

УДК 621.43.001.572

Г.С. РАНЧЕНКО¹, И.Ф. КРАВЧЕНКО², С.В. ЕПИФАНОВ³, В.А. СЕДРИСТЫЙ²

¹ОАО «Элемент», Одесса, Украина

²ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина

³Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД ПРИ СОЗДАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ И УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ГТД

Сформулированы основные задачи создания электронных устройств контроля и управления с высокой степенью интеллектуализации, с функцией анализа изменения параметров, приобретающих особое значение в связи с переходом к эксплуатации ГТД по техническому состоянию. Освещен опыт решения этих задач на базе взаимодействия ЗМКБ «Прогресс», ХАИ и ОАО «Элемент».

надежность, эксплуатация по техническому состоянию, математическое моделирование, база данных, интеллектуальные устройства, встроенная система контроля, трендовый анализ

Введение

Одной из научно-технических проблем авиадвигателестроения стран СНГ является внедрение новой методологии управления ресурсом ГТД, предусматривающей переход от эксплуатации с фиксированным ресурсом двигателя в целом к эксплуатации «по техническому состоянию или с контролем технического состояния парка» (при этом фиксированным остается только ресурс основных деталей, разрушение которых может привести к опасным последствиям). В программной статье ЦИАМ [1] эта задача выделена как важнейшая и актуальная; отмечено, что на сегодняшний день практика эксплуатации двигателей магистральных самолетов по техническому состоянию типична для развитых стран.

Указанный переход невозможен без обеспечения самодиагностики и прогнозирования технического состояния агрегатов на основе интеграции в состав двигателя электронных устройств контроля и управления с высокой степенью интеллектуализации.

Формулирование проблемы.

При создании электронных устройств контроля и управления для работы в составе двигателя, выполняющих наряду с оперативным контролем парамет-

ров и управлением также и функции оценки и прогнозирования состояния агрегатов и систем (трендового анализа), необходимо обеспечить:

- использование максимально адекватной математической модели (ММ) объекта контроля и управления, отражающей изменение характеристик объекта в процессе эксплуатации;
- разработку алгоритмов управления и контроля состояния объекта, наиболее точно соответствующих принятой ММ объекта и решаемым задачам оперативного управления и прогнозирования состояния;
- разработку электронных устройств контроля и управления, представляющих собой аппаратно-программную реализацию заданных алгоритмов и обеспечивающих заданный уровень надежности (в том числе метрологическую) в жестких условиях эксплуатации;
- разработку и изготовление испытательных стендов, имитирующих режимы работы объекта и позволяющих выполнить синтез алгоритмов, провести предварительную проверку и отладку созданных средств контроля и управления.

Цель настоящей работы – обобщение опыта по реализации комплексного подхода к решению сформулированной проблемы.

Решение проблемы

Решение перечисленных задач, возникающих при создании устройств контроля и управления с высокой степенью интеллектуализации, способных выполнять самодиагностику и самокоррекцию в ходе работы, а также анализировать результаты контроля параметров агрегатов двигателя и формировать прогноз состояния, требует комплексного подхода с привлечением профессионалов весьма высокого класса, специализирующихся в различных на-

учно-технических областях, что не всегда возможно в рамках одного предприятия. Опыт сотрудничества наших предприятий – ГП «Ивченко-Прогресс», ОАО «Элемент» и Национального аэрокосмического университета (ХАИ) – демонстрирует целесообразность объединения усилий в этой сфере.

Обобщенная структура цикла создания электронных устройств контроля и управления для комплектации ГТД с указанием основного исполнителя на каждом этапе разработки и реализации проекта приведена на рис. 1.

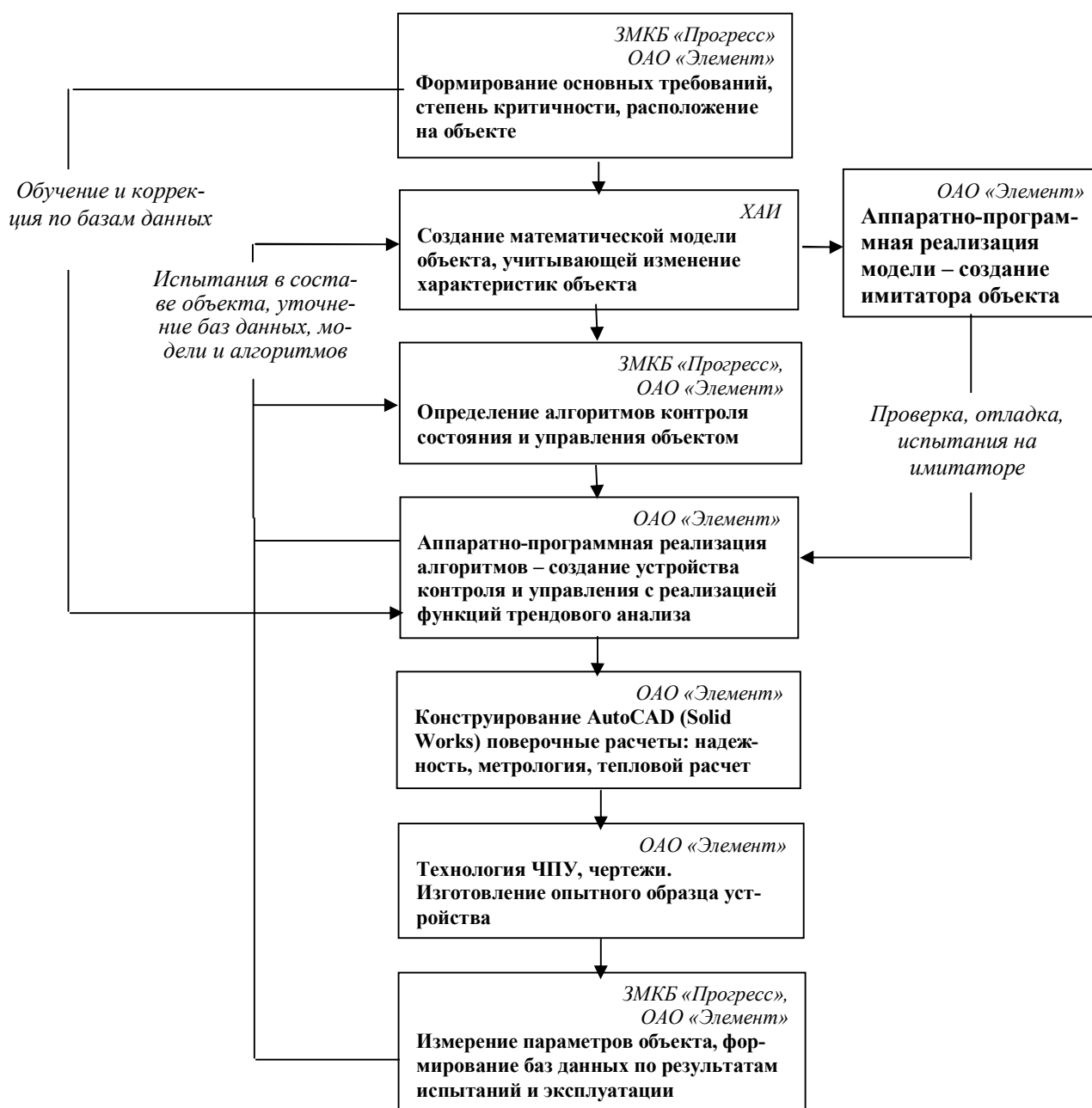


Рис. 1. Обобщенная структура цикла создания электронных устройств контроля и управления

На начальной стадии цикла создания электронных устройств разработчик объекта контроля и управления (двигателя) (ГП «Ивченко-Прогресс») формирует основные требования по назначению устройств, определяет степень критичности их функций, расположение на объекте с учетом общей концепции построения САУ двигателя [2]. По этим данным осуществляется дальнейшая детализация требований, например, в части устойчивости к внешним механическим воздействиям и температурным режимам, определяется необходимая степень интеграции и резервирования.

Предварительные данные о режимах работы двигателя служат основой для разработки ММ объекта, которую выполняет ХАИ [3]. Наличие такой ММ позволяет выработать алгоритмы контроля и управления.

В основу используемых на различных этапах создания САУ ММ [3] положены характеристики узлов, представляемые разработчиком двигателя, которые используются им при определении статических характеристик. ХАИ, дополняя эти характеристики необходимыми данными об инерционных факторах двигателя, формирует поузловую динамическую модель на основе решения уравнений совместной работы узлов, а, дополняя эти уравнения уравнениями динамики измерительных и исполнительных устройств – динамическую модель объекта управления, к которому в данном случае относится вся «аналоговая» часть САУ. Для характерных режимов рассчитываются также коэффициенты линейной динамической модели, которая представляется в форме пространства состояний или передаточных функций. Интерполяция или аппроксимация зависимости этих коэффициентов от режима работы, полетных и климатических условий позволяет сформировать многорежимную быстросчетную модель, обеспечивающую работу имитатора объекта в реальном времени.

Важной положительной особенностью используемых моделей является то, что в состав влияющих

факторов включены случайные воздействия, представляющие разброс характеристик узлов в исходном состоянии после изготовления, влияние износа и дефектов. Использование таких стохастических моделей при синтезе САУ позволяет обеспечить необходимое качество управления не только при номинальных, но и при всех возможных в эксплуатации статических и динамических параметрах объекта.

На начальном этапе разработки при формировании включаемых в ТЗ на САУ программ управления ГП «Ивченко-Прогресс» совместно с ХАИ выполняет проверку реализуемости этого ТЗ и оценку ожидаемых динамических свойств двигателя. Для этого описанная выше поузловая динамическая ММ двигателя, дополненная моделями измерительных и исполнительных устройств, замыкается условиями, соответствующими модели «идеального регулятора».

Данный регулятор формируется на основе изложенных в ТЗ контуров управления, связанных между собой условиями селекции активного управляющего воздействия. Идеальные свойства такого регулятора проявляются в том, что его контуры являются безынерционными, то есть каждый из них формирует такое значение управляющего воздействия, какое необходимо для точного выполнения соответствующей этому контуру программы управления.

Кроме того, ММ служит базой для создания стенда-имитатора объекта, а в последующем выполняется согласование исходной ММ с данными натурных испытаний ГТД, полученными как на установившихся, так и на переходных режимах. Это обеспечивает получение ММ, описывающей широкий диапазон условий и режимов работы двигателя с достаточной точностью. Также ММ может использоваться в алгоритмах решения обратных задач, когда по измеренным параметрам двигателя требуется уточнить характеристики узлов и агрегатов.

Следующий этап – аппаратно-программная реализация алгоритмов в разрабатываемом устройстве и ММ объекта в стенде-имитаторе – выполняется

ОАО «Элемент». На этом этапе необходимо сначала определить структуру, элементную базу и конструктивное исполнение разрабатываемого устройства, провести предварительную расчетную оценку его метрологических и надежностных характеристик, тепловых режимов и воздействия различного рода помех, отказов и других возмущений.

По результатам конструкторско-технологической проработки в программах AutoCAD либо Solid Works выпускается комплект чертежей для производства, либо разработка технологии с прямым обращением к станкам ЧПУ (без выпуска чертежей) и изготавливается первый образец устройства, характеристики которого исследуются на стенде-имитаторе двигателя.

После проверки и отладки на стенде-имитаторе ОАО «Элемент» совместно с ГП «Ивченко-Прогресс» проводит испытания образца в составе объекта на двигательном стенде. Это позволяет получить уточненные данные об электронном устройстве (в том числе о законах распределения погрешностей измерительных каналов) и об объекте, что, в свою очередь, служит основой для совершенствования ранее принятой ММ объекта и для доработки устройства.

Следует отметить, что на начальной стадии работы в стенде-имитаторе реализуется типовая модель ГТД, а этап стендовых испытаний позволяет уточнить ее параметры применительно к конкретному экземпляру двигателя, то есть выполнить ее идентификацию. Полученная таким образом индивидуализированная ММ двигателя и его агрегатов является базовой для оценки технического состояния и изменения ресурса, то есть превращается в диагностическую модель.

Приведенная структура взаимодействия и разделения работ обеспечивает максимально эффективное использование научно-технического потенциала предприятий-участников при решении специфических задач на каждом из кратко очерченных выше

этапов выполнения проекта.

Характерным примером рассматриваемого комплексного подхода к разработке электронных устройств может служить опыт создания таких изделий, как блок регулирования температуры (БРТ) для двигателя АИ-25 ТЛШ и регулятор двигателя цифровой (РДЦ-450) для двигателя АИ-450.

Изделие БРТ разработано для обеспечения замены морально устаревшего РТ-12-9 серии 2. В ряду разрабатываемых ОАО «Элемент» электронных устройств это изделие может считаться относительно несложным по своей структуре и набору контролируемых параметров, но оно выполняет ответственную функцию ограничения температуры выходящих газов на установившихся и переходных режимах и формирования команды выключения двигателя при достижении максимально допустимой температуры, поэтому требования к полноте и адекватности реализуемых алгоритмов, стабильности метрологических характеристик и отказоустойчивости достаточно высоки.

Ход выполнения разработки БРТ наглядно продемонстрировал, насколько сокращает сроки «доводки» опытного образца предварительное изучение объекта и предшествующее аппаратному макетированию создание ММ разрабатываемого устройства. Подробно данная разработка описана в представленной в работе [4].

Второе названное выше изделие – РДЦ-450 – пример сложного многофункционального регулятора, выполняющего измерение более полутора десятка параметров двигателя, анализ состояния, выдачу сигналов, управляющих режимом работы двигателя в соответствии с заданным набором алгоритмов. При создании РДЦ-450 в полной мере проявилась необходимость рассматриваемого комплексного подхода с активным участием всех трех сторон. Была выполнена идентификация ММ двигателя АИ-450, по результатам которой разработан и изготовлен стенд-имитатор режимов работы двигателя

СИ АИ-450 (рис. 2). Первые изготовленные образцы блока РДЦ-450 прошли испытания на стенде-имитаторе и в составе двигателя, что позволило уточнить модели и алгоритмы. В настоящее время проведена корректировка конструкторской документации, обеспечившая, в частности, оптимизацию работы встроенной системы контроля по управлению автоматической реконфигурацией структуры блока, позволяющей обеспечить выполнение функций по обеспечению безопасности полета при возникновении локальных отказов (частично решения по реконфигурации освещены в работе [5]).

Кроме того, в рамках создания блока РДЦ-450 проработан вопрос обеспечения трендового контроля состояния агрегатов двигателя [6].



Рис.2. Общий вид стенда-имитатора АИ-450

Заключение

1. Комплексный подход к разработке электронных устройств контроля и управления с высокой степенью интеллектуализации, предназначенных для работы в составе ГТД, предусматривающий сотрудничество ГП ЗМКБ «Прогресс», ОАО «Элемент» и ХАИ обеспечивает:

- максимально эффективное использование научно-технического потенциала предприятий;
- сокращение сроков разработки и повышение качества разработки в результате использования наиболее передовых наукоемких решений, углуб-

ляющих понимание физической природы регулируемых процессов и обеспечивающих совершенствование методов самодиагностики и прогнозирования состояния;

- решение поставленной задачи перехода и эксплуатации ГТД по техническому состоянию.

Литература

1. Скибин В.А., Солонин В.И. Сосунов В.А. Новый век – с новыми идеями и целями // Сб. ЦИАМ «Научный вклад в создание авиационных двигателей». Кн. 1. – М.: Машиностроение, 2000. – М.: ЦИАМ. – 725 с.
2. Муравченко О.Ф., Седристый В.А., Багаутдинов Н.Д. Перспективы развития САУ газотурбинных двигателей семейства АИ-336 с вариантами последовательного наращивания функций управления, контроля и диагностики // Авиационно-космическая техника и технология. – 2001. – №26. – С.215
3. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей / С.В. Елифанов, Кузнецов Б.И. и др. – К.: Техника, 1998. – 312 с
4. Грудинкин В.М., Миргород В.Ф. Имитационное моделирование и управление температурным режимом ГТД АИ-25 ТЛШ // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 9 (25). – С. 211 – 215.
5. Буряченко А.Г., Грудинкин В.М. Технические и алгоритмические средства повышения метрологического уровня и надежности датчиков и систем измерения давления // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 8 (24). – С. 195 – 199.
6. Миргород В.Ф., Ранченко Г.С. Сравнительный анализ эффективности критериев тренда в задачах диагностики ГТД // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 8 (24). – С. 190 – 194.

Поступила в редакцию 29.04.2005

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