

УДК 629.7.03.001

И.Е. КИТАЙЧУК, Б.В. ОСТРОУМОВ, Н.Ф. СИДОРЕНКО

ИТ СКБ “ПОЛИСВИТ” филиал ГНПП “Объединение Коммунар”, Харьков, Украина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АКТИВНОЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ САУ ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ

Рассмотрены различные подходы к обеспечению отказоустойчивости систем управления. Предложены мероприятия в рамках системного подхода при создании отказоустойчивых систем автоматического управления ГТД.

безопасность, отказ, обеспечение отказоустойчивости, активная отказоустойчивость, структурный подход, алгоритмический подход, системный подход, диагностирование, реконфигурация, восстановление работоспособности

Введение

Актуальным требованием к создаваемым системам автоматического управления (САУ) динамическими объектами является требование обеспечения безопасности, живучести, сохранения необходимого качества функционирования при возникновении аварийных ситуаций.

В области проектирования САУ известно несколько направлений по обеспечению требуемого уровня безопасности и живучести.

Наиболее перспективным является направление, которое связано с расширением традиционных функциональных возможностей САУ путем введения искусственных интеллектуальных функций, в частности, способности самодиагностирования и самовосстановления при аварийных состояниях объекта управления или элементов самой САУ. Такая способность получила название активной отказоустойчивости [1].

1. Постановка проблемы. Отказоустойчивость систем управления

Наиболее сложным представителем динамических объектов является летательный аппарат (ЛА). Существенно повысить безопасность ЛА, а следовательно, и всего класса динамических объектов, воз-

можно с применением таких систем управления, в которых негативное влияние внештатных ситуаций было бы сведено к минимуму. Традиционные методы управления не обеспечивают требуемой эффективности формирования управлений в условиях: недостаточности априорной информации о состоянии внешней и внутренней среды функционирования; большого количества трудно учитываемых факторов, их нестационарного и субъективного характера; изменяемости целей и критериев качества управления вследствие деградации (отказов, аварий) или целенаправленной реконфигурации. Для таких задач было бы естественно использовать отказоустойчивые системы управления. Развитие принципов отказоустойчивого управления было обусловлено усложнением технических объектов и процессов, требующих управления, а также повышением требований к их безопасности, надежности, конкурентоспособности. Классические замкнутые контуры управления (с помощью принципа управления по отклонению) для сложного процесса или технического объекта могут привести к неудовлетворительному качеству или даже неустойчивости при возникновении отказов в приводах, датчиках или других компонентах системы.

Отказоустойчивая система автоматического управления по своей сути является системой управ-

ления, наделенной интеллектуальной надстройкой, обеспечивающей выполнение системой своих функций в нестандартных ситуациях – при возникновении отказов в элементах системы управления.

2. Анализ подходов к обеспечению отказоустойчивости системы управления

По степени интеллектуальности отказоустойчивой системы управления различают пассивную и активную отказоустойчивость [2].

При пассивной отказоустойчивости систему управления разрабатывают таким образом, чтобы эта система оставалась нечувствительной к отказам. В основе подхода лежит использование принципа структурной избыточности, согласно которому исходную систему управления, содержащую только необходимые элементы и связи, дополняют новыми, то есть избыточной структурой. Характерной особенностью таких систем управления является отсутствие диагностирования, что снижает эффективность обеспечения отказоустойчивости.

При активной отказоустойчивости различают этапы диагностирования технического состояния объекта и парирования отказа одним из выбранных методов с учетом результатов диагностирования. При обеспечении активной отказоустойчивости имеют место элементы искусственного интеллекта – диагностирование технического состояния, выбор алгоритма управления, выбор ресурса восстановления. Таким образом обеспечивается выполнение условий диагностируемости и восстанавливаемости САУ, то есть существует возможность определения технического состояния с заданной точностью и глубиной, а также возможность восстановления работоспособности системы управления.

По используемым методам различают структурный, алгоритмический и системный подходы к отказоустойчивости.

Структурный подход можно отождествить с пассивным подходом к отказоустойчивости, в основе

которого лежит использование принципа структурной избыточности. Наиболее широко известным способом введения структурной избыточности является мажоритарное резервирование, обеспечивающее эффективную устойчивость к внезапным отказам. Но отсутствие при этом процедур диагностирования приводит к применению для восстановления работоспособности системы управления однотипных каналов, которые не изменяются при появлении отказов и, следовательно, их не учитывают.

Алгоритмический подход базируется на разработке избыточных алгоритмов, использующих для достижения поставленной цели функционирования различные управляющие воздействия и управляемые переменные создаваемой системы. В свою очередь, формирование алгоритмов отказоустойчивого управления требует решения целого комплекса задач, связанных с необходимостью учета разнообразных видов отказов в условиях высокой степени неопределенности условий функционирования и характеристик надежности и, кроме того, обусловленных многообразием форм и способов введения избыточности [1].

Системный подход назван так в силу использования системной самоорганизации и комплексного применения арсенала различных средств для сохранения работоспособности системы при отказах функциональных элементов. Отличие системного подхода заключается в том, что для решения проблемы отказоустойчивости применяют основные принципы и результаты современной теории автоматического управления к построению адаптивных самоорганизующихся систем, а также методы диагностирования систем на основе модельно-ориентированных методов.

3. Особенности системного подхода к обеспечению отказоустойчивости САУ

Системный подход к обеспечению отказоустойчивости порождает иерархическую двухуровневую структуру отказоустойчивой системы [3].

Совокупность исполнительного устройства, объекта управления, датчиков и устройства управления решает традиционную задачу, относящуюся к первому уровню управления. Система первого уровня при отсутствии отказов функционирует согласно заданию, будучи эквивалентной традиционной системе управления по структуре и выполняемым функциям.

Цель второго уровня управления, называемого интеллектуальной надстройкой, заключается в обеспечении работоспособности основной системы управления при возникновении в ней отказов. На втором иерархическом уровне решают следующие задачи: обнаружение отказа, установление класса отказа и определение вида отказа.

Факт появления отказа устанавливается, когда текущие значения признаков выйдут за допустимые пределы изменения, а факт наличия отказа определяется, если значения признаков находятся за пределами допуска. Такова содержательная суть обнаружения отказов в динамических системах. В любой процедуре обнаружения отказов присутствуют в той или иной форме следующие элементы: 1) воспроизведение эталонного поведения контролируемых переменных; 2) сравнение контролируемых переменных системы с эталонными; 3) формирование допусков для результатов сравнения; 4) классификационная обработка результатов сравнения.

Классификационная обработка сформированных допусков производится по разностному сигналу. В общем случае вектор косвенных признаков $\Delta y(k)$ описывается выражением:

$$\Delta y(k) = f[u(k), \tilde{y}(k), \Delta \gamma_i, y_0, \gamma], \quad (1)$$

где $u(k)$ – вектор управляющих воздействий системы;

$\tilde{y}(k)$ – вектор возмущенного движения системы;

$\Delta \gamma_i, i=1, \mu$ – прямые признаки появления отказов;

y_0 – ненулевые начальные условия;

γ – вектор диагностических параметров появления отказов с учетом их разброса.

В результате такого глубокого диагностирования

формируется информация, достаточная для решения задач восстановления работоспособности САУ [4]. Если возникший вид отказа может быть компенсирован соответствующим изменением параметров регулятора или формированием определенного дополнительного сигнала управления, то решают соответственно задачи параметрической или сигнальной подстроек. Для некомпенсируемых отказов решают задачи реконфигурации алгоритмов или аппаратуры в зависимости от места отказа и имеющейся избыточности [3].

В системном подходе предполагается, что задачи диагностирования и восстановления работоспособности САУ решают с помощью надежных средств, отказоустойчивость которых обеспечивают на стадии их разработки и эксплуатации.

4. Решение проблемы. Использование системного подхода

Наиболее ответственным и в то же время наименее разработанным этапом синтеза САУ является обоснованный выбор структуры системы управления. С одной стороны, существует широкое разнообразие возможных вариантов структурных схем САУ. С другой стороны, для сравнения САУ с различными структурами необходимо выбрать критерии оценки. Существенную роль здесь играет опыт проектировщиков [5].

Требования обеспечения высокой степени отказоустойчивости аппаратуры с учетом ограничений по массовым и габаритным характеристикам определили необходимость применения нестандартных решений при разработке САУ [6]. При обосновании выбора структуры системы управления использованы принципы обеспечения активной отказоустойчивости САУ динамическими объектами с применением диагностирования технического состояния, выбора ресурса восстановления и выбора алгоритма управления [7]. Логическая часть САУ реализована в виде микропроцессорного устройства и устройства для обнаружения сбоев цифровой системы. Микропроцессорное устройство относится к первому

уровню управления, решает традиционные задачи обмена информацией по каналам связи с датчиками, исполнительными устройствами, устройством управления более высокого уровня и объектом управления.

Устройство для обнаружения сбоев цифровой системы относится ко второму уровню управления и обеспечивает работоспособность системы управления при возникновении в ней отказов.

В состав устройства для обнаружения сбоев цифровой системы входят интерфейсный блок и узел контроля, которые решают задачи диагностирования и восстановления работоспособности САУ.

Интерфейсный блок представляет собой устройство диагностирования микропроцессорного устройства, выполняющее задачи обнаружения и классификации отказов.

Узел контроля представляет собой трехканальное устройство формирования импульсов синхронизации всех устройств, приема сигналов контроля и

формирования сигналов управления микропроцессорного устройства.

Устройство обнаружения сбоев цифровой системы обеспечивает выполнение следующих задач:

- формирование рабочих циклов устройства с перезапуском центрального процессора в каждом цикле;
- фиксацию наличия сбоя в каждом рабочем цикле;
- блокировку смены команд в случае обнаружения сбоя;
- контроль выданных в предыдущем цикле команд;
- формирование признаков реконфигурации алгоритмов;
- отключение микропроцессорного устройства в аварийной ситуации.

Структурная схема устройства для обнаружения сбоев цифровой системы представлена на рис. 1.

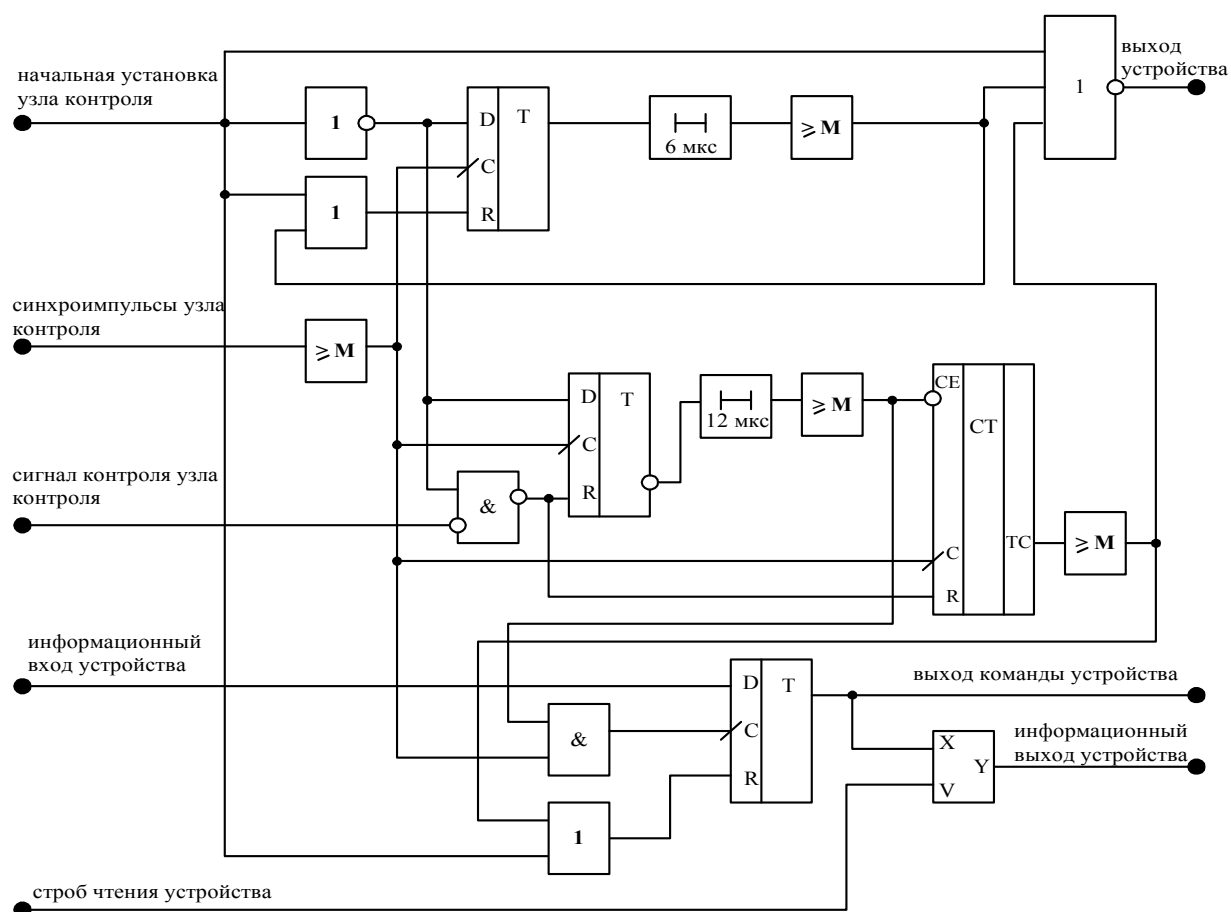


Рис. 1. Структурная схема устройства для обнаружения сбоев цифровой системы

Данное устройство для обнаружения сбоев цифровой системы, имеющее положительное решение о выдаче Патента Украины по заявке № 20040604869 от 21.06.2004, позволяет повысить отказоустойчивость цифровой системы за счет предотвращения распространения последствий сбоя на продолжение выполнения системой своих функций и парирования действия константных отказов.

Заключение

Анализируя результаты работы отказоустойчивой САУ ГТД, следует отметить, что система управления, построенная с применением системного подхода к обеспечению активной отказоустойчивости, несколько уступая мажоритарной схеме по временным параметрам, имеет наилучшие результаты по массогабаритным характеристикам, энергопотреблению, стоимости.

Указанные преимущества свидетельствуют о целесообразности использования систем управления со свойством активной отказоустойчивости при проектировании систем автоматического управления динамическими объектами.

Это подтверждено результатами разработки САУ ГТД, в результате которой создано устройство для обнаружения сбоев цифровой системы, позволившее расширить область применения системного подхода для обеспечения активной отказоустойчивости.

Для отработки алгоритмов и программного обеспечения был создан полунатурный стенд, включающий в себя реальный цифровой регулятор и математическую модель ГТД на ПЭВМ. Стенд позволяет имитировать отказы в системе и наблюдать реакцию на них.

Эффективность предложенных мероприятий в рамках системного подхода к обеспечению активной отказоустойчивости САУ подтверждена результатами натурных испытаний в составе двигателя на испытательном стенде.

Структура отказоустойчивой системы автоматического управления газотурбинного двигателя и выбранные инструментальные средства ее реализации обеспечивают достаточный уровень отказоустойчивости и, следовательно, могут быть использованы для всего класса динамических объектов.

Литература

1. Кулик А.С. Отказоустойчивое управление: состояние и перспективы // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2004. – Вип. 15. – С. 18-31.
2. Гришин Ю.П., Казаринов Ю.М. Динамические системы, устойчивые к отказам. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с.
3. Кулик А.С. Сигнально-параметрическое диагностирование систем управления. – Х.: Гос. аэрокосмический ун-т "ХАИ"; Бизнес информ, 2000. – 260 с.
4. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей / С.В. Епифанов, Б.И. Кузнецов, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, В.А. Дюков, С.А. Кузьменко, Н.А. Рюмшин, А.А. Самецкий. – К.: Техника, 1998. – 312 с.
5. Бесекерский В.А., Изранцев В.В. Системы автоматического управления с микроЭВМ. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
6. Авраменко А.Ф., Борушко Ю.М., Вартанян В.М. Цифровые системы автоматического управления самолетов. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1989. – 79 с.
7. Жуков М.В., Карибский В.В. Выбор методов и средств диагностирования и восстановления с учетом экономической целесообразности // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. – 2001. – № 3. – С. 54-62.

Поступила в редакцию 23.05.2007

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