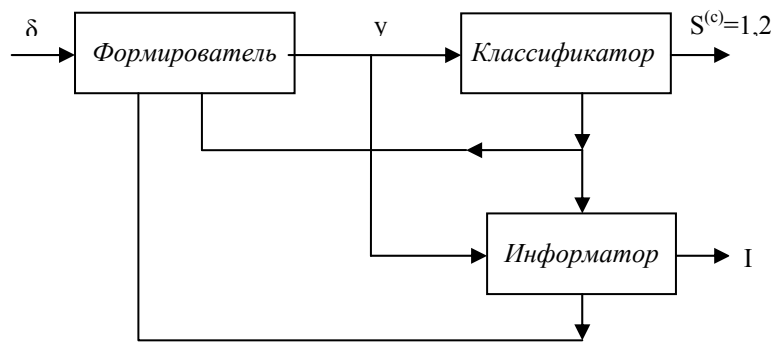


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема системы контроля

объекта к соответствующему классу состояний ($Y \rightarrow S^{(c)}$); информатор на основе сигналов Y и указаний классификатора выдает сообщение I о состоянии объекта.

Задача автоматизированного распознавания состояния ОК базируется на алгоритмах обучения, т.е. формировании базы знаний различных состояний объектов с помощью технических систем, которые могут вырабатывать правила распознавания (классификации).

При отсутствии объектов с известной классификацией, используются методы распознавания, основанные на самообучении. В этом случае в процессе решения производится распределение распознаваемых объектов по классам на основе анализа близости объектов, причем классификация ведется по признаку попадания конца вектора в соответствующую *область решения*.

Для построения областей решения в ЭВМ вводят данные: критерий оптимальности, которому удовлетворяют области решения; совокупности значений параметров каждого объекта, по которым строятся области решения; количество классов и их условные обозначения (номера); указатели принадлежности каждого объекта тому или иному классу.

Если при построении областей решения используются все данные, то имеем задачу распознавания, основанную на обучении. Исходными данными для решения является *обучающая* конечная выборка D из объектов x_i с известной классификацией. Одной из важнейших характеристик подмножеств D_k является *эталон класса*, представляющий собой точку — центр тяжести объектов обучающей выборки $x_i \in D_k$ данного класса A_k ,. Положение эталона класса в пространстве R^m характеризует положение собственной области класса в этом пространстве. Точки класса группируются вблизи эталона, а сами эталоны отстоят друг от друга значительно.

Стремление повысить качество распознавания обусловило применение линейных и кусочно-линейных алгоритмов распознавания, когда в качестве решающей поверхности используется плоскость.

Если свести задачи распознавания и оценки состояния объектов контроля (ОКО) к задаче линейного программирования, то она формулируется следующим образом: среди решений N линейных неравенств $b_1 v \leq b_1, \dots, b_N v \leq b_N$ найти такое решение, при котором целевая функция в линейном виде $N = c v$ принимает максимальное значение. Здесь b_1, \dots, b_N, c — известный набор параметров ОКО, выраженный в числовой форме как эталон; $n < N$; v — оценка параметров текущего состояния ОКО.

В рамках такого подхода рассмотрен другой метод распознавания.

Рассмотрим какое-либо разбиение множества параметров объекта контроля и оценки x_i ($i=1, \dots, n$), характеризуемое суммой $F(k)$ из k чисел, каждое из которых явля-

ется суммой величин близости между всеми параметрами объекта одного подмножества и эталонного объекта этого подмножества.

Представим $F(k)$ в виде суммы элементов матрицы S

$$F(k) = \sum_{i \in P} \sum_{j \in Q_i} S_{i,j} \tag{7}$$

где P — множество индексов эталонных объектов; Q_i — множество индексов объектов, входящих в подмножество с эталонным объектом x_i .

Наилучшим считается разбиение, при котором $F(k)$ минимальна

$$F(k)_{\min} = \min_{P, Q_i} F(k) \tag{8}$$

Для промежуточных случаев $1 < k < n$, представляющих практический интерес, имеем $F(n)_{\min} < F(k)_{\min} < F(1)_{\min}$.

Перебор каждой k строк матрицы S из числа всех n строк, при $k > 3$ приводит к очень большому объему вычислений. Поэтому необходимы более эффективные алгоритмы решения задачи.

Реализация такого подхода на базе представлений и алгоритмов, полученных в результате проведенных исследований, связана с созданием базы данных «эталон», в которую входят все эталонные объекты (недеформированные объекты), т.е. контролируемые системы и их компоненты СЭС, характеризующиеся номинальными значениями входных и выходных параметров.

Для контроля параметров реального объекта необходимо применение специализированных средств измерения с возможностью снятия цифровых аналогов этих параметров и одновременной обработки информации при помощи математических и логических функций. Эффективным решением этой задачи является применение технологий фирмы National Instruments и программно-вычислительного комплекса LabVIEW, позволяющих автоматизировать измерение физических величин и логическую обработку результатов измерений. Головной модуль, реализующий виртуальную модель расчета коэффициентов для построения матрицы K , состоит из ряда подпрограмм. Обобщенная схема системы распознавания состояния объекта контроля представлена на рисунке 2.

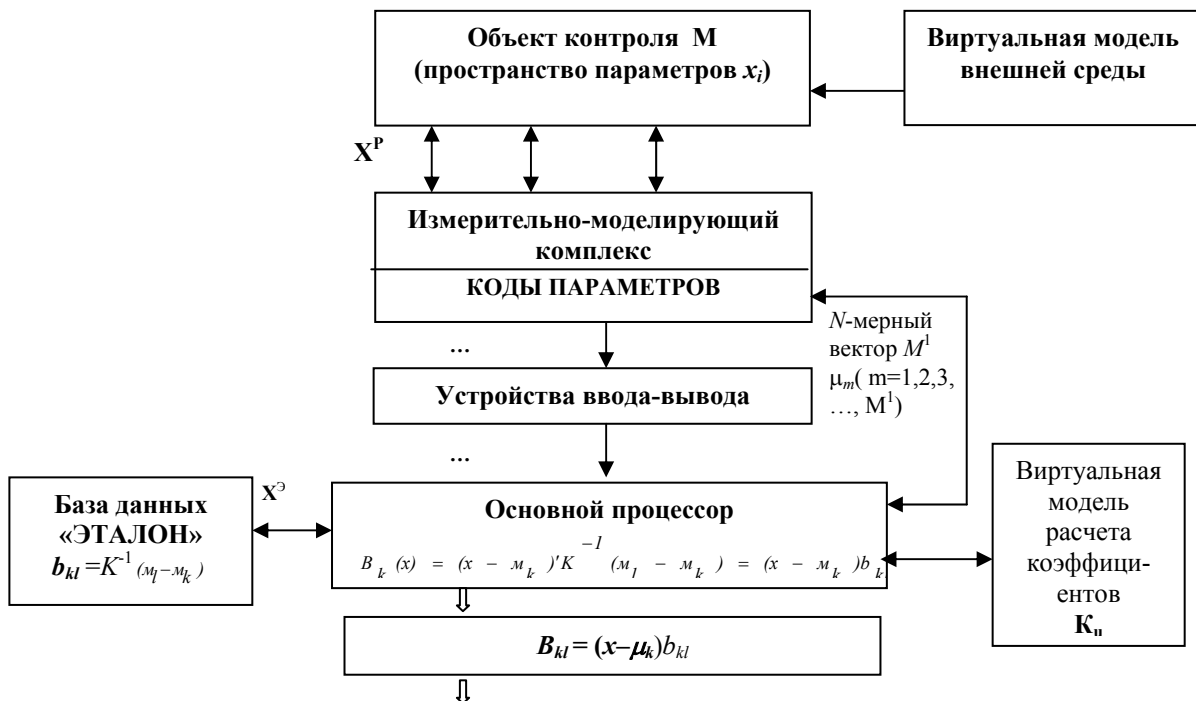


Рисунок 2 – Обобщенная схема системы распознавания состояния объекта контроля

В качестве реализации алгоритма оценки технического состояния системы СЭС рассмотрена оценка блока защиты и управления системы электроснабжения самолетов Ил-76ТД, Ту-154Б, Як-40 и других.

Формирование базы данных «ЭТАЛОН».

Блок защиты и управления БЗУСП376Т предназначен для работы в самолетных системах генерирования трехфазного переменного тока стабильной частоты с параллельной работой генераторов.

В связи с трудоемкостью и большими затратами на проверку данного блока, предложена функциональная схема стенда для проверки БЗУСП376Т (рисунок 3).

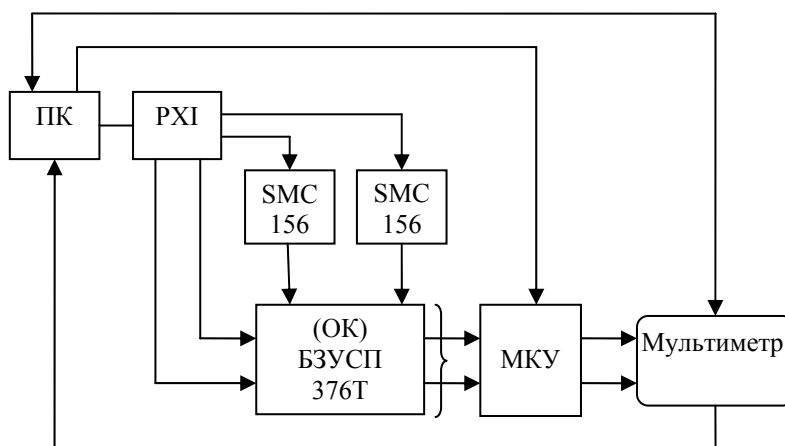


Рисунок 3 – Функциональная схема стенда для проверки БЗУСП376Т самолета ИЛ-76ТД

Работа стенда контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) состоит в следующем: имитатор генератора блок PXI позволяет вырабатывать необходимую для проверки БЗУСП376Т частоту (380÷420 Гц) и напряжение, регулируемое в пределах от 1 до 10В. Так как блок PXI не выдает необходимое для проверки напряжение 110÷115В, в схему введены усилители Omicron SMC156, увеличивающие напряжение PXI с 5 до 115В, имитирующие выход генератора и выход из распределительных сетей. Измерение выходных параметров блока БЗУСП376Т будут поступать в мультиметр через коммутирующее устройство (MKU). Управление MKU осуществляется в соответствии с программой контроля, реализуемой компьютером (ПК). Измерение параметров на выходе ОК (БЗУСП376Т), осуществляется по программе компьютером посредством мультиметра, оценка которых ведется непосредственно на компьютере (ПК) по программе LabVIEW.

Главной задачей является создание виртуального прибора для проверки блока БЗУСП376Т. При помощи пульта, изображенного на рисунке 4 можно наблюдать выходные параметры объекта контроля.

На виртуальном пульте индуцируются срабатывания по сигналам (Uген, Uк.з. и fген):

- короткое замыкание в цепях генератора «Ук.з.»
- «отказ fген».

По данным проведенного анализа средние показатели производственной экономии, достигнутые благодаря применению упреждающего подхода, составляют:

- сокращение расходов на обслуживание 25÷30 %;
- уменьшение времени контроля: 45÷60 %;
- увеличение производительности труда 25%

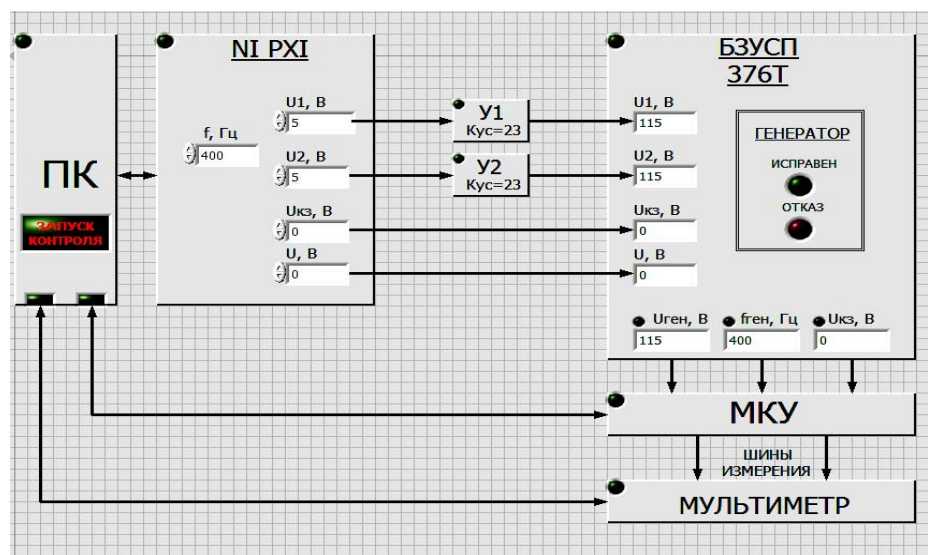


Рисунок 4 – Виртуальный пульт для проверки блока БЗУСП376Т

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведено исследование задач технической диагностики сложных систем БКО, решение которых связано с определением возможных или вероятных эволюций объекта контроля и диагностики в процессе эксплуатации. Установлено, что решение главной задачи оценки технического состояния требует выполнения традиционных исследований реальных систем БКО, их математических моделей, классификации неисправностей, разработки методов анализа моделей и построения программы контроля, средств контроля и диагностики, и реализации их в рамках последних достижений в области программно-аппаратурных средств.

Анализ достижений в этой области показал небольшое количество общесистемных исследований, низкий уровень универсализации методов и средств контроля и диагностики.

2. Разработаны формальные методы представления компонент и сложных систем, в частности СЭС ЛА, обладающие высокой степенью универсальности и позволяющие описывать различные этапы их жизненного цикла в рамках теории образов тензорного анализа, обзор которого представляет сетью.

3. Разработка методики синтеза тестовой идентификации на базе аналитического метода представления и анализа, позволяющая строить программы контроля.

4. На базе платформы PXI и программного комплекса LabVIEW разработана обобщенная схема автоматизированной системы оценки технического состояния компонент и систем БКО и ее реализация для центральной подсистемы управления и защиты систем электроснабжения самолета Ил-76.

Основные положения диссертации отражены в работах, опубликованных:

в изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Коптев, А.Н. 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.
2. Саханов, К.Ж. Определение сходимости эмпирического и теоретического распределений времени между отказами летательных аппаратов [Текст] / К.Ж. Саханов, Ф.Е. Ляшко, О.Д. Кочанова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - Спец. вып. –Т. 2. – 2007. – С.155–158.

в других изданиях

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 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Комаров, В.А. 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.
9. Коптев, А.Н. 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.
10. Саханов, К.Ж. 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.

11. Саханов, К.Ж. 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.
12. Саханов, К.Ж. Итеративные вероятностные алгоритмы обучения [Текст] / К.Ж. Саханов // Сб. научн. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество», I том. – Пенза: ИПО ПГУ, 2008. – С.105–107.
13. Саханов, К.Ж. Разработка алгоритмов идентификации состояния систем технического обслуживания и ремонта [Текст] / К.Ж. Саханов // Сб. научн. трудов Международного симпозиума «Надежность и качество», I том. – Пенза: ИПО ПГУ, 2007. – С.316–317.