

УДК 681.5

Л.Л. ЯЦКО, Р.А. ТРОФИМЕНКО, С.Н. ЕМЕЛЬЯНОВ

ОАО «НТК «Электронприлад», Киев, Украина

**СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ
В БЛОКЕ БУК-МС2 САУ ВГТД АИ-450-МС САМОЛЕТА АН-148**

В статье рассматриваются структура системы организации встроенного контроля, в том числе многоуровневая иерархия выявляемых отказов и парирования отказов, формирование сообщений в кабину экипажа.

встроенный контроль, отказ, диагностирование, агрегат САУ ГТД**Введение**

В настоящий момент актуально стоит проблема перехода эксплуатации агрегатов САУ ГТД на эксплуатацию по техническому состоянию.

Внедрение технологии эксплуатации агрегатов по техническому состоянию будет во многом зависеть от решения сложных технических задач по диагностированию агрегатов САУ. При этом следует рассматривать проблему диагностики САУ ГТД в общей постановке для всего жизненного цикла, не ограничивая ее рамками эксплуатации и ремонта.

Влияние конструктивно – производственных и эксплуатационных факторов на характеристики агрегатов САУ носит случайный характер и проявляется в отклонениях характеристик от среднестатистических и паспортных для агрегатов, а также в динамике их изменения во время эксплуатации. Поэтому при одной и той же наработке однотипные агрегаты объективно имеют различное физическое состояние. Отсюда следует, что проблема технической диагностики охватывает широкий круг задач по распознаванию технического состояния агрегатов САУ от начальной стадии проектирования до их списания. И как следствие, целесообразность комплексного подхода к их решению.

Задачи диагностирования могут быть сгруппированы в три класса (группы):

- конструктивно-технологические и методические, относящиеся к агрегатам САУ как объекту диагностирования и решаемые на этапе создания их конструкции;
- по разработке методики диагностирования агрегатов, как составной части диагностирования ГТД;
- по разработке технических средств диагностирования в части обработки и передачи информации.

Выбор методов и средств технического диагностирования агрегатов САУ в условиях эксплуатации во многом определяется контролепригодностью, т.е. обеспеченностью их конструкцией и оборудованием для получения достоверной информации, необходимой для оценки технического состояния агрегатов.

По диагностике электронных САУ ГТД имеется определенный опыт при этом теоретические и методологические аспекты диагностирования базируются, в основном на приемах достаточно разработанных и широко используемых в радиоэлектронной промышленности.

При существующих методах диагностирования агрегатов САУ ГТД продолжительность и трудоемкость поиска неисправностей составляет 20 ... 40% от общей трудоемкости внеплановых работ на двигателе в целом. При этом необоснованный съем агрегатов доходит до ~ 40%, что приводит к существенному увеличению расходов на материально-техническое обеспечение. Такое положение сложи-

лось из-за недостаточной контролепригодности агрегатов и эффективности технологии поиска и устранения неисправностей.

Главными источниками ошибок являются шумы при измерении контролируемых параметров, ошибки моделирования при формировании диагностических признаков и ошибки оценивания по критериям.

Одним из основных факторов, существенно влияющих на эффективность процесса диагностирования САУ ГТД, является качество алгоритмов диагностирования. Сложность формирования алгоритмов диагностирования агрегатов САУ ГТД – в ограничениях в количестве и плотности информационных потоков контролируемых параметров.

Эти ограничения определяются возможностями бортовых и наземных средств контроля, в которых, как правило, количество контролируемых параметров САУ ГТД ограничено, а частота опроса параметров низка, что усложняет оценку быстротекущих переходных режимов, определяемых САУ ГТД (запуск, приемистость, сброс и т.д.). Другой аспект связан с метрологическими характеристиками контролируемых параметров, которые существенно влияют на достоверность результатов измерения.

Известно, что погрешности измерения и обработки информации составляют значительную долю риска и неопределенности при определении технического состояния системы. Необходима разработка методов устранения неопределенности при поиске неисправностей, связанных с погрешностью измерений, например за счет информационной избыточности. Поэтому достижение максимальной вероятности правильного распознавания отказов агрегатов и узлов САУ ГТД при ограничениях на вектор контролируемых параметров и метрологическую точность измерительных каналов также является актуальной задачей диагностирования агрегатов САУ ГТД.

В такой постановке задача диагностирования агрегатов САУ ГТД может быть успешно решена только в интерактивном режиме.

Настоящая работа является обобщающей по результатам разработки, стендовых и летно-конструкторских испытаний а также сертификационных процедур блока БУК-МС2 – блока управления и контроля ВГТД АИ-450-МС.

Структура системы многоуровневого диагностирования блока БУК-МС2. Задача распознавания технического состояния ВГТД АИ-450-МС решается в следующей постановке: имеется набор контролируемых параметров (Y) – аналоговые и дискретные датчики и исполнительные механизмы, известен теоретический перечень распознаваемых отказных ситуаций $W = (W_1, W_2, W_3, ..., W_n)$, такие как целостность линий связи с датчиками (входные линии) и исполнительными механизмами (выходные линии связи) (КЗ и обрывы), неисправность датчиков (выход за допустимый диапазон результатов измерений, как статических характеристик (верхний и нижний пределы) так и динамических (градиенты)), неисправность исполнительных механизмов (несоответствие фактического положения ИМ заданному) и т.д. Необходимо найти алгоритм, обеспечивающий максимальную вероятность правильного распознавания отказных ситуаций каждого элемента САУ, сгруппировав отказы в глобальные признаки, сообщить экипажу о возможной потере некоторых функций в САУ и постараться найти алгоритм парирования отказа обеспечив хотя бы частичную работу системы.

Например, обрыв линии связи с датчиком положения КПП в служебном компрессоре, не исключает продолжения работы ВГТД АИ-450-МС на режиме и использование ее в качестве электрогенератора.

Существенной особенностью диагностирования агрегатов САУ является их сложность и высокая размерность решаемой задачи, затрудняющая формализованное описание алгоритма диагностирования в рамках одной математической модели. Поэтому пришлось прибегнуть к поэтапной процедуре поиска неисправностей.

В электронной САУ ВГТД АИ-450-МС, система встроенного контроля (СВК) строится по иерархическому принципу, при этом на каждом режиме работы определяются свой набор предпочтительных алгоритмов выявления и парирования неисправностей. На рис. 1 приведена схема перестройки алгоритмов СВК блока БУК-МС2, в зависимости от режимов работы двигателя АИ-450-МС.

При диагностировании отказов в цепях линий связи электронного блока с датчиками, на неработающем двигателе (т.е. до начала запуска), более целесообразным и достоверным является проведение инструментальных методов контроля, основанных на задании в линию связи маломощных тест – импульсов и определение по характеру отклика наличия отказа в цепях линий связи и датчике. Такие алгоритмы контроля, сравнительно с алгоритмами управления и регулирования, требуют значительных временных затрат, так как требуется относительно большая выборка измерений для получения достоверного сигнала отказа, а также последующее время на восстановление истинного значения сигнала в линии от датчика, при этом такие методы обеспечивают высокую вероятность оп-

ределения отказов в цепях линий связи с датчиками и исполнительных механизмов.

Во время запуска ВГТД, такие методы не пригодны, так как в это время значительно повышается фон электромагнитных полей (во время включения ступеней электростартера на запуске ВГТД АИ-450-МС единичные броски тока в системе электроснабжения самолета достигают 1200 – 1400А, в агрегатах зажигания импульсные броски тока – 20 – 40А на заряде и 60 – 80А на разряде (при генерировании искры)), все параметры двигателя изменяются со значительными градиентами, при этом алгоритмы управления запуском требуют выделения максимальных вычислительных ресурсов от процессорной системы, такие методы не пригодны. Во время запуска количество алгоритмов контроля и диагностики сводится до минимума и работают только алгоритмы перекрестного контроля результатов измерения аналоговых параметров между двумя измерительными каналами и алгоритмы автоматической защиты двигателя при достижении параметрами предельных значений, т.е. работают алгоритмы парирования и защиты.

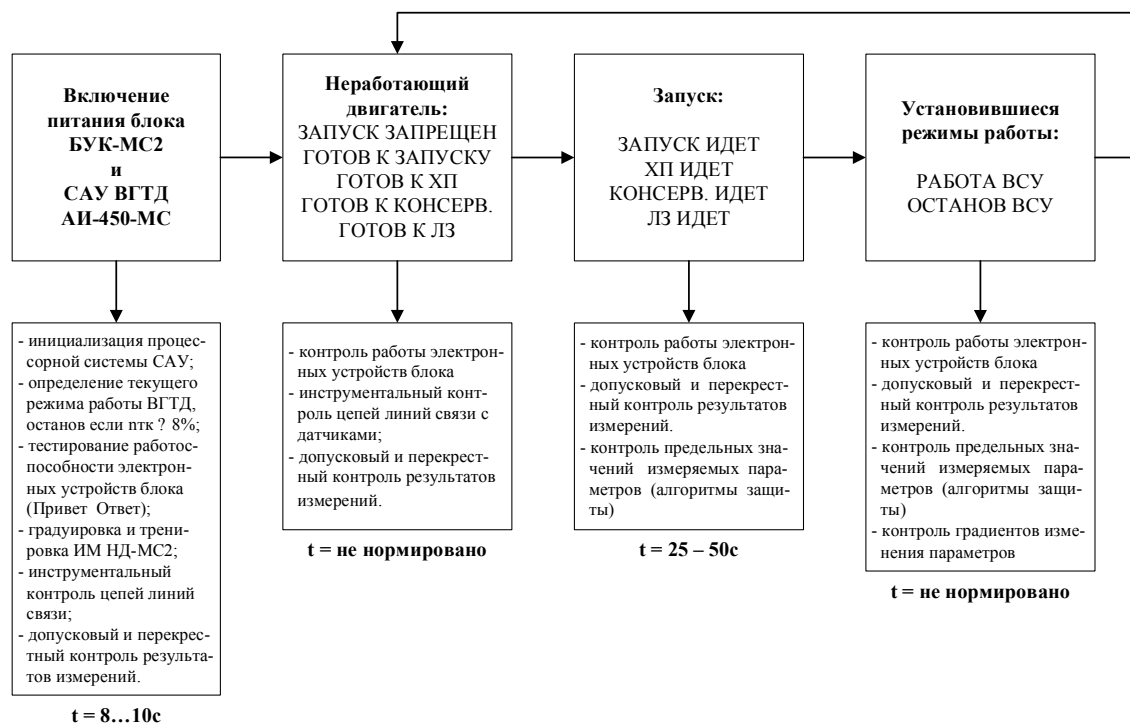


Рис. 1. Схема перестройки алгоритмов СВК блока БУК-МС2, в зависимости от режимов работы двигателя

Возможности параллельного выполнения алгоритмов контроля, была заложена на этапе проектирования архитектуры процессорной системы и анализа распределения задач между вычислительными ресурсами системы и определялась в большей степени аппаратными средствами, чем построением программного обеспечения. Задача потребовала аккуратности и видения всего комплекса предстоящих задач на этапе проектирования, так как в дальнейшем изменение аппаратной архитектуры системы связано со значительными затратами.

Многоуровневость алгоритмов контроля была определена способами построения программного обеспечения и может, относительно безболезненно, наращиваться в дальнейшем.

Была выбрана модель трехуровневой системы контроля:

Первый уровень – создание базы данных признаков, характеризующих работу элементов САУ:

- исправность преобразователей сигналов датчиков блока;
- допусковый контроль результатов измерения;
- КЗ или обрывы цепей линий связи с датчиками;
- исправность формирователей сигналов на исполнительные механизмы и собственно исполнительных механизмов.

Второй уровень – группирование признаков в элементарные логические группы и формирование обобщающих признаков отказов, например:

Для формирования обобщающего признака «Отказ канала измерения давления наружного воздуха, канал 1» могут использоваться следующие элементарные признаки:

- отказ преобразователя сигнала внутри блока;
- КЗ линии связи с датчиком;
- обрыв линии связи с датчиком;
- результаты измерения не в допусковом коридоре;
- Г-градиент изменения параметра превышен.

Третий уровень – попытка парирования неисправности альтернативными способами (перекрестный контроль результатов измерения резервированных каналов и выбор оптимального или замещение

отказавшего параметра величиной теоретически рассчитанной при помощи параллельно работающей в системе математической моделью (данный способ требует очень большой осторожности и известен авторам данной работы в теории, на практике мы не применяли такой способ парирования неисправности)) при этом формирование признака Понижение Надежности или в случае отсутствия возможности парирования неисправности формирование глобальных признаков отказов:

- БУК ОТКАЗ – при отказе электронной части САУ;
- ОКУРТ – отказ в канале управления расходом топлива;
- ОКУСК – отказ в канале управления служебным компрессором.
- ОКУТГ – отказ в канале измерения температуры выходящего газа.
- ОТКАЗ ИМ – отказ исполнительных механизмов объекта;

Глобальные признаки отказов и составляющие их датчики и исполнительные механизмы были заданы на уровне ТЗ – разработчиком ВГТД АИ-450-МС – ОАО «Мотор Сич». Признаки, составляющие второй и третий уровень диагностических признаков, являются логическими производными от признаков первого уровня диагностики.

На рис. 2 показана общая блока схема алгоритма диагностирования отказов в системе САУ, которая была взята за основу формирования первичных признаков отказов и их парирования.

X – вектор параметров объекта;

Y – вектор контролируемых параметров;

T – вектор диагностических признаков (апостериорная информация);

$W = \{W_1, \dots, W_n\}$ – алфавит классов технического состояния объекта;

$Z = \{T'_1, \dots, T'_n\}$ – рабочий словарь признаков;

T'_1 – вектор признаков состояния класса (априорная информация).

Решение задачи диагностики предполагает:

- анализ объекта, его возможных дефектов и их проявление;

Таблица 1

Контроль исправности работы канала измерения угла положения ИМ дозирующего клапана

№	Наименование режима контроля	Условие контроля	Логика работы СВК и парирования отказа	Наименование признака в RZ - потоке	Адрес признака отказа в RZ-потоке
1	Контроль каналов измерения $\alpha_{ДК1}$, $\alpha_{ДК2}$ по рабочему диапазону	Выполняется один раз после восстановления питания блока	Во время градуировки ДК, блок оценивает величину хода дозирующего крана по основному ($\alpha_{ДК1}$) и резервному ($\alpha_{ДК2}$) каналу измерения при управлении от основного и резервного каналов управления. По результатам контроля блок формирует признаки: 1. «Выход за диапазон измерения $\alpha_{ДК1}$ при управлении по основному каналу» (ДИАП11), 2. «Выход за диапазон измерения $\alpha_{ДК2}$ при управлении по основному каналу» (ДИАП12), 3. «Выход за диапазон измерения $\alpha_{ДК1}$ при управлении по резервному каналу» (ДИАП21), 4. «Выход за диапазон измерения $\alpha_{ДК2}$ при управлении по резервному каналу» (ДИАП22). При условии отсутствия отказов по каналам управления и наличии признаков «2» и «4», блок формирует признак «Понижение надежности устройства управления ДК» (НАДЕЖУУ). При наличии признаков «1» и «2», блок формирует признак «Понижение надежности устройства управления ДК» и переводит канал принятия решения на измерения резервного канала. В остальных случаях результирующее значения положения ДК определяется по измерениям основного канала ($\alpha_{ДК1}$). При наличии произвольных трех признаков отказа из четырех приведенных (ДИАП11, ДИАП12, ДИАП21, ДИАП22), блок формирует признаки: «Отказ устройства управления ДК» (ОТКАЗУУ).	ДИАП11 ДИАП12 ДИАП21 ДИАП22 НАДЕЖУУ ОТКАЗУУ	253₁₇ 253₁₈ 253₂₀ 253₂₁ 253₁₆ 253₁₅
2	Индикация текущего канала измерения $\alpha_{ДК}$	Постоянно от момента включения питания блока	Предупреждающий сигнал, что для регулирования используются результаты измерения угла положения ИМ НД-МС2 по второму каналу измерения.	АДК2	253 ₂₆
3	Контроль линии связи с датчиками измерения $\alpha_{ДК1}$, $\alpha_{ДК2}$	Постоянно от момента включения питания блока	Блок выполняет оценку активного сопротивления и индуктивности обмоток для каждого датчика. При значениях индуктивности одной из обмоток датчика ($L_0 < 0.5 \text{ мГн}$), а также при значениях активного сопротивления одной из обмоток датчика ($R_0 > 500 \text{ Ом}$), формируется признак «КЗ/Обрыв цепей подсоединения датчика $\alpha_{ДК1}$ ($\alpha_{ДК2}$)» (ERR_Адк1, ERR_Адк2). В случае наличия признака отказа одного из каналов, отказавший канал блокируется, и принятие решения производится по измерениям исправного канала. В случае наличия признаков отказа по двум каналам измерения, формируется интегральный признак «Отказ каналов измерения $\alpha_{ДК}$» (ERR_Адк), и «Отказ устройства управления ДК» (ОТКАЗУУ)..	ERR_Адк1 ERR_Адк2 ERR_Адк ОТКАЗУУ	253₁₇ 253₁₈ 253₂₀ 253₁₅

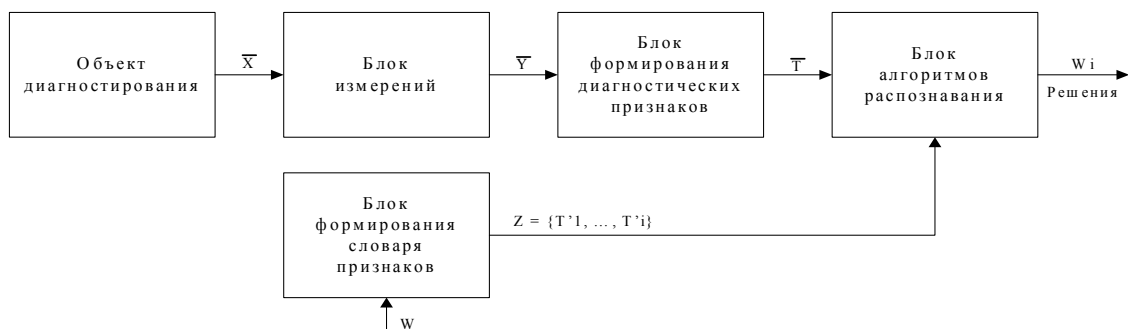


Рис. 2. Блок-схема структуры алгоритма диагностирования

– выбор контролируемых параметров и признаков, образующих диагностическое пространство;

– построение формализованной модели проведения исправного объекта и каждой его неисправной модификации.

В настоящей работе использован детерминированный подход, а диагностические модели строились при отклонении от нормального значения конструктивного параметра только одного узла объекта диагностирования (простые неисправности), т.к. при отказе нескольких узлов возникают значительные трудности при создании диагностической модели из-за многообразия возможных сочетаний отклонений конструктивных параметров по величине и последовательности их проявления.

Наибольшую трудность вызвал поиск неисправностей, связанных с динамическими свойствами регуляторов, которые, как правило, можно оценить только в переходных режимах работы двигателя. Так как на характер переходных процессов оказывают влияние несколько контуров управления, то алгоритм поиска неисправностей должен включать несколько диагностических моделей, отражающих неисправное состояние агрегатов в каждом из контуров.

В табл. 1 приведен в качестве примера набор признаков характеризующих исправность работы канала измерения угла положения ИМ дозирующего клапана.

Заключение

При построении систем распознавания технического состояния АИ-450-МС были оценены, какие классы тех. состояния целесообразно включить в

алфавит диагностированных состояний. При этом признаки были однозначно связаны с состоянием объекта и обеспечена требуемая глубина диагноза, не усложняя его процедуры и не увеличивая стоимость средств диагностирования.

При формировании признаков был предъявлен ряд требований, наиболее важные из которых:

- однозначность набора диагностических признаков;
- информативность диагностических признаков;
- технологичность измерений параметров;

Эти требования противоречивы. Так, требования однозначности приводит к существенному усложнению алгоритма диагностики и снижению технологичности.

Литература

1. Описание логики работы системы встроенного контроля блока управления и контроля вспомогательного газотурбинного двигателя АИ-450-МС. – К.: НТК «Електронприлад», 2007. – 82 с.
2. Разработка методологии многоуровневого диагностирования САУ ГТД для определения техн. состояния: Техн. отчет. – М.: ЦИАМ, 2000. – 164 с.
3. Методика перевода агрегатов САУ ГТД гражданской авиации на эксплуатацию по техн. состоянию: Техн. отчет. – М.: ЦИАМ, 2004. – 144 с.

Поступила в редакцию 5.06.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.