

На правах рукописи

**ПИСАРЕНКО Виктор Николаевич**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
АВТОМАТИЧЕСКИХ  
БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТОМ**

Специальность 05.07.07 – Контроль и испытание летательных аппаратов  
и их систем

**А в т о р е ф е р а т**  
**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 и ОАО «Авиакомпания Самара».

Научный руководитель        доктор технических наук, профессор  
Коптев Анатолий Никитович.

Официальные оппоненты:    доктор технических наук, профессор  
Леонович Георгий Иванович;  
кандидат технических наук  
Арцытов Николай Федорович.

Ведущее предприятие:        Национальный институт авиационных тех-  
нологий (НИАТ), г. Москва.

Защита состоится « 19 » июня 2009 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д212.215.02 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34, корпус 3а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГАУ.  
Автореферат разослан « 18 » мая 2009 г.

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

Скуратов Д.Л.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ.** Одной из основных проблем, стоящих сегодня перед российскими эксплуатантами авиационной техники (АТ), является повышение эффективности использования воздушных судов (ВС) в условиях современного уровня развития гражданской авиации (ГА), который характеризуется высокой себестоимостью авиаперевозок и высокими требованиями к обеспечению безопасности полетов. Автоматическая бортовая система управления самолетом (АБСУ), обеспечивающая заданные характеристики устойчивости и управляемости самолета и автоматизацию управления самолетом, в значительной степени определяет безопасность полета. Все возрастающие требования к безопасности и регулярности полетов ВС приводят к усложнению бортовых пилотажно-навигационных комплексов, в частности, одной из жизненно важных его частей АБСУ. В результате чего растет трудоемкость технического обслуживания (ТО) АБСУ и ВС в целом, которые составляют 25-30% прямых эксплуатационных расходов. Решение данной проблемы на сегодня возможно только с помощью совершенствования системы технического обслуживания.

Одним из перспективных направлений по совершенствованию системы ТО ВС является внедрение в систему ТО технологий упреждающего обслуживания, основанных на сборе и обработке информации о текущем техническом состоянии АТ, и позволяющих предупредить опасное изменение состояния АТ. Но для того, чтобы упреждающее обслуживание было эффективным, необходимо иметь соответствующий метод, средства диагностирования и контроля технического состояния АБСУ и технологии их реализации, позволяющие получать необходимую информацию в реальном масштабе времени.

Вопросы исследования ТО АБСУ, в том числе с точки зрения исследования эффективности их функционирования, рассмотрены в работах академика Поспелова Г.С, проф. Матвеева В.Н., д. т. н. Белгородского С.Л., Гнеденко Б.В., Глазунова Л.П., Горского Л.К., Доценко Б.И., Дружинина Г.В., Зайнашева Н.К., Коптева А.Н., Мозголевского А.В., Болдинова С.И., Утяцкого А. Г., Смирнова А.М., Чернли У., Newman Т.Т., Эйкофф П. и других ученых. Вместе с тем в настоящее время практически отсутствует глубоко проработанная система взглядов на вопросы контроля состояния АБСУ при непрерывном повышении требований к обеспечению безопасности полетов, надежности работы бортового оборудования ЛА и снижению эксплуатационных расходов.

Таким образом, актуальность проблемы заключается в необходимости совершенствования системы ТО АБСУ и повышения эффективности метода и средств контроля технического состояния АБСУ.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ.** Целью работы является повышение эффективности ТО АБСУ за счет разработки нового прогрессивного метода, использования современных средств контроля технического состояния и реализации упреждающих технологий ТО АБСУ.

**ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Для достижения поставленной цели в диссертации были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ существующей системы контроля технического состояния АБСУ и выявить факторы, дестабилизирующие работу системы контроля;

2. Разработать модель представления АБСУ для контроля технического состояния системы при ТО;

3. Разработать метод определения технического состояния АБСУ и выявления минимально-достаточного количества контролируемых компонентов системы и их параметров;

4. Разработать архитектурную схему автоматизированного контроля состояния АБСУ;

5. Предложить средства контроля технического состояния АБСУ;

6. Апробировать метод и средства контроля технического состояния АБСУ.

**ОБЪЕКТОМ ИССЛЕДОВАНИЯ** является система контроля технического состояния АБСУ при техническом обслуживании самолетов.

**ПРЕДМЕТОМ ИССЛЕДОВАНИЯ** являются метод и средства оценки технического состояния АБСУ по параметрам измерения изображений электрических сигналов системы АБСУ.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ** включают теорию структурно-функционального анализа, методы математического моделирования, теорию графов (алгоритмический подход), теорию массового обслуживания, теорию образов, технической диагностики, теорию эксперимента.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА** диссертационной работы заключается в следующем:

- предложена модель представления образа АБСУ для контроля технического состояния на основе образующих, связей, конфигураций и алгебры изображений в условиях реальной эксплуатации конкретного типа ВС;

- предложен метод определения рационального количества подлежащих контролю компонентов системы АБСУ и их сигналов, основанный на решении функции предпочтения диагностической модели АБСУ;

- предложен метод определения необходимой периодичности контроля и ТО АБСУ, обосновано увеличение периодичности ТО и снижение стоимости ТО путем решения системы дифференциальных уравнений, описывающих поведение АБСУ в процессе ТО, и анализа изменения состояния АБСУ;

- предложена архитектурная схема автоматизированной системы контроля технического состояния АБСУ при наземном ТО ВС на базе компьютерного вычислительного комплекса;

- предложен для контроля АБСУ автоматизированный измерительный комплекс на базе современных точных технических средств РХИ фирмы National Instruments и среды графического программирования LabVIEW.

**ДОСТОВЕРНОСТЬ** полученных результатов и правомерность принятых допущений подтверждается адекватностью полученных моделей и результатами экспериментальных исследований в процессе эксплуатации.

## **НА ЗАЩИТУ ВНОСЯТСЯ:**

1. Модель и метод представления АБСУ для исследования технического состояния.

2. Модель и метод определения рационального количества контролируемых компонентов системы АБСУ-154-2.

3. Модель определения ожидаемого состояния АБСУ в технологической цепи эксплуатации АТ.

4. Архитектурная схема автоматизированного комплекса контроля технического состояния АБСУ по измеренным сигналам контролируемого компонента системы АБСУ.

5. Реализация предложенных математических моделей в физическое аналоговое воздействие в среде LabVIEW и средствах "PXI" для контроля технического состояния АБСУ воздушного судна.

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

- реализовать технологию упреждающего обслуживания АБСУ в реальном масштабе времени;
- обеспечить контроль состояния АБСУ в процессе эксплуатации с целью предупреждения возможных отказов и неисправностей;
- автоматизировать процесс определения технического состояния АБСУ-154-2 при ТО ВС;
- повысить эффективность ТО АБСУ путем совершенствования технологического процесса ТО на предложенных технических решениях.

**РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.** Полученные в диссертационной работе результаты переданы для использования при разработке и реализации проектов совершенствования технологических процессов ТО в ОАО «Авиакомпания Самара» самолетов Ту-154М и Ту-154Б в рамках совершенствования технико-экономических показателей и использованы в учебных пособиях "Техническое обслуживание и ремонт авиационных электрических систем и пилотажно-навигационных комплексов" учебного процесса СГАУ.

**АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.** Основные положения диссертации доложены на XII Всероссийском научно-техническом семинаре по управлению движением и навигации летательных аппаратов (Самара, 2005), на XIII Всероссийском научно-техническом семинаре по управлению движением и навигации летательных аппаратов (Самара, 2006), на Четвертой научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Исследования и перспективные разработки в авиационной промышленности» (Москва, 2007), на межрегиональной научно-методической конференции «Актуальные проблемы развития университетского образования в России» (Самара, 2009).

**ПУБЛИКАЦИИ.** По теме диссертационной работы автором опубликовано 9 работ, в т.ч. 2 статьи - в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией, 4 статьи - в сборниках материалов Международных и Всероссийских конференций.

**ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ.** Диссертация состоит из введения,

четырёх глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 187 страниц машинописного текста, включая 6 таблиц, 35 рисунков, библиографию из 97 наименований и приложение на 26 с.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**ВО ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность темы диссертации и выбранного направления исследований, дана краткая характеристика диссертационной работы, её цели, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ** приведено обобщение опыта эксплуатации автоматических систем управления самолетом в ГА РФ: АБСУ отечественных самолетов Ту-154, САУ Як-42 и AFCS иностранных воздушных судов В-737, -757, -767, А-320, рассмотрено состояние и проблемы существующих методов и средств контроля технического состояния АБСУ (САУ, AFCS). Установлено, что вследствие постепенного изменения состояния компонентов системы под влиянием накапливающихся повреждений из-за их постепенного возникновения и развития, обусловленных износом и старением конструкционных материалов, происходят 30-40% всех отказов АБСУ, которые существующими методами невозможно определить и предвидеть. Анализ существующего метода и средств контроля состояния АБСУ показал ряд существенных недостатков. Работы по ТО АБСУ трудоемкие (102 нормо-часа по форме 1), затратные и не эффективные. Большое количество дефектов АБСУ не выявляется при ТО ВС (40%). Повторные дефекты АБСУ составляют 30% от всех заявленных экипажами ВС неисправностей. Ежегодно из-за возникновения неисправностей системы АБСУ совершаются серьезные авиационные инциденты и происшествия. Отсутствует система документирования параметров, определяющих состояние АБСУ. Отсутствует прогнозирование изменения состояния АБСУ. В целом действующая система контроля технического состояния АБСУ не соответствует современным требованиям обеспечения эффективности работ. Выявлена необходимость совершенствования процессов контроля АБСУ посредством разработки нового метода и применения эффективных средств контроля технического состояния, сформулированы цель и задачи исследования.

**ВТОРАЯ ГЛАВА** посвящена разработке метода представления АБСУ в целях качественного совершенствования метода и средств контроля технического состояния.

Техническое состояние АБСУ определяется состоянием компонентов (блоков) АБСУ и их электрических связей. На ВС необходимо обеспечить своевременное определение тенденций в изменении состояния компонентов определяемых их внутренними параметрами и их связей и произвести устранение неисправности путем замены компонента подверженного развитию неисправности и ликвидацией нарушений связей. При разработке метода использовано математическое описание образа АБСУ. Рассмотрены концептуальные основы оценки состояния АБСУ при ТО. В представлении образа АБСУ предложена следующая модель  $Z = \{G^a, \mathcal{B}, T, X, Y, S, H, V\}$ , где:  $Z$  –

система АБСУ,  $G^\alpha$  – множество образующих, представляющих собой конкретную подсистему  $\alpha$ ,  $\mathcal{B}$  – структура связей образующих,  $T$  – множество моментов времени,  $X$  – множество входных сигналов ( $\Delta H, \Delta V, \Delta M, \Delta \theta, \Delta \gamma, \Delta \psi, \omega_x, \omega_y, \omega_z, n_x, n_y, \dots$ ),  $Y$  – множество выходных сигналов ( $\Delta P_B, \Delta P_H, \Delta P_L, \Delta M_{ЭТ}, \dots$ ),  $S$  – множество состояний системы (исправное, неисправное...),  $H$  – множество внутренних параметров (передаточных отношений и законов управления),  $V$  – множество случайных операторов изменения входных сигналов. Компонент АБСУ обозначен через  $g$  и назван образующей. Множество всех образующих системы АБСУ обозначено через  $G$ ;  $g \in G$ . Каждой образующей присвоен идентификационный номер  $g_n$ . Связи образующих обозначены  $\beta$ , а всей АБСУ –  $\mathcal{B}$ ;  $\beta \subset \mathcal{B}$ . Каждая образующая оснащена возможными потенциальными связями с другими образующими, которые обозначены через  $\beta_{i-j}$ . Множество соединений АБСУ задано списком вхождений вида  $(\beta, \beta')=(i, j), (i', j')$  соответствующих соединению связей  $\beta, \beta'$  образующих АБСУ входящих в ее состав. Образующие классифицированы как датчики – образующие, которые имеют только выходные связи  $\beta_{\text{aut}}$ , и как индикаторы, имеющие только входные связи  $\beta_{\text{in}}$ .

Конфигурации  $c$  определены составом и структурой. Состав конечной конфигурации определен как состав  $(c) = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ , структура  $(c) = \sigma$ . Структура соединений подсистемы АБСУ обозначена через  $\Sigma$ .  $\sigma \in \Sigma$ . Соединения предусматривают различные подкомбинации (режимы работы подканала, например, режим стабилизации высоты, стабилизации скорости, числа «М» и др.), в которых задействуются подсоединения новых образующих или исключаются некоторые образующие и их связи.

Сложность образующих определена посредством  $\omega$  – числом, определяющим сумму входных и выходных связей  $\omega(g)=\omega_{\text{in}}(g)+\omega_{\text{aut}}(g)$ . Но в любом случае образующие АБСУ соединены в произвольный тип соединений. Комбинация  $c_1 \sigma c_2$  двух конфигураций  $c_1$  и  $c_2$  определена с помощью  $\sigma = (i, j)$ , где  $i$  фиксирует выходную связь  $c_1$  или  $c_2$ , а  $j$  – одну из входных связей другой конфигурации. Объединение подсистем АБСУ представляет образ всей структуры АБСУ.

В аналитическом виде структура  $\sigma$  представлена в виде тройки символов  $\sigma = \langle G^\alpha, \mathcal{B}, \mathcal{R} \rangle$ , где  $G^\alpha$  – конечный набор образующих конкретного режима  $\alpha$  работы подсистемы АБСУ,  $G^\alpha \subset G$ ;  $g \in G^\alpha$ , например, набор образующих продольного канала АБСУ в режиме стабилизации высоты;  $\mathcal{R}$  – система правил и ограничений в возможности построения регулярных конфигураций. Множество конфигураций  $\mathcal{B}(\mathcal{R}) = \langle G, S, \Sigma, \rho \rangle$ , где  $\rho$  – отношения связи.

Структурное объединение образующих подсистемы АБСУ позволило построить образ структуры  $\sigma$  подсистемы АБСУ в виде образа конкретного канала АБСУ (модель образа продольного канала, приведенного на рис. 1; образ канала управления элеронами; образ канала управления рулем направления; образ канала автомата тяги).

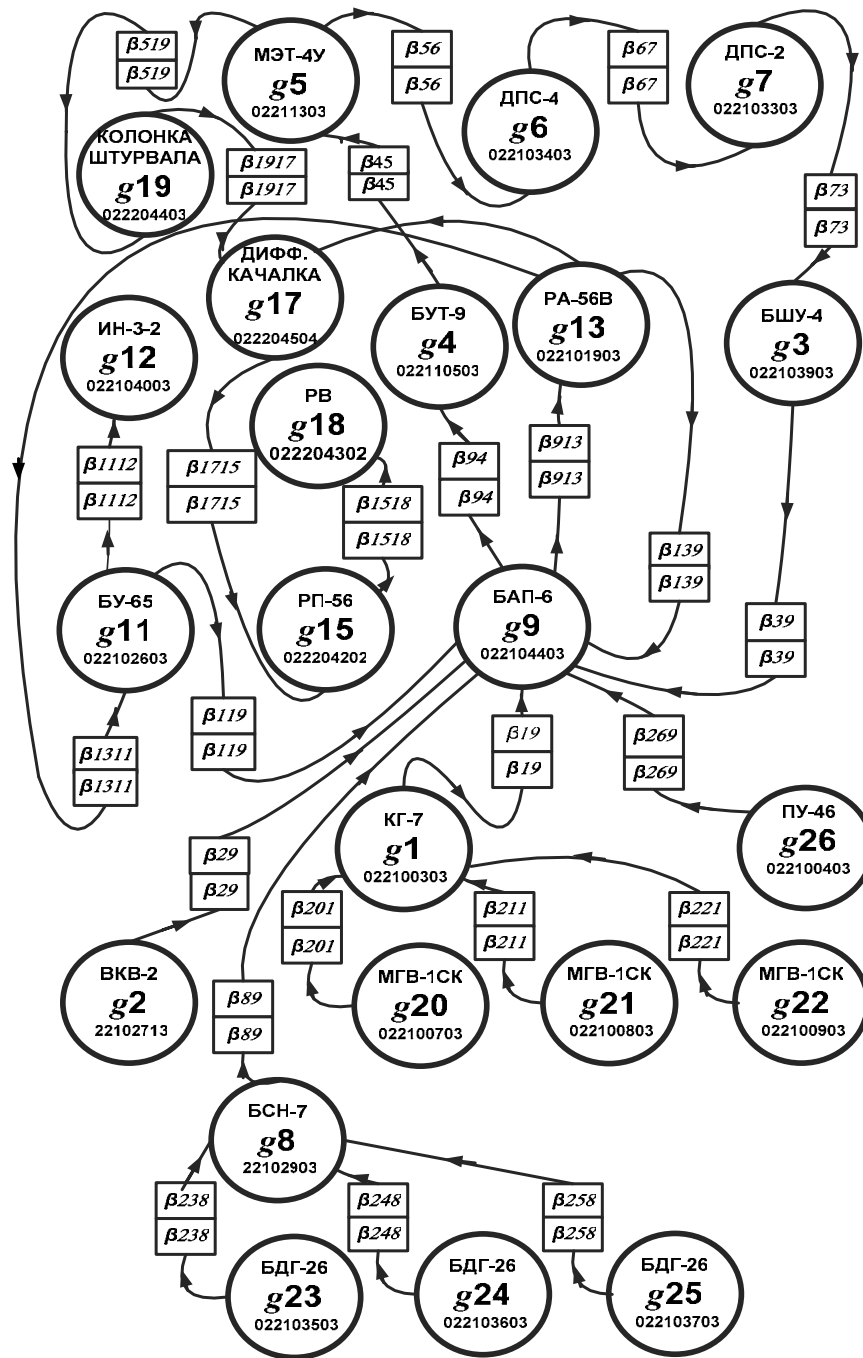
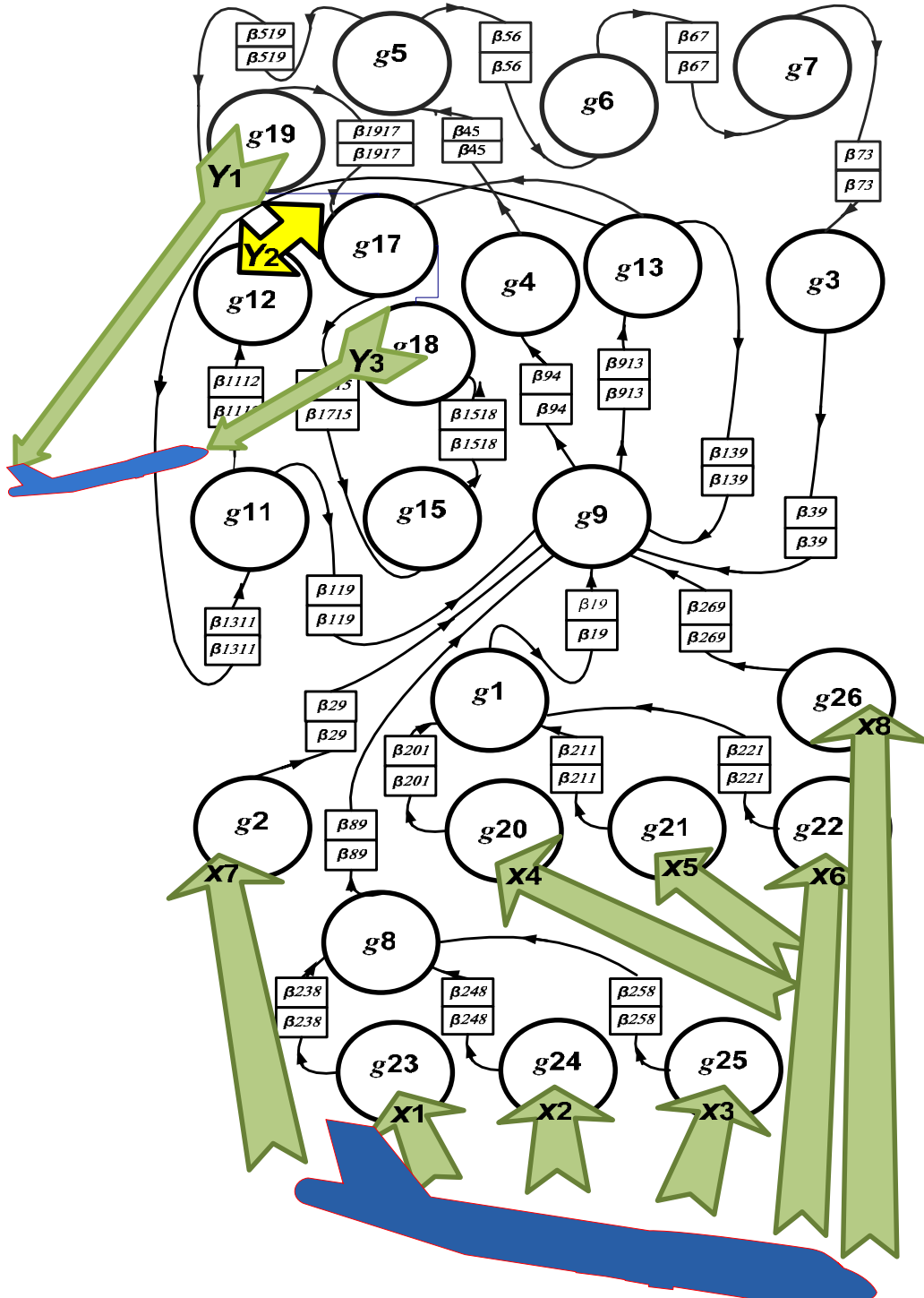


Рис. 1. Модель образа продольного канала АБСУ

Задав множество входных сигналов в виде  $X (x \in X)$  ( $x_1$  – сигнал угловой скорости тангажа  $\omega_{x1\text{кан}}$ ,  $x_2$  – сигнал угловой скорости тангажа  $\omega_{x2\text{кан}}$ ,  $x_3$  – сигнал угловой скорости тангажа  $\omega_{x3\text{кан}}$ ,  $x_4$  – сигнал угла тангажа  $\vartheta_{1\text{кан}}$ ,  $x_5$  – сигнал угла тангажа  $\vartheta_{2\text{кан}}$ ,  $x_6$  – сигнал угла тангажа  $\omega_{3\text{кан}}$ ,  $x_7$  – сигнал отклонения от заданной высоты  $\Delta H$ ,  $x_8$  – сигнал заданного угла тангажа  $\vartheta_{\text{зад}}$ ) и множество выходных сигналов в виде  $Y (y \in Y)$  ( $y_1$  – сигнал отклонения РВ,  $y_2$  – сигнал отклонения планки «Т» ИН-3-2,  $y_3$  – сигнал отклонения колонки штурвала) определенной структуры  $\sigma$  подсистемы АБСУ получаем изображение  $I$  образа исправной работы канала АБСУ ( $I \in \mathcal{I}$ ) в виде алгебры изображений



АБСУ  $\mathcal{F} = \langle G, S, \Sigma, \rho, \mathcal{R}, X, Y \rangle$ . Так как множество конфигураций АБСУ  $\mathcal{B}(\mathcal{R}) = (G, S, \Sigma, \rho)$ , то алгебра изображений АБСУ представлена четверкой элементов  $\mathcal{F} = (\mathcal{B}(\mathcal{R}), \mathcal{R}, X, Y)$ , которая в сетевом виде ориентированного графа структуры  $\sigma = \langle G^a, \mathcal{B}, X, Y \rangle$  представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Изображение продольного канала АБСУ в режиме автоматического управления**

Для получения данных о техническом состоянии канала АБСУ построим отображение поля  $S$  возможных технических состояний. Затем поле  $S$  свяжем

с множеством входных воздействиями  $X(x_1... x_n)$  и выходных сигналов или параметров  $Y(y_1... y_m)$ . Множество состояний модели  $S$  определяется множеством состояний образующих  $s(g_1), s(g_2), \dots s(g_n)$  и их связей  $(\beta_i \beta_j)$ . Совокупность элементарных проверок представим полем проверок или сигналов  $U\{u(g_1)... u(g_n)\}$  сформированным вектором  $U \{u(g_1), u(g_2)... u(g_n)\}$  изображений, построенным из  $n$  образующих.

При неисправной работе АБСУ наблюдаются лишь искаженные варианты идеальных изображений. Неисправности в образующих и их связях приводят к деформации работы АБСУ, изменению ее состояния и нарушению алгебры изображений. Механизм деформации обозначен через  $d$ . Элементы  $I^{\mathcal{D}} \in \mathcal{F}^{\mathcal{D}}$  названы деформированными изображениями. При контроле состояния АБСУ определение механизма деформации изображения  $g \rightarrow u(g)$  и выявление его причины производим по деформированному изображению  $I^{\mathcal{D}} = dI = \{(dg_1, dg_2, \dots, d_n g_n), d\beta, d\sigma, dx, dy\}$ , путем сравнения деформированного изображения с эталонным изображением  $I^* = \{(g_1, g_2, \dots, g_n), \beta, \sigma, x, y\}$ . Эталонное изображение получено на основе виртуальной модели изображения канала, где образующие представлены функциями, описывающими управление самолетом от АБСУ – дифференциальными операторами с постоянными коэффициентами, вычисленными по типовым уравнениям работы канала АБСУ.

Модель образа продольного канала АБСУ представлена на рис. 1 в виде графа  $\mathcal{T} = (G, \mathcal{B}, S)$  и задается множеством вершин  $g_1, g_2, \dots, g_n$ , множеством дуг  $\mathcal{B} = \{(\beta_1 \beta_2), (\beta_1 \beta_3), (\beta_2 \beta_4) \dots\}$ , множеством состояний  $S\{s(g_1) \dots s(g_n)\}$ . Структура любого канала АБСУ (канала тангажа, курса, крена, автомата тяги) является полным графом (т. е. две любые его вершины соединены хотя бы в одном направлении), то всегда можно найти центр графа, для которого  $|\mathcal{T} g_0 \setminus \{g_0\}| = \max_{g \in G} |\mathcal{T} g \setminus \{g\}|$ . Для графа  $\mathcal{T}$  матрица смежности определяется следующим образом:  $\beta_{ij} = 1$ , если в  $\mathcal{T}$  существует дуга  $(g_i, g_j)$  и  $\beta_{ij} = 0$ , если в  $\mathcal{T}$  нет дуги  $(g_i, g_j)$ . Таким образом, матрица смежности  $\mathcal{A}$  графа изображенного на рис. 2 имеет вид:

$$\mathcal{A} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

В качестве состояний АБСУ рассмотрим работоспособное или неработоспособное состояние отдельных образующих, входящих в систему, и отдельные значения параметров (параметр в допуске, не в допуске).

Нулевое состояние системы  $S_0$  –  $i$ -ая образующая работоспособна,

$S_1$  – состояние отказа  $i$ -ой образующей.

АБСУ как объект технического диагностирования может находиться в  $n$  состояниях поля  $S$ , причем  $s_i \in S, i=1, 2 \dots n$ . Носителем сообщения является результат проверки  $\pi_i \in \Pi$ . Так как  $\Pi$  – счетное и задана последовательность изображений  $\mathcal{I}_1, \mathcal{I}_2 \dots \mathcal{I}_n$ , то  $\Pi = \{\mathcal{I}_1, \mathcal{I}_2 \dots \mathcal{I}_n\}$ , в итоге  $\mathcal{I} \in \Pi$ . По  $u(g_i)$  оценивается влияние каждой образующей на деформацию изображения канала АБСУ. Причина деформации изображения индуцируется по результатам измерения изображения.

Матрица смежности полностью определяет структуру графа. Например, сумма всех элементов строки  $g_i$  дает полустепень исхода вершины  $g_i$ , которая определяет центр структуры изображения продольного канала АБСУ.

Центр структуры изображения соответствующего канала АБСУ определим сложением элементов матрицы смежности  $\mathcal{A}$  по строкам.

Функция предпочтения является суммой нулей в  $j$ -й строке матрицы состояний и приобретает вид  $W_i(\pi_j) = \left\{ \sum_{j=1}^N |'0'| \right\} \max$  показывая, что контроль со-

стояния системы следует производить там, где  $W_i \rightarrow \max$ , т.е. по сигналам (по величине электрического напряжения) на входе образующей 12 в виде образа работы всего канала АБСУ. То есть деформация каждой из всех образующих или их связей приведет к изменению сигнала на входе образующей подлежащей контролю (блок ИН-3-2 АБСУ-154).

**В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ** разработаны математическая модель и алгоритмы определения ожидаемого состояния АБСУ в технологической цепи ТО ВС. На стадии анализа работы АБСУ выполнен синтез образа АБСУ и определен механизм деформации. Комплексный анализ выполнен сравнением диагностической модели с математической моделью работы АБСУ и по синтезу представленной конфигурации образа АБСУ.

Система АБСУ представляет собой набор образующих  $g_i, g_i \in G$ ; набор связей  $\beta_i, \beta_i \in \mathcal{B}$  и структур  $\sigma_i, \sigma_i \in \Sigma$ . Состояние каждой образующей может быть определено как работоспособным  $g_i^0$ , так и неработоспособным  $g_i^1$ . То же относится и к связям  $\beta_i^0$  и  $\beta_i^1$ . Процесс изменения состояния образующих и их связей принимаем мгновенным. Для удобства анализа считаем, что для образующих и связей промежуточных состояний не существует. Они могут находиться только в работоспособном или в неработоспособном состоянии. В общем случае АБСУ может находиться во множестве состояний  $s_i \in S$ . Случайные процессы, протекающие в АБСУ и описывающие техническое состояние при эксплуатации, характеризуются дискретными состояниями  $S_0, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ , где  $S_0$  – соответствует работоспособному состоянию;  $S_2$  – состоянию отказа;  $S_3$  – состоянию контроля работоспособной АБСУ;  $S_4$  – состоянию контроля неработоспособной АБСУ;  $S_5$  – состоянию ремонта фактически исправной АБСУ;  $S_6$  – состоянию восстановления неработоспособной АБСУ. Условную вероятность того, что в момент времени  $t = t_0 + \tau$  система переходит в состояние  $S_i$ , обозначим через  $P_{i, j}$ . Так как в реальных условиях случайный процесс  $S(t)$  зависит только от  $(s_i, s_j, t_0$  и  $\tau)$ , при этом переход из состояния  $s_i$  в состояние  $s_j$  характеризуется интенсивностью

$\lambda_{i, j}$  и из обратного состояния  $s_j$  в состояние  $s_i$  – интенсивностью  $\mu_{i, i}$ , интенсивность перехода в режим контроля –  $\nu_K$ , интенсивность контроля –  $\mu_K$ , интенсивность восстановления –  $\mu_B$ , интенсивность функционального использования по назначению –  $\lambda_T$ , построим в соответствии с теорией Марковских процессов размеченный граф состояний и, используя мнемоническое правило, составим дифференциальные уравнения вероятностей состояний  $P_i(t)$ .

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -(\lambda_T + \nu_K)P_0(t) + (1 - P_{0,2})\mu_K P_3(t) + P_B \mu_B P_5(t) + P_B \mu_B P_6(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= -\nu_K P_2(t) + \lambda_T P_0(t) + P_{2,0}\mu_K P_4(t) + (1 - P_B)\mu_B P_5(t) + (1 - P_B)\mu_B P_6(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= -[(1 - P_{0,2})\mu_K + P_{0,2}\mu_K + \lambda_K]P_3(t) + \nu_K P_0(t); \\ \frac{dP_4(t)}{dt} &= -[(1 - P_{2,0})\mu_K + P_{2,0}\mu_K]P_4(t) + \nu_K P_2(t) + \lambda_K P_3(t); \\ \frac{dP_5(t)}{dt} &= -[(1 - P_B)\mu_B + P_B \mu_B]P_5(t) + P_{0,2}\mu_K P_3(t); \\ \frac{dP_6(t)}{dt} &= -[(1 - P_B)\mu_B + P_B \mu_B]P_6(t) + (1 - P_{2,0})\mu_K P_4(t). \end{aligned} \right\}$$

В стационарном режиме работы при достаточной длительности процесса эксплуатации ( $t \rightarrow \infty$ ) система дифференциальных уравнений трансформируется в систему алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -(\lambda_T + \nu_K)P_0 + (1 - P_{0,2})\mu_K P_3 + P_B \mu_B P_5 + P_B \mu_B P_6 &= 0; \\ -\nu_K P_2 + \lambda_T P_0 + P_{2,0}\mu_K P_4 + (1 - P_B)\mu_B P_5 + (1 - P_B)\mu_B P_6 &= 0; \\ -\mu_B P_3 + \lambda_K P_3 + \nu_K P_0 &= 0; \\ -\mu_K P_4 + \nu_K P_2 + \lambda_K P_3 &= 0; \\ -\mu_B P_5 + P_{0,2}\mu_K P_3 &= 0; \\ -\mu_B P_6 + (1 - P_{2,0})\mu_K P_4 &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Условие нормирования системы уравнений  $\sum P_i = 1$ .

В результате решения этой системы уравнений получены значения вероятностей пребывания АБСУ в различных состояниях в зависимости от показателей надежности и систему упреждающей стратегии ТЭ АБСУ:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= \frac{(1 - P_{0,2})P_B T_{IP} T_{OG} (T_K + T_{OK})}{\nu}; \\ P_2 &= \frac{T[\nu - (1 - P_{0,2})\beta T_0 T_K]}{\nu}; \\ P_3 &= \frac{(1 - P_{2,0})P_B T_0 T_{OK} T_K}{\nu}; \\ P_4 &= \frac{\beta T_K}{\nu}; \\ P_5 &= \frac{P_{0,2}(1 - P_{2,0})P_B T_0 T_{OK} T_B}{\nu}; \\ P_6 &= \frac{(1 - P_{2,0})\beta T_B}{\nu}. \end{aligned} \right\}$$

где  $\nu = \beta [T_{\text{ПР}} + T_{\text{К}} + (1 - P_{2,0})T_{\text{В}}] + (1 - P_{2,0})P_{\text{В}}T_0T_{\text{ОК}}(T_{\text{ПР}} + T_{\text{К}} + P_{0,2}T_{\text{В}})$   
 $\beta = (T_{\text{К}} + T_{\text{ОК}})(T_{\text{ПР}} + T_0) - (1 - P_{0,2})T_0T_{\text{ОК}} - P_{0,2}P_{\text{В}}T_0T_{\text{ОК}}$   
 $T_0 = \frac{1}{\lambda_{\text{T}}}, T_{\text{ОК}} = \frac{1}{\lambda_{\text{К}}}, T_{\text{ПР}} = \frac{1}{\nu_{\text{К}}}, T_{\text{К}} = \frac{1}{\mu_{\text{К}}}, T_{\text{В}} = \frac{1}{\mu_{\text{В}}}.$

Используя данные эксплуатации АБСУ-154-2 автоматизированной системы «Надежность АТ» решение уравнений дает следующие значения:

$T_0 = 1500$  час.,  $T_{\text{ОК}} = 4200$  час,  $T_{\text{ПР}} = 1200$  час,  $T_{\text{К}} = 4600$  час,  $T_{\text{В}} = 7500$  час.

Приведенные уравнения позволяют при упреждающей стратегии ТО назначать время проверки работоспособности  $T_{\text{ПР}}$  по контролируемому параметру АБСУ в зависимости от показателей надежности и возникших ситуаций, что позволяет значительно сократить продолжительность ТО и соответственно стоимость ТО.

Образующие АБСУ функционируют не изолированно друг от друга, а во взаимодействии: свойства одной образующей в общем случае зависят от условий, определяемых поведением других образующей; свойства АБСУ в целом определяются не только свойствами образующих, но и характером взаимодействия между ними. Для системного анализа АБСУ построена обобщенная модель, отражающей все факторы и взаимосвязи реальной ситуации, которые могут появиться в процессе решения задачи определения состояния АБСУ в технологической цепи ТО АТ.

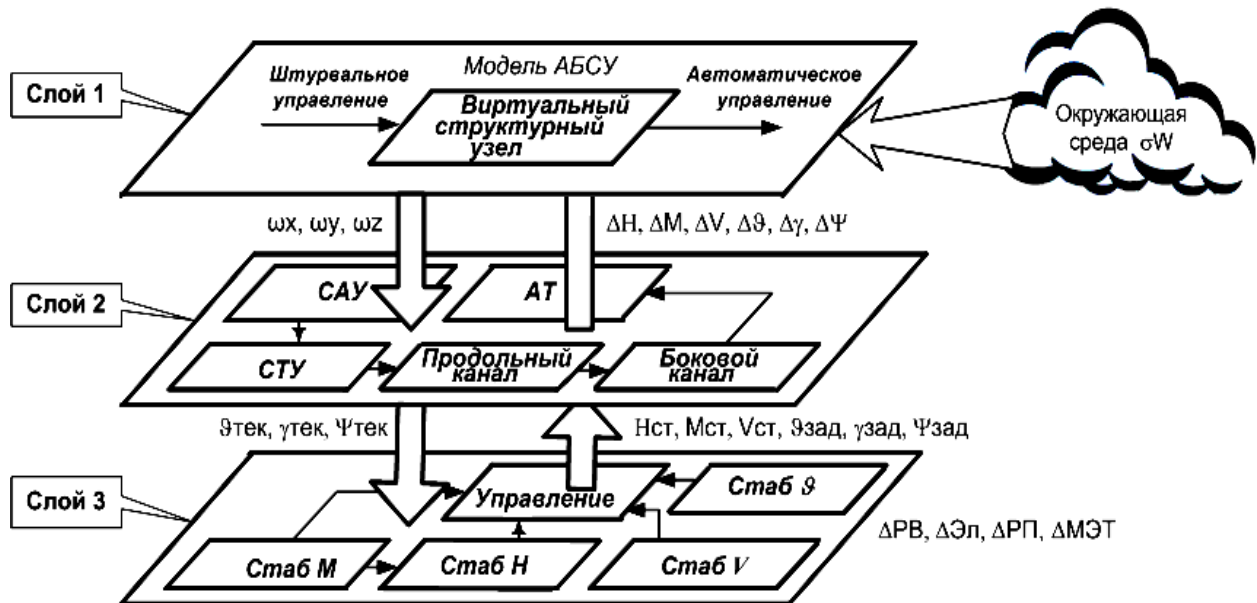


Рис. 4. Многослойная модель АБСУ

Сложная система АБСУ представляет собой составной объект, части которой рассматриваем как подсистемы, закономерно объединенные в единое целое в соответствии с определенными правилами и ограничениями  $\mathcal{R}$ . Образ системы АБСУ представлен на рис. 4 в виде следующей многослойной структуры. Все процессы в системе АБСУ, независимо от количества уровней структурного анализа, объединяются в виде направленного иерархического графа. Подсистемы, приведенные в слое 1, также являются сложными системами из нескольких элементов (подсистем низшего уровня), а с другой

стороны — элементами слоя 2 и системы старшего уровня. Алгоритм задает процесс вычисления функции  $X \rightarrow Y$ . Конкретная передаточная функция представляет собой по существу математическую модель функционирования АБСУ. Многослойная сеть обнаруживает тенденции к высокой селективности в процессе обработки информации. Для построения передаточной функции использована априорная информация об АБСУ. Передаточная функция представлена в виде аналитического выражения, связывающего входные сигналы и выходные параметры АБСУ:  $Y = A \cdot X$ , где  $X$  — поток входных управляющих сигналов системы ( $\Delta H, \Delta V, \Delta M, \Delta \Theta, \Delta \gamma, \Delta \Psi, \omega_x, \omega_y, \omega_z, n_x, n_y, \dots$ );  $Y$  — поток выходных параметров системы ( $\Delta_{PB}, \Delta_{PH}, \Delta_{PP}, \Delta_{MET}, \dots$ );  $A$  — оператор, характеризующий преобразования, связанные с процессами, протекающими в АБСУ. Процесс функционирования системы описан как последовательность состояний из множества  $S(t)$ , возникающих под воздействием внешних и внутренних факторов из множества  $X(t)$ ; показатель эффективности функционирования системы описан как изображение работы — функция выхода системы  $Y(t)$ .

Поток  $X$  является случайным пуассоновским потоком с интегральным значением показателя интенсивности  $\lambda$ , средними значениями  $\mu(z)$  и дисперсиями  $\sigma(z)$ , учитывающими допустимое отклонение сигналов. Функция выхода системы представляет собой логический алгоритм  $Y(t) = A_1[X(t), S(t)]$ , описывающий процесс преобразования входного потока управляющих сигналов  $X(t) = \{X(g_1) \dots X(g_k)\}$  в поток  $Y(t)$  результатов функционирования системы и оценок  $W(t)$  этих результатов.  $W(t) = c_1 u(g_1) + \dots + c_n u(g_n)$ .  $\{W(t) \subset (H_{ст}, V_{ст}, M_{ст}, \Theta_{зад}, \gamma_{зад}, \Psi_{зад}, \dots)\}$ . Внутреннее состояние системы  $S(t)$  определяется показателями надежности компонентов системы а также способом объединения этих компонентов в систему, то есть структурой системы, поэтому  $S(t+\tau) = A_2[X(t), S(t)]$ , где  $S(t)$  декартово произведение множеств  $S_i$  текущих состояний устройств системы,  $S_i = \{\text{исправно, неисправно} \dots\}$ ,  $A_2$  — алгоритм, описывающий функцию переходов  $S(t) \rightarrow S(t+\tau)$ .

С учетом этих положений обобщенная концептуальная модель процесса функционирования АБСУ представлена в виде, показанном на рис. 5.

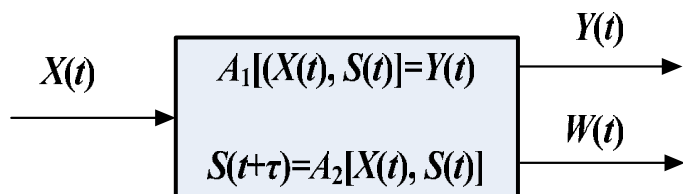


Рис. 5. Обобщенная схема модели функционирования АБСУ

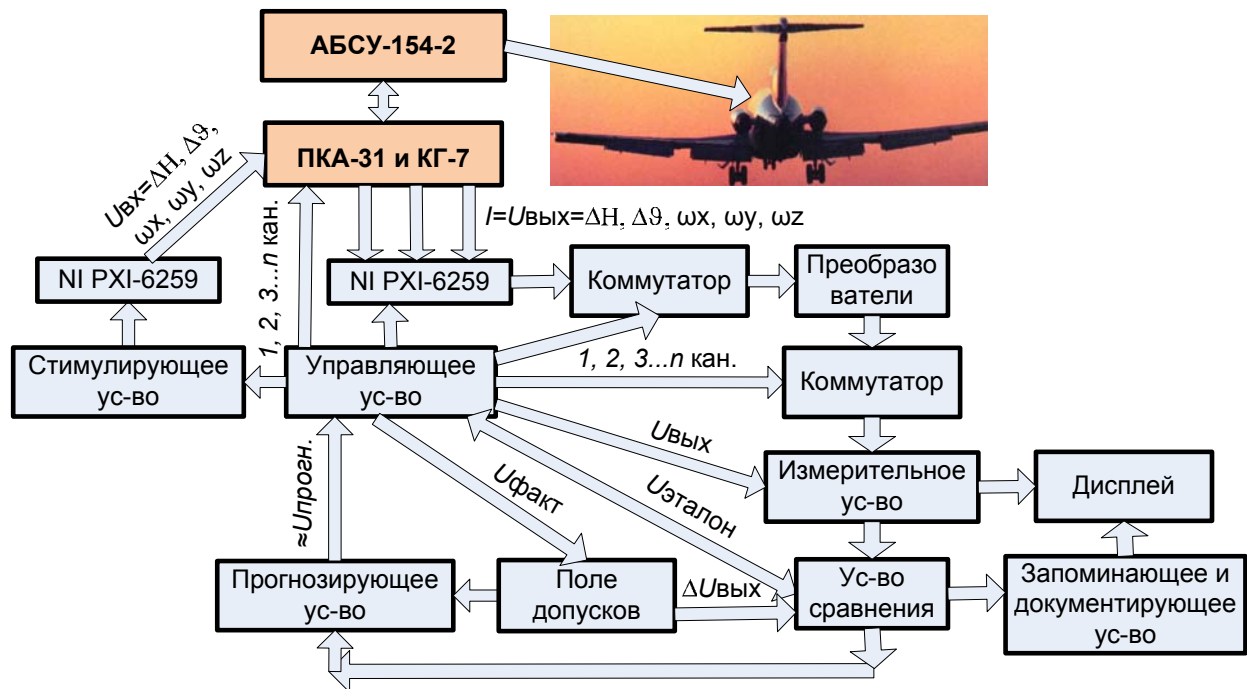
Здесь  $X(t)$  — множество значений потока управляющих сигналов зависящих от состояния системы в момент времени  $t$ ,  $\{X(t) \subset \Delta H, \Delta V, \Delta M, \Delta \Theta, \Delta \gamma, \Delta \Psi, \omega_x, \omega_y, \omega_z, n_x, n_y, \dots\}$ ;  
 $S(t) = f\{X(g_1) \dots X(g_n)\}$ ;  
 $S(t) \subset (\text{испр, неиспр, отказ} \dots)$ ;

$Y(t)$  — множества значений измеряемых показателей (изображений) состояния системы ( $I \subset \Delta U_{PB}, \Delta U_{Элер}, \Delta U_{PP}$ ).

Алгоритм представляет собой вычисление функции  $X \rightarrow Y$  выходных

сигналов от заданных входных сигналов и полученных (замеренных) состояний АБСУ. Управление моделью АБСУ осуществляем не по его параметрам, а по состояниям. Но для этого, как минимум, надо уметь идентифицировать эти состояния. Следовательно, при контроле АБСУ возникает задача идентификации состояния АБСУ по его наблюдаемым (измеряемым) параметрам изображений. Данная задача решена на основе модели проверки АБСУ построенной на основе образующих, их связей, алгебры идеального изображения, работающей по законам управления каналов АБСУ и представляющая собой эталонное изображение АБСУ.

**В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ** разработана архитектура измерительного комплекса (ИК) системы контроля АБСУ на примере АБСУ-154-2 самолета Ту-154М на базе высокоточных технических средств «PXI» NI, функциональная схема которого представлена на рис. 6, описана ее практическая реализация на основе современных технологий «National Instruments» в среде графического программирования LabVIEW, а также разработан алгоритм упреждающей технологии наземного обслуживания АБСУ.



**Рис. 6. Применение ИК АБСУ NI "PXI" при наземном ТО ВС**

В качестве устройства ввода-вывода была выбрана платформа NI PXI-1050, обеспечивающая гибкое законченное аппаратное решение для разработки различных систем сбора и управления сигналами на базе программного комплекса LabVIEW. Измерительный комплекс ИК АБСУ NI "PXI" подключается к контрольным разъемам платформы ПКА-31 и коммутатора КГ-7 АБСУ самолета Ту-154М. АБСУ включается и в автоматическом режиме производится запись контролируемого состояния системы по стимулирующим нормированным сигналам управления  $U_{вх}$ , представляющим собой симметричный пилообразный электрический сигнал пропорциональный  $\Delta H$ ,  $\Delta \theta$ ,

$\Delta\omega$ ,  $\Delta M$ . Стимулирующий сигнал вырабатывается генератором ИК и подается на контрольные точки 1,2,3,...n АБСУ датчиком NI PXI-6259 по команде управляющей программы LabVIEW 1,2,3,...n канала. Сигнал отклика системы в виде замеренного напряжения  $U_{\text{вых}}$ , поступает с измерительного первичного преобразователя NI PXI-6259 в измерительное устройство, обрабатывается в программной оболочке LabVIEW, сравнивается с эталонным значением базы данных  $U_{\text{эталон}}$  и полем допусков  $\Delta U_{\text{вых}}$ .

Анализ образов заключается в поочередном постраничном анализе отдельных образов и определения разницы между ними и эталонным изображением, сформированным идеальной алгеброй изображений путем вычитания изображений  $U_{\text{х1}}^{\text{д}} \dots U_{\text{хп}}^{\text{д}} - U_{\text{эталон}}$ . Будущее состояние прогнозируется на основе ранее замеренных  $U_{\text{тек}}$  и запомненных сигналов  $U_{\text{факт}}$  и тенденций изменения результатов контроля в виде тренда сигнала  $\approx U_{\text{прогн}}$ . На временной диаграмме дисплея высвечивается окончательный результат в виде величины замеренного образа (сигнала), соответствующего состоянию системы, а также результаты предыдущих измерений с прогнозом состояния системы в виде сообщения АБСУ PASS или FAIL в зависимости от состояния. В случае выдачи сообщения АБСУ FAIL автоматически выдается сообщение о выявленной неисправности конкретного блока АБСУ.

Выбор технологий National Instruments, как средства для реализации данной работы, был обусловлен простотой и эффективностью ее использования посредством программной среды LabVIEW.

Разработанная модель диагностики и оценки состояния системы АБСУ с помощью средств современных технологий National Instruments в рамках совершенствования стратегии ТО ВС типа Ту-154Б и Ту-154М была успешно реализована на практике, исследована в производственных условиях на базе ОАО «Авиакомпания Самара» и успешно испытана при поиске и устранении неисправности по затяженному управлению рулем высоты на самолете Ту-154Б № 85504 авиакомпании Utair в августе м-це 2008 г. Результаты эксперимента представлены на рис. 7.

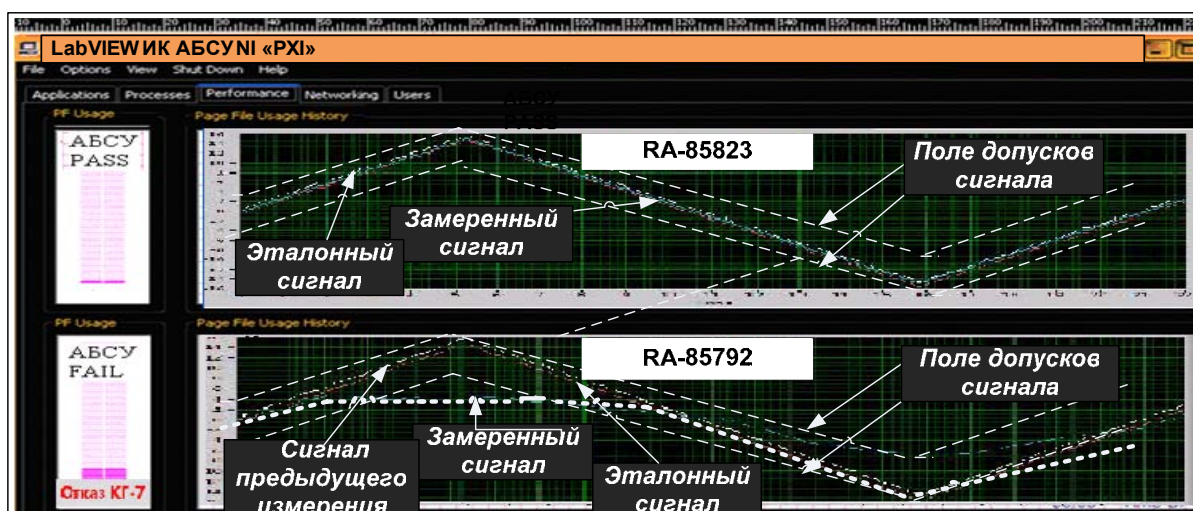


Рис. 7. Отображение на экране дисплея информации о состоянии АБСУ на основе экспериментальных данных



На рис. 7 представлен дисплей ПК с выводом информации о состоянии продольного канала АБСУ-154-2 ВС Ту-154М № RA-85792 и RA-85823 в виде графического представления состояния продольного канала АБСУ, позволяющего своевременно выявить «предотказное» состояние АБСУ.

Изложенные выше результаты работы были выполнены в рамках совместной работы с ОАО «Авиакомпания Самара» для оценки возможности реализации упреждающих технологий обслуживания АБСУ в реальном масштабе времени на борту ВС. Для контроля состояния системы АБСУ-154 в наземных условиях была разработана технология упреждающего обслуживания АБСУ с применением ИК АБСУ NI "PXI"

В результате в 3 раза увеличилась точность оценки состояния системы АБСУ-154-2, трудоемкость выполнения работ сократилась более чем в 5 раз. При этом контроль состояния АБСУ можно совмещать с другими операциями, выполняемыми при обслуживании ВС (уборка салонов самолета, дозаправка самолета топливом, проверка систем самолета, и др.).

В заключительной части работы представлены основные результаты и выводы, полученные в ходе диссертационных исследований, приведена общность разработанного метода и средств к эксплуатации АБСУ на действующих ЛА (Як-42) и новых ВС с бортовыми вычислительными комплексами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведен анализ существующей системы контроля технического состояния АБСУ при ТО ВС. Установлено, что основными факторами, дестабилизирующими систему контроля АБСУ, являются невыявляемые постепенные отказы и неисправности, вызванные износом и изменением свойств комплектующих изделий АБСУ под влиянием старения, износа, изменения свойств конструкционных материалов и накапливающихся повреждений в процессе эксплуатации ВС и составляют 65...70% от всех отказов.

2. Разработанная модель представления АБСУ, основанная на теории образов и представляющая собой образующие, связи, конфигурации и алгебру изображений работы каналов АБСУ в условиях реального функционирования, обеспечивает контроль технического состояния АБСУ при ТО ВС, выявление изменения технического состояния АБСУ на ранних стадиях развития неисправностей, обнаружение ранее невыявляемых неисправностей и повышает точность оценки по контролю состояния системы в 3 раза.

3. Разработан метод определения рационального количества контролируемых компонентов системы и их параметров, заключающийся в выявлении минимально-достаточного количества проверок возможных технических состояний путем решения функции предпочтения модели АБСУ. Разработанный метод позволяет обеспечить контроль технического состояния всех трех каналов АБСУ по измерению электрических сигналов на одном блоке, достаточный для контроля состояния системы в целом, сократить время простоя самолета на ТО на 25%, уменьшить трудоемкость технического обслуживания АБСУ в 5 раз (объем работы по ТО АБСУ по форме 1 сокращается до 19

нормо-часов).

4. Предложен метод определения необходимой периодичности контроля и ТО АБСУ путем решения системы дифференциальных уравнений, описывающих изменение состояния АБСУ в процессе ТО, и обосновано увеличение периодичности ТО и снижения трудоемкости на 30% путем анализа изменения технического состояния АБСУ.

5. Разработана архитектурная схема автоматизированной системы контроля технического состояния АБСУ, состоящая из измерительных преобразователей NI PXI-6259, платформы ввода-вывода сигналов NI PXI-1050, высокоскоростной вычислительной системы на базе контроллера PXI-8196, обеспечивающая гибкое законченное аппаратное решение сбора и управления сигналами на базе программной среды LabVIEW, позволяющая производить измерение состояния системы при наземном ТО ВС без демонтажных работ, выполнять прогнозирование состояния, выявлять тенденции к ухудшению работы АБСУ, обнаруживать неисправности на ранней стадии развития, сократить повторные дефекты при ТО на 85-90%.

6. Предложены средства контроля технического состояния АБСУ на основе современных высокоточных технических средств "PXI" фирмы National Instruments и лицензированной программной среды графического конструирования LabVIEW, позволяющие автоматизировать процесс измерения состояния системы, сравнивать результаты измерений, выполнять анализ, выдавать предупредительную сигнализацию, визуализировать состояние, обеспечить сохранение результатов измерений и прогнозирование состояния.

7. Предложенный метод и средства контроля технического состояния АБСУ апробированы при реальном ТО двух самолетов Ту-154М № 85823 и № 85792 на авиационно-технической базе авиакомпании «Самара» в сентябре 2008 г. Подтверждено повышение эффективности ТО АБСУ за счет реализации технологии упреждающего обслуживания АБСУ, увеличения производительности труда и сокращения эксплуатационных расходов. На самолете Ту-154Б № 85504 авиакомпании «Utair» в августе 2008 г. применение предложенного метода моделирования продольного канала АБСУ позволило выявить ранее не подтверждавшийся и не выявляемый дефект рулевого привода РП-56 канала РВ, ввести простаивающий самолет в строй и обеспечить безопасность полета.

Средние показатели производственной экономии, достигаемые благодаря применению предложенного метода и средств контроля технического состояния АБСУ, позволяют обеспечить: сокращение расходов на обслуживание ВС – 30-40%; уменьшение времени простоя ВС – 15-25%; увеличение производительности труда – 40-60%.

**Основные результаты диссертации отражены в работах, опубликованных:**

*в изданиях, рекомендованных ВАК России*

1. Писаренко В.Н. Разработка методов и средств оценки состояния сложных автоматизированных систем управления (на примере АБСУ- 154) / В.Н.

Писаренко, А.Н. Коптев // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. вып. – 2008. – Т.2. – С. 222–228.

2. Писаренко В.Н. Имитационное моделирование сложных технических систем авиационной техники с использованием сетевых методов / В.Н. Писаренко, А.Н. Коптев // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. вып. 2009. – №3. –Т.11. – С. 211–216.

*в других изданиях*

3. Писаренко В.Н. Техническая эксплуатация и ремонт авиационных электрических систем и пилотажно-навигационных комплексов, часть 1: учеб. пособие / В.Н. Писаренко. – Самара: СГАУ, 2007. – 204 с.

4. Писаренко В.Н. К вопросу автоматизации обеспечения безопасности полетов / В.Н. Писаренко // Сборник трудов XII Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. – Самара, 2005. – С. 101–103.

5. Писаренко В.Н. Разработка методов и средств оценки состояния сложных автоматизированных систем управления / В.Н. Писаренко, А.Н. Коптев // //Сборник статей семинара по неразрушающим методам контроля «Совершенствование технологических процессов технического обслуживания» – Самара, 2007. – С. 57–65.

6. Писаренко В.Н. Определение сходимости экспериментальных и теоретических распределений отказов АТ / Щелочков П.Н., Писаренко В.Н. // Сборник трудов научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Исследования и перспективные разработки в авиационной промышленности». – Самара. 2007 г.

7. Писаренко В.Н. Об одном подходе к обеспечению безопасности полетов / В.Н. Писаренко // Сборник трудов XIII Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. – Самара, 2006. – С. 98–99.

8. Писаренко В.Н. Моделирование сложных технических систем в инновационном образовании и новациях современного высшего образования в России / В.Н. Писаренко, Н.П. Селиверстов. // Сборник трудов научно-методической конференции «Актуальные проблемы развития университетского образования в России». – Самара: СГАУ, 2009. – С. 147.

9. Писаренко В.Н. Метод моделирования сложных технических систем авиационной техники с использованием «LABVIEW» / В.Н. Писаренко, А.Н. Коптев // Сборник статей семинара по неразрушающим методам контроля «Совершенствование технологических процессов технического обслуживания» – Самара, 2009. – С. 137–141.

---

Подписано в печать 22.04.09 г.  
Тираж 100 экз.

---

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в ГОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет  
им. академика С.П. Королева» (СГАУ).  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.