

БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Г.Г. Куликов, д-р техн. наук, П.С. Котенко, канд. техн. наук,

В.С. Фатилов, канд. техн. наук, В.Ю. Арьков, д-р техн. наук,

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия,

В.П. Ищук, Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова, г. Киев, Украина

Рассматривается проблема проектирования базы данных для создания и развития информационных технологий контроля, управления и диагностики силовых установок. Обоснованы основные требования и принцип построения базы данных. Предложен способ применения указанной базы данных при создании интеллектуальных информационных технологий разработки и эксплуатации силовых установок в процессе их жизненного цикла.

Введение. В последнее время в области отечественного и зарубежного авиастроения происходит интенсивное внедрение электронных компонентов в механические системы. Широкое использование электроники открывает новые возможности для оптимального управления, контроля состояния, диагностики отказов и прогнозирования технического состояния.

Следует отметить, что рынок электронных компонентов насыщается сравнительно дешевыми микропроцессорами с превосходными параметрами по быстродействию, потреблению энергии, надежности, габаритам и массе. Такие микропроцессоры могут быть интегрированы с коммутаторами, аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) или многоканальными АЦП, портами обмена данными с внешними системами и цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП).

Кроме того, электронные компоненты придают механической системе новые качества в сфере технического обслуживания. В авиационных двигателях электро-механика и электроника появилась вначале в виде простых регуляторов отдельных каналов или регулирования комплекса параметров. Дальнейшее совершенствование элементной базы привело к появлению электронных

систем управления и диагностики двигателя с полной ответственностью Full Authority Digital Engine Control (FADEC), а также систем автоматического управления силовой установкой (САУСУ) и интегрированных систем управления полетом и двигателем (ИСУПД).

С наращиванием вычислительных возможностей компьютеров интересы разработчиков подобных систем переместились в область создания эффективного программно-математического обеспечения. Применение бортовых вычислительных систем открыло возможности для автоматического накопления больших объемов оцифрованных данных в полете и на земле. Поэтому становятся актуальными статистические методы, в том числе методы обработки информации на основе марковских моделей и карт статистической обработки информации при многократных измерениях.

При реализации статистических методов повышается не только точность измеряемых параметров бортовыми датчиками, но и достоверность выходной информации. Важным при этом является и путь следования входной и выходной информации, поступающей для обработки в вычислительные системы контроля, управления и диагностики СУ и выходящей из них в другие системы.

Необходимо учесть, что число параметров, измеряемых датчиками и поступающих от бортового радиоэлектронного оборудования, весьма ограничено, что недостаточно для локализации отказавшего конструктивно-съемного блока (КСБ). Поэтому требуется создание элементов экспертной системы в виде алгоритмов, дополняющих основные задачи контроля, управления и диагностики и реализуемых в САУСУ.

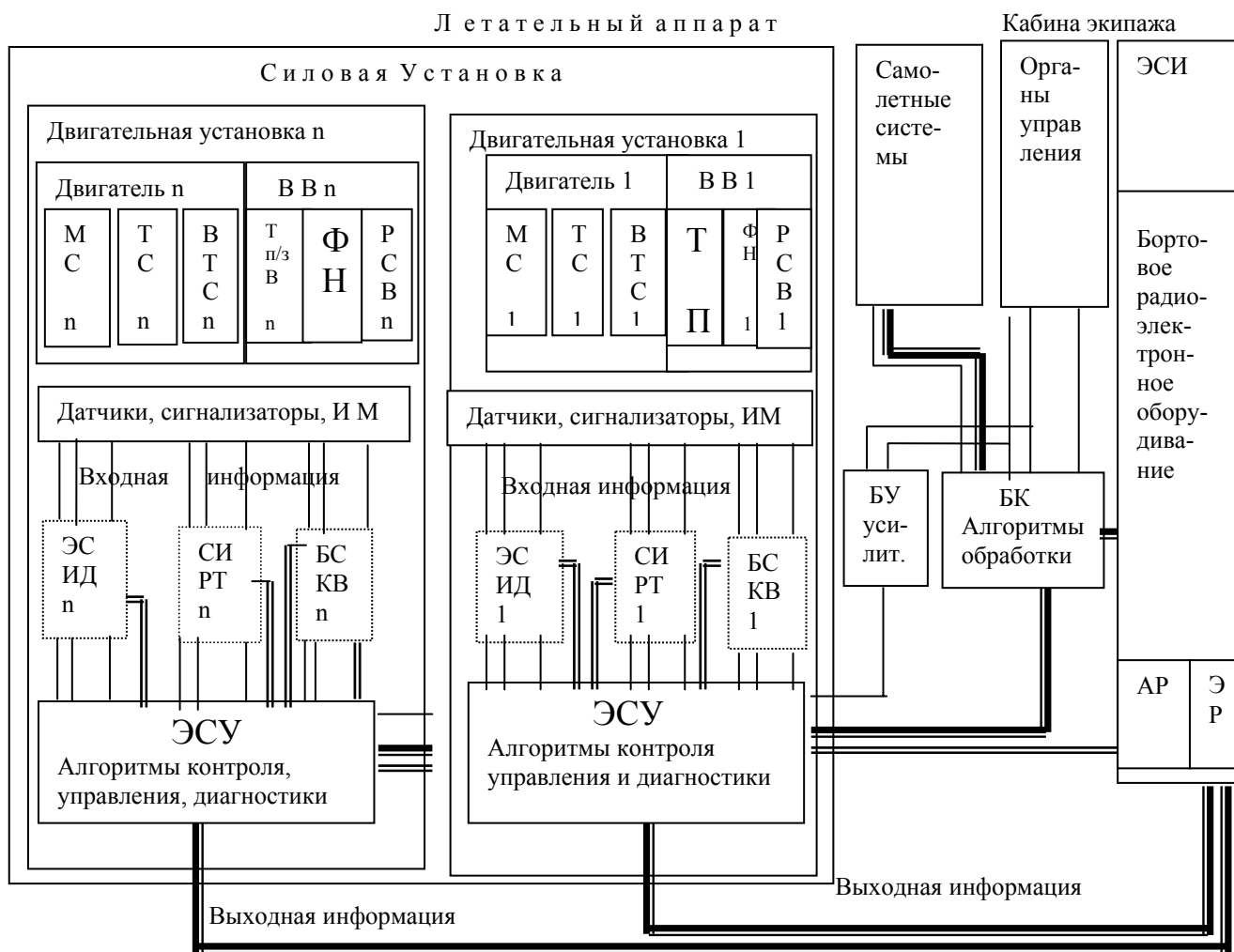


Рис. 1. Декомпозиция силовой установки как объекта контроля при построения базы данных:

ВВ – винтовентилятор;
 МС – масляная система;
 ВТС – воздушный турбостартер;
 ФН – флюгер-насос;
 ЭСИД – электронная система измерения давлений;
 БСКВ – бортовая система контроля вибраций;
 БК – блок комплексирования;
 АР – аварийный регистратор;
 n – количество двигательных установок, винтовентиляторов, двигателей и их систем

ЭСИ – экранная система индикации;
 ТС – топливная система;
 ТП/ЗВ – тормоз переднего винта, тормоз заднего винта;
 РСВ – регулятор соосного винта;
 СИРТ – система измерения расхода топлива;
 БУ – блок усилителей;
 ЭСУ – электронная система управления;
 ЭР – эксплуатационный регистратор;

Для реализации вышеперечисленных функций необходимо формализованное описание объекта контроля и диагностики. В качестве такого описания может выступить база данных (БД) по силовой установке, построенная по определенным правилам. Основой для создания такой базы данных может служить следующая информация:

- технические задания на разработку электронных систем;
- конструкторская документация на двигатели;

- конструкторская документация на системы управления двигателями;
- опыт эксплуатации систем управления на различных летательных аппаратах.

Основные требования и принцип построения базы данных. При создании базы данных по авиационным двигателям важно выполнить ряд требований, чтобы облегчить разработку программно-математического обеспечения (ПМО) задач управления, контроля и диагностики технического состояния авиадвигателей. Кроме того, не-

обходимо обеспечить возможность развития систем и решения новых задач по мере накопления опыта эксплуатации или при появлении дополнительных датчиков в системе контроля технического состояния.

Рассмотрим основные требования к базе данных.

База данных должна обладать определенным уровнем *универсальности*, то есть обеспечить возможность описания различных двигателей и силовых установок летательных аппаратов. В этом случае появляются предпосылки к созданию типовых решений и технологий, ориентированных на тиражирование в данной предметной области.

В создаваемой базе данных целесообразно выполнить *декомпозицию* представления силовой установки путем ее деления на составные части вплоть до конструктивно-сменных блоков конструкции:

$$\begin{aligned} \text{СУ} &= \text{БК} + \text{СЗСУ} + n (\text{ДУ} + \text{ЭСУ}) = \\ &= \text{БК} + n (\text{ЭСУ} + \text{СЗДУ} + \text{ВВ} + \\ &+ \text{МСВВ} + \text{Д} + \text{МСД} + \text{ТС}), \end{aligned}$$

где СУ – силовая установка,

БК – блок комплексирования,

СЗСУ – система запуска силовой установки;

n – количество двигательных установок в СУ;

ДУ – двигательная установка, включающая в свой состав собственно двигатель (Д), винтовентилятор (ВВ) и обслуживающие системы (масляная система МСВВ, система флюгирования СФ с флюгер насосом ФН, и др);

ЭСУ – электронная система управления, выполняющая также функцию контроля и диагностики двигательных установок; СЗДУ – система запуска двигательной установки, включающая в свой состав воздушный турбостартер (ВТС) и органы управления запуском;

Д – двигатель;

МС – масляная система двигателя;

ТС – топливная система двигателя.

Каждая из названных систем ДУ может быть расчленена на конструктивные части и в пределе на конструктивно-сменные блоки включая датчики.

Блок комплексирования выполняет функцию связи с автономными электронными и самолетными системами, установленными на борту летательного аппара-

та (ЛА) и с пультами и органами управления, установленными в кабине экипажа. Кроме того, БК выполняет функцию разделения заданной тяги на *n* двигательных установок и управления РУД в режиме автомата тяги, а также обеспечивает управление информационными потоками в рамках мультиплексного канала информационного обмена (МКИО) СУ.

Принцип представления конструкции силовой установки в базе данных заключается в организации информации по контролируемым узлам, агрегатам и системам, а также КСБ, не охваченным системой контроля СУ. В результате специалисты, использующие базу данных при разработке ПМО контроля и диагностики, получают возможность обеспечить определение отказов с глубиной до КСБ.

Реализация рассмотренной структуры базы данных может быть выполнена средствами реляционных систем управления базами данных (СУБД) либо на базе современных электронных таблиц.

На этапе эскизного проектирования предлагаемую базу данных можно реализовать в виде таблицы Excel, которая бы по строкам слева направо представляла собой входные данные, алгоритмы обработки и выходную информацию.

Далее, такая таблица может быть разбита на четыре колонки. Первая колонка представляет систему членения вложенных друг в друга установок, систем, агрегатов и КСБ, как показано на рис. 1, вторая – входные параметры и сигналы в системе членения. Третья – порядок обработки информации, четвертая – выходную информацию (параметры, признаки, слова - состояния в принятой системой кодирования и расшифровки) в той же системе членения, с адресацией, куда поступает информация.

Количество строк для каждого агрегата, узла, устройства, системы и в конечном итоге КСБ должно быть достаточно для полного представления входной информации алгоритмов выполняемых функций и выходной информации.

Входная информация базы данных представляет собой аналоговые и дискретные сигналы, поступающие из следующих источников:

- от датчиков и сигнализаторов, принадлежащих силовой установке;
- от электронных бортовых систем;
- от датчиков и сигнализаторов самолетного оборудования;
- от органов управления, установленных в кабине экипажа;
- от бортового радиоэлектронного оборудования (в цифровом виде).

Обработка входной информации выполняется с учетом заданных значений параметров (полный диапазон измерения, скорость изменения, время существования) в соответствии с алгоритмами контроля и диагностики.

В процессе обработки информации также участвуют так называемые «замещаемые» параметры и признаки, обеспечивающие принцип реконфигурации. К их числу, как правило, относят вычисляемые параметры либо данные резервных систем, имеющие близкий физический смысл.

Выходная информация включает статистически обработанные входные параметры и вычисленные признаки состояния. Указанные признаки состояния характеризуют текущее состояние измерительных каналов (датчики, линии связи и входные преобразователи), систем, агрегатов, исполнительных механизмов и других КСБ.

Выходные параметры могут быть представлены либо в виде слов значений параметров, либо в форме слов состояния, в которых сгруппированы вычисленные признаки. Выходные данные группируются по приведенному на рис. 1 принципу принадлежности к той или иной части силовой установки. В графе «Система — потребитель информации» указывается конкретная система, куда поступают выходные параметры или признаки. В качестве примеров таких систем можно назвать аварийный регистратор, эксплуатационный регистратор, индикатор системы экранной индикации, вычислительную систему управления полетом и тягой двигателей и т. д.

Для каждого крупного агрегата или системы силовой установки резервируются «окна прозрачности»

для последующего заполнения по мере совершенствования алгоритмов, инициирующих появление новых данных или при появлении новых датчиков или сигнализаторов. Слова состояния в базе данных должны сопровождаться расшифровкой с наименованием и обозначением признаков. Важно также, чтобы каждый параметр или расшифрованный признак слов состояния имели свой позиционный номер (шифр), который бы говорил о принадлежности к агрегату, системе, блоку по принятой государственной или международной системе классификации.

Возможен ряд ситуаций, когда число выходных признаков больше, чем количество входных параметров. Однако это не нарушает описанного подхода к формированию таблицы БД. В этом случае часть строк, относящихся к входной информации, остается незаполненной.

Применение базы данных. Основным назначением предлагаемой базы данных является информационная поддержка работы специалистов следующих предприятий (либо подразделений):

- создателей летательных аппаратов и авиадвигателей, формирующих технические задания (ТЗ) на системы управления и диагностики силовых установок. При этом операцию составления технических требований в ТЗ можно выполнять аналогично операции заполнения энергетиками опросных листов при заказе оборудования подстанций;
- создателей электронных систем управления и диагностики силовых установок и авиадвигателей. Использование предлагаемой базы данных упрощает разработку программно-математического обеспечения.

Работы по созданию и заполнению предлагаемой базы данных стимулируют создание экспертных систем для контроля и диагностики силовой установки. В этом случае происходит выявление конструктивно-сменных блоков, не имеющих контролируемых параметров. Состояние таких блоков невозможно определить алгоритмическим методом (в классическом понимании). Таким образом, внимание специалистов обращается и на решение проблемы обеспечения контролепригодности КСБ и силовой установки в целом.

Описанную базу данных можно назвать «исходной», поскольку здесь представлена информация о конструкции объекта контроля и информационных потоках в системе. Характерным признаком такой БД является неопределенность выходных признаков. Для того, чтобы наиболее полно представить состояние и «поведение» параметров и признаков, необходимо дополнить базу данных. Новая «информационная сущность» должна отразить статистику появления и накопления признаков отказов за определенный интервал времени в процессе эксплуатации силовых установок на стендах и летательных аппаратах.

За счет накопления отказов в процессе эксплуатации двигателей «информационная среда» будет непрерывно пополняться, сопровождая жизненный цикл силовой установки. В этой среде появляется возможность регистрации и анализа различных процессов, связанных с эксплуатацией и техническим обслуживанием:

- ухудшения характеристик по причине износа;
- обнаружения и диагностики отказов;
- принятых мер по парированию отказов;
- последствий парирования отказов.

Накопленная статистика отказов будет использоваться для поиска взаимосвязи их с входными параметрами, для разработки новых алгоритмов и экспертных систем, а также для подтверждения качества разработанного программного обеспечения.

Выводы. При создании информационных технологий контроля состояния и диагностики отказов авиационных силовых установок требуется формализовать информацию о конструкции и информационных потоках объекта контроля. Данная задача решается с помощью предложенной базы данных, которая реализуется на основе реляционных СУБД либо с помощью электронных таблиц.

Работа по созданию и заполнению такой базы данных фокусирует внимание специалистов на решение проблемы обеспечения контролепригодности силовой установки в целом и ее конструктивно-сменных блоков.

Описанная база данных по информационным потокам в форме комплексной таблицы составлена совместными усилиями специалистов УНПП «Молния» и УГАТУ. Работа поддержана грантом Европейской Комиссии INTAS-2000-757.

Литература

1. Интеллектуальные информационные технологии контроля и диагностики авиационных двигателей и их систем на протяжении жизненного цикла / В.Ю. Рутковский, Г.Г. Куликов, П.С. Котенко, В.С. Фатиков, В.Ю. Арьков, Г.И. Погорелов // Тр. Ин-та проблем управления РАН.- М.: ИПУ, 2002.-С. 312-320.
2. Котенко П.С. Системы технического обслуживания и автоматизированного контроля летательных аппаратов: Уч. пособие.- Уфа: УГАТУ, 2009.- 132 с.
3. Котенко П.С. Электронный борт самолета АН-70: концепции и перспективы // Мир авионики.- 1998.- № 2.- С. 47-52.
4. Intelligent information technologies for control and diagnostics of gas turbine engines and their systems at all stages of their life cycle / G.G. Kulikov, P.S. Kotenko, V.S. Fatikov, G.I. Pogorelov // Proc. AMETMAS-NOE Int. Workshop on Problems of Technology Transfer, Ufa.- 1999.- P. 121-124.
5. Интеллектуальный контроль состояния авиационных ГТД / Г.Г. Куликов, П.С. Котенко, В.С. Фатиков, В.Ю. Арьков, Г.И. Погорелов // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр.- Харьков: ХАИ, 2002.- Вып. 31. Двигатели и энергоустановки.- 163-167.

Поступила в редакцию 29.06.03

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