

УДК 629.4.001.4

**С.В. ЕПИФАНОВ¹, Б.А. ЩЕРБАНЬ¹, А.В. ТОВСТИК¹,
Н.Д. БАГАУТДИНОВ², Ю.В. ЧЕРКАСОВ²**

¹ *Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

² *ГП «Запорожское машиностроительное конструкторское бюро имени академика А.Г. Ивченко «Прогресс», Украина*

НАЗЕМНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВУХКОНТУРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Наземный автоматизированный комплекс диагностики «Диагностика Д-18Т» разрабатывается специалистами ХАИ и ГП «Ивченко - Прогресс». Он предназначен для оценки технического состояния и накопления статистической информации в ходе эксплуатации двигателей Д-18Т серий 3 и 3М в составе маршевой силовой установки самолетов Ан-124 и Ан-225. В качестве исходных данных используются аналоговые параметры и бинарные сигналы, собранные эксплуатационным регистратором в полете. Оценка технического состояния включает экспресс-анализ, контроль истощения ресурса основных деталей, допусковой контроль и трендовый анализ основных параметров двигателя. База данных комплекса хранит настроечную информацию для реализации алгоритмов и эксплуатационную информацию, содержащую сведения об истории эксплуатации каждого из двигателей, диагностируемых комплексом.

Ключевые слова: наземный комплекс диагностики, база данных, экспресс-анализ, контроль истощения ресурса, допусковой контроль, тренд-анализ.

Введение

Техническая диагностика современных авиационных ГТД развивается по направлению универсализации методов и средств диагностирования, обеспечения высокой эффективности их использования. Основные задачи технической диагностики авиационных ГТД [1]:

- распознавание текущего технического состояния на основании ранее изученного конечного множества возможных состояний двигателя и анализа рабочих процессов в его узлах и системах;
- поиск неисправностей и нарушений эксплуатационных предписаний, возникающих в ходе эксплуатации;
- прогнозирование технического состояния двигателя;
- сбор и хранение результатов анализа диагностической информации.

Реализация этих задач требует создания комплексных систем, предназначенных для сбора, регистрации и анализа полетной информации, как на борту, так и в наземных условиях. Такие системы позволят сократить временные затраты на обслуживание и контроль двигателей, своевременно оценить их техническое состояние и спрогнозировать возможные неисправности, что существенно повысит их эксплуатационную эффективность.

Наземный автоматизированный комплекс диагностики «Диагностика Д-18Т» предназначен для

эксплуатационного сопровождения ТРДД Д-18Т серий 3 и 3М в составе маршевой силовой установки сверхтяжелых транспортных самолетов Ан-124 «Руслан» и Ан-225 «Мрія». Помимо основной задачи – обеспечения авиакомпаний, эксплуатирующих данные модели самолетов и двигателей, эффективным средством эксплуатационного сопровождения – комплекс дает возможность накапливать статистическую информацию о возникающих неисправностях с целью дальнейшей доработки и совершенствования двигателей и систем контроля. Основными задачами комплекса «Диагностика Д-18Т» являются (рис. 1): оценка технического состояния двигателя, хранение истории эксплуатации и обслуживания каждого из двигателей, накопление статистической информации о наработке и техническом состоянии эксплуатируемого парка двигателей.

При создании комплекса «Диагностика Д-18Т» использовался опыт, накопленный при разработке и совершенствовании комплекса «Grade» для технической диагностики ТВаД ТВ3-117ВМА-СБМ-1 в составе маршевой силовой установки регионального самолета Ан-140 и его модификаций [9].

1. Оценка технического состояния

Оценка технического состояния двигателя осуществляется путем обработки аналоговых параметров рабочих процессов и бинарных сигналов, регистрируемых в ходе эксплуатации.



Рис. 1. Структура комплекса «Диагностика Д-18Т»

В состав комплекса входят следующие алгоритмы:

- контроль качества полетной информации;
- контроль истощения ресурса;
- экспресс-анализ (контроль соблюдения эксплуатационных ограничений и верификация сообщений БСКД о неисправностях);
- формирование МНС;
- допусковый контроль;
- тренд-анализ.

Источниками исходной информации являются результаты полетной регистрации параметров, которые считываются с эксплуатационного регистратора программным комплексом «СГИБ» и хранятся в базе данных этого комплекса в виде файлов *.FLY (где «*» - дата совершения полета).

Файлы *.FLY считываются и вводятся в программный комплекс «Диагностика Д-18Т». В них содержится три типа исходных данных:

- аналоговые параметры, отражающие условия полета, рабочие процессы двигателя и его систем (хранятся в двоичном коде и преобразовываются в десятичный при считывании);
- бинарные сигналы о функционировании отдельных устройств и систем двигателя;
- сообщения о неисправностях в работе ГТД в виде бинарных сигналов.

Алгоритмы оценки технического состояния двигателя реализованы на языке программирования С++ и подключены к внешней оболочке комплекса в виде единой DLL-библиотеки.

1.1. Контроль качества входной информации

Контроль качества полетной информации заключается в оценке пригодности файла *.FLY для выполнения последующих процедур диагностирования. Алгоритм состоит из трех этапов (рис. 2):

- выявление ошибок измерения параметров;
- контроль комплектности файла *.FLY;
- оценка пригодности файла *.FLY для дальнейшей обработки.

Ошибки измерений выявляются путем проверки соответствия регистрируемых параметров диапазону измеряемых значений, приведенному в Руководстве по технической эксплуатации (далее – РЭ). Измерения, выходящие за пределы данного диапазона, считаются некондиционными и не используются при дальнейшей обработке.

Контроль комплектности файла *.FLY заключается в проверке наличия в нем участков, соответствующих основным этапам полета: запуск и прогрев двигателя, взлет, набор высоты, горизонтальный полет, снижение, посадка и останов двигателя. С целью разделения полета на этапы строится профиль полета – зависимость высоты полета H от его продолжительности t .

Файл считается пригодным для дальнейшей обработки, если в нем присутствуют участки, соответствующие всем основным этапам полета.

Если какой-либо из участков отсутствует, файл считается ограниченно пригодным.

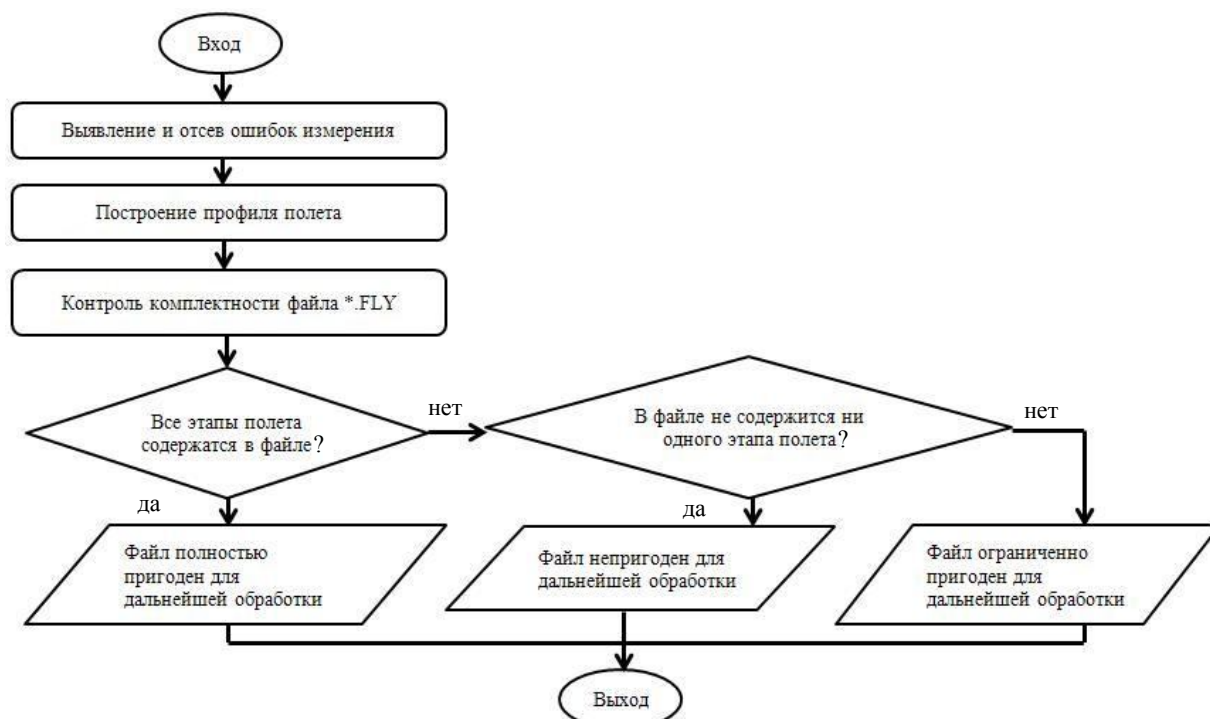


Рис. 2. Контроль качества полетной информации

Если отсутствуют все участки, файл считается непригодным для дальнейшей обработки.

1.2. Контроль истощения ресурса

При контроле истощения ресурса (рис. 3) оценивается выработка и определяется оставшийся назначенный ресурс основных деталей двигателя (ОДД). При этом учитываются реальные условия их работы на основании результатов синхронного мониторинга температурного и напряженного состояния как на установившихся, так и на переходных режимах полета. Для каждой из ОДД выполняются следующие расчеты [2]:

- стационарного теплового состояния;
- стационарного напряженного состояния;
- нестационарного теплового состояния;
- температурных напряжений на неустановившихся режимах;
- эквивалентных упругих и упруго-пластических напряжений.

На основании полученных данных и модели накопленных повреждений оцениваются повреждения от малоциклового усталости ОДД.

Выходными данными являются остаточный ресурс каждой из ОДД после каждого совершенного полета:

$$\tau_{\text{остат } k} = \tau_{\text{назн}} - \sum_{i=1}^k \tau_{\text{выраб } i}, \quad (1)$$

где $\tau_{\text{остат } k}$ – остаточный ресурс после совершения k полетов;

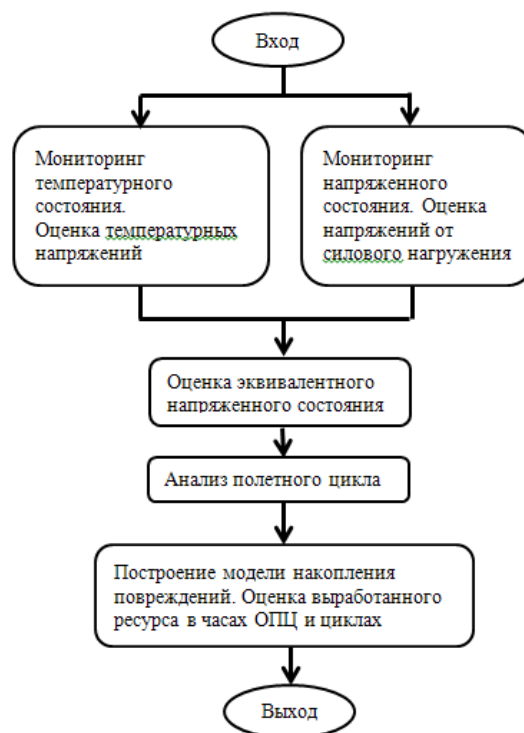


Рис. 3. Контроль истощения ресурса

$\tau_{\text{назн}}$ – назначенный ресурс ОДД;

$\tau_{\text{выраб}}$ – ресурс, выработанный в i -том полете.

1.3. Экспресс-анализ

Экспресс-анализ заключается в параметрическом контроле соблюдения эксплуатационных ограничений и верификации сообщений, сформирован-

ных БСКД. Контроль соблюдения эксплуатационных ограничений заключается в последовательном параметрическом анализе основных этапов полета и решении трех видов задач:

- оценка соответствия измеренных параметров значениям, указанным в РЭ или содержащимся в формуляре двигателя (контроль параметров);
- оценка соответствия длительности переходных процессов (времен раскрутки роторов, времени прогрева на разных режимах, выбега роторов, продолжительности непрерывной работы на ЗМГ или взлетном режимах) значениям, указанным в РЭ (контроль времени);
- проверка своевременности включения и выключения отдельных устройств двигателя, таких, как автоматическое отключение ВТС, закрытие и открытие КПВ КВД и КСД (контроль функционирования).

Верификация сообщений БСКД заключается в параметрической проверке каждого сообщения в момент его регистрации. Сигналы о неисправностях делятся на 11 групп, отражающих состояние:

- двигателя в целом;
- функционирования ЭСУ;
- топливной системы;
- системы смазки и суфлирования двигателя;
- системы охлаждения турбин;
- соблюдения эксплуатационных ограничений;
- параметров проточной части двигателя;
- показателей вибрации;
- механизации компрессора;
- системы реверса тяги;
- процессов запуска и останова двигателя.

Для сигналов, проверка которых возможна параметрическим путем, выполняется алгоритм верификации (рис. 4), на основании результатов которого сигнал подтверждается или опровергается. После выполнения алгоритма формируется заключение о соблюдении эксплуатационных ограничений и корректности работы двигателя и его систем в совершенном полете.

1.4. Формирование МНС

Формирование модели нормального состояния необходимо для расчета индивидуальных поправок для серийной модели нормального состояния с целью учета индивидуальных особенностей каждого двигателя. Рабочий процесс ГТД описывается моделью нормального состояния, которая представляет зависимость параметров рабочего процесса от режима работы двигателя и условий полета.

Индивидуальная модель нормального состояния состоит из серийной модели и индивидуальной поправки [3]:

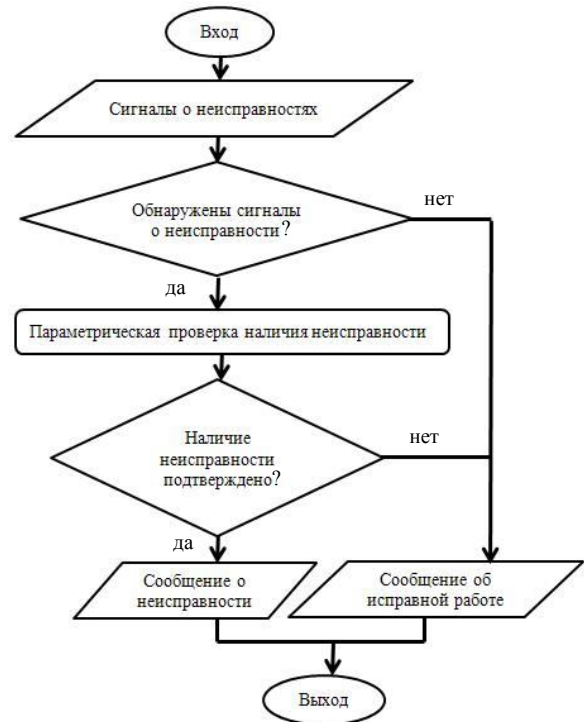


Рис. 4. Верификация сообщения БСКД

$$Y_{\text{инд}} = Y_{\text{сер}} + \Delta Y_{\text{инд}} \quad (2)$$

Индивидуальные поправки определяются на начальном этапе эксплуатации, когда двигатель считается исправным. В процессе эксплуатации индивидуальная поправка может уточняться после ремонтов и других эксплуатационных воздействий, влияющих на значения контролируемых параметров. Серийная модель описывает базовые зависимости данной серии во всем диапазоне режимов и климатических условий эксплуатации:

$$Y_{\text{сер}} = f(\pi_{\text{КС}}^*, p_{\text{НВ}}, t_{\text{НВ}}, M_{\text{П}}, G_{\text{Отб}}) \quad (3)$$

Отклонение индивидуальных характеристик каждого двигателя от серийной нормы учитывается с помощью индивидуальной поправки:

$$\Delta Y_{\text{инд}} = f(\pi_{\text{КС}}^*, p_{\text{НВ}}, t_{\text{НВ}}, M_{\text{П}}, G_{\text{Отб}}) \quad (4)$$

Поправки к серийной модели сохраняются в базе данных комплекса.

1.5. Допусковый контроль

Допусковый контроль параметров ГТД является основным средством определения технического состояния двигателя по результатам эксплуатационной регистрации параметров. Достоверность допускового контроля определяет уровень достоверности диагностической системы в целом. Методика (рис. 5) заключается в оценивании нахождения параметров (или их отклонений) в диапазоне, который



Рис. 5. Допусковый контроль

соответствует исправному состоянию двигателя, на двух контрольных участках: этапах взлета и горизонтального полета.

Процедуре контроля предшествует предварительная обработка данных. Выборка проходит процедуру фильтрации с целью исключения ошибок измерения. Параметры приводятся к стандартным атмосферным условиям (САУ) [4]:

$$Y_{\text{пр}} = Y_{\text{изм}} k_{\text{пр}} k_{\text{рнв}} k_{\text{Тнв}} k_{\text{Мп}} k_{\text{G}}, \quad (5)$$

где $Y_{\text{пр}}$ – приведенное значение параметра;

$Y_{\text{изм}}$ – измеренное значение параметра;

$k_{\text{пр}}$ – стандартный коэффициент приведения;

$k_{\text{рнв}}$, $k_{\text{Тнв}}$ – коррекция приведения к САУ по давлению и температуре наружного воздуха;

$k_{\text{Мп}}$, k_{G} – коррекция приведения к САУ по числу Маха и отбору воздуха.

Для каждого приведенного измерения $Y_{\text{пр}}$ определяется его отклонение от эталонного значения, рассчитанного с помощью модели нормального состояния:

$$Y_{\text{норм}} = f\left(\pi_{\text{КС}}, P_{\text{нв}}, t_{\text{нв}}, M_{\text{п}}, G_{\text{отб}}\right), \quad (6)$$

$$\Delta Y = Y_{\text{пр}} - Y_{\text{норм}}.$$

Среднее отклонение на контрольном участке сравнивается с диапазоном значений, соответствующих исправному состоянию:

$$\Delta Y_{\text{мин}} \leq \Delta Y_{\text{ср}} \leq \Delta Y_{\text{макс}}, \quad (7)$$

где $\Delta Y_{\text{мин}}$, $\Delta Y_{\text{макс}}$ – минимальное и максимальное отклонения, соответствующие исправному состоянию.

Полученные значения отклонений заносятся в базу данных для последующего использования в алгоритме трендового анализа основных параметров двигателя.

1.6. Тренд-анализ

Тренд-анализ оценивает вероятность возникновения тенденций отклонений параметров от значений, соответствующих исправному состоянию. При выявлении трендов выполняется прогнозирование технического состояния с целью оценки возможного возникновения неисправностей на заданном временном интервале. Тренд-анализ состоит из трех основных этапов (рис. 6):

- расчет критерия тренда;
- проверка гипотезы о наличии или отсутствии тенденции отклонения параметров от нормы;
- оценка вероятности возникновения неисправности на заданном количестве полетных циклов (в случае выявления тренда).

Для поиска тренда используется параметрический интегральный S-критерий [3, 5], проверяющий расхождение между текущим измерением Y_i и текущим математическим ожиданием измерения $MO(Y)$:

$$S_i = \sum_{i=1}^N (Y_i - MO(Y)_i), \quad (6)$$

$$MO(Y)_i = \frac{1}{i} \sum_{k=1}^i Y_k.$$

где N – размер исследуемой выборки параметров (или их отклонений).

На каждом i -том шаге полученное значение интегрального S-критерия сравнивается с минимальным и максимальным пороговым уровнями:

$$S_{\text{мини}} \leq S_i \leq S_{\text{макс}},$$

$$S_{\text{макс}} = \pm K_{\alpha} \sigma_Y \sqrt{\sum_{k=1}^i \left(1 - \sum_{j=1}^{i-k+1} \frac{1}{i-j+1} \right)}, \quad (7)$$

где K_{α} – коэффициент вероятности ошибки, соответствующий вероятности ложного срабатывания $\varepsilon = 5\%$;

σ_Y – среднеквадратическое отклонение параметра Y , которое задается в настройках алгоритма.

В случае выхода критерия за пороговый уровень программа сообщает об обнаружении тренда данного параметра и прогнозирует техническое состояние двигателя. Если тренд параметра не обнаружен, программа делает заключение об исправности двигателя, и процедура прогнозирования тех-

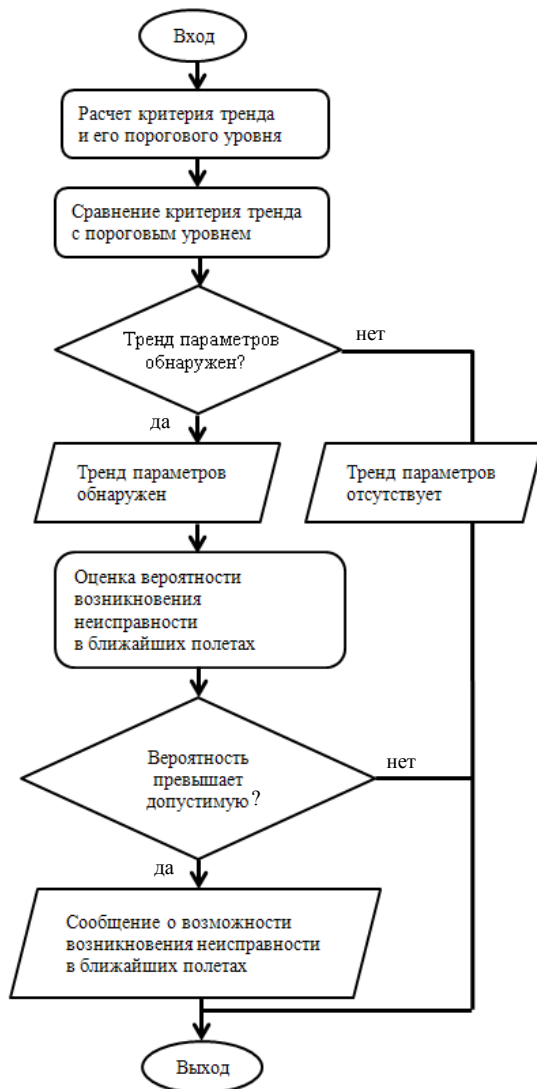


Рис. 6. Трендовый анализ

нического состояния не выполняется. В случае обнаружения тренда любого из контролируемых параметров оценивается вероятность неисправности на заданном интервале прогнозирования [6].

Результатом реализации алгоритма тренд-анализа является подтверждение или опровержение наличия тренда контролируемого параметра за выбранный промежуток времени эксплуатации. В случае выявления тренда программа определяет вероятность возникновения неисправности на заданном интервале времени. При отсутствии тренда программа формирует заключение об исправном состоянии двигателя.

2. Эксплуатационная информация

Эксплуатационная информация, собираемая и хранящаяся комплексом «Диагностика Д-18Т» состоит из электронного паспорта двигателя и базы данных

статистической информации. Структура электронного паспорта двигателя:

- данные испытаний, содержащие формулярные значения ряда параметров рабочего процесса (для того, чтобы впоследствии их можно было использовать для диагностирования);
- перечень комплектующих изделий и изменений в комплектации двигателя;
- информация о неисправностях и выполнении регламентных или ремонтных работ на данном двигателе.

База данных статистической информации включает:

- перечень неисправностей и нарушений эксплуатационных ограничений, выявленных в ходе эксплуатации двигателя;
- значения параметров, зафиксированных на контролируемых участках в каждом совершенном полете (сведения необходимы для выполнения алгоритмов допускового контроля и трендового анализа основных параметров двигателя);
- исчерпание ресурса основными деталями двигателя в каждом совершенном полете и за все время эксплуатации.

3. Структура баз данных комплекса и графические компоненты программы

База данных (далее – БД) комплекса «Диагностика Д-18Т» (рис. 7) является одной из его наиболее важных составляющих, хранилищем всей информации о жизненном цикле двигателя. В качестве БД используется формат широко распространенной реляционной СУБД Microsoft Access 2000. Для доступа к данным применяется стандартный набор интерфейсов OLE DB 4.0. Такой набор компонентов обеспечивает простоту построения и возможность модифицирования реляционной модели данных, создания и редактирования связанных таблиц, отслеживания ссылочной целостности данных, а также легкий переход к клиент-серверной архитектуре.

Информация, предназначенная для обработки и хранения, условно делится на две группы: настроечная и эксплуатационная. К настроечной информации относится информация, необходимая для функционирования программного обеспечения: константы алгоритмов, служебные и временные списки (имена, обозначения, промежуточные результаты и т.д.).

К эксплуатационной относится информация, связанная с двигателем: зарегистрированные в полете параметры и сигналы, выборки данных на режимах, элементы формуляра двигателя, описания мат моделей, результаты работы алгоритмов.



Рис. 7. Структура базы данных комплекса «Диагностика Д-18Т»

Вся эксплуатационная информация по одному двигателю представляет собой базу данных жизненного цикла этого конкретного двигателя. Настраиваемая информация может быть приспособлена к измененному составу алгоритмов или к другой модификации двигателя (Д-18Т серии 3 или 3М). Организация баз данных — табличная (терминология СУБД Access), с установленными связями типа “один ко многим” через выбранные ключевые поля.

В структуру БД входят следующие таблицы: описания самолетов, описания двигателей, описания полетов, формуляры двигателя, списки деталей и узлов, история замены деталей и узлов, результаты испытаний, константы алгоритмов, списки параметров, списки ситуаций. Наличие связей между таблицами БД предполагает выполнение стандартных операций: выборка данных, редактирование (обновление), добавление и удаление записей.

Выбранная схема связей обеспечивает устранение аномалии обновления, при этом требуются только стандартные триггеры для поддержания ссылочной целостности. Удовлетворяются все четыре критерия качества модели данных, а именно: адекватность базы данных предметной области, легкость разработки и сопровождения БД, скорость выполнения операций обновления данных, скорость выполнения операций выборки данных [7].

В качестве среды разработки была выбрана Microsoft Visual Studio 2010, языки программирования — C# и C++, интерфейс программирования приложений — Windows Forms, являющийся частью Micro-

soft .NET Framework. Такой набор позволяет создавать приложения практически любой сложности и соответствует самым современным тенденциям в разработке коммерческого и прикладного программного обеспечения (ПО) для операционной системы Microsoft Windows XP/Vista/7/8. [8]

Основным элементами пользовательского интерфейса являются стартовое окно приложения, меню, окна и диалоги.

Литература

1. Сиротин, Н.Н. *Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей [Текст] / Н.Н. Сиротин, Ю.М. Коровин. — М.: Машиностроение, 1979. — 270 с.*
2. Олейник, А.В. *Концепция и методы мониторинга выработки ресурса авиационных ГТД на основе идентификации динамики температурного и напряженного состояния основных деталей [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.07.05; защищена 17.09.06; утв. 18.03.2007 / Олейник Алексей Васильевич. — Х., 2006. — 240 с.*
3. *Синтез систем управления и диагностики газотурбинных двигателей [Текст]: моногр. / С.В. Епифанов, Б.И. Кузнецов, И.Н. Богаенко и др. — К.: Техника, 1998. — 312 с.*
4. *Совершенствование методики подготовки исходных данных для алгоритма параметрической диагностики [Текст] / С.В. Епифанов, Б.А. Щербань, Н.Д. Багаутдинов, Ю.В. Черкасов // Авиационно-космическая техника и технология. — 2011. — № 7 (84). — С. 218-224.*

5. Епифанов, С.В. Выбор эффективных критериев тренда для алгоритмов параметрической диагностики [Текст] / С.В. Епифанов, Б.А. Щербань, Ю.В. Черкасов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 8 (95). – С. 232 – 240.

6. Gas turbine fault identification by fusing vibration trending and gas path analysis [Text] / А. Kyriazis, А. Tsalavoutas, К. Mathioudakis, М. Bauer, О. Johanssen // Proceeding of ASME Turbo Expo. – Orlando, Florida, USA, June 8-12, 2009. – P. GT2009-59442

8. Коннолли, Т. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика

[Текст] / Т. Коннолли, К. Бегг. – М.: Вильямс, 2003. – 1436 с.

9. Visual Studio 2010 для профессионалов [Текст] / Н. Рендольф, Д. Гарднер, М. Минутилло, К. Андерсон. – М.: Диалектика, 2011. – 1184 с.

10. Олейник, А.А. Программный комплекс адаптивной идентификации моделей нормального состояния подсистем ГТД [Текст] / А.А. Олейник // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 31. Двигатели и энергоустановки. – Х., 2002. – С. 186 – 190.

Поступила в редакцию 1.06.2013, рассмотрена на редколлегии 17.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, профессор Б.И. Кузнецов, НИИЭМ НАН Украины.

НАЗЕМНИЙ АВТОМАТИЗОВАННИЙ КОМПЛЕКС ДІАГНОСТИКИ ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВОХКОНТУРНОГО ДВИГУНА

С.В. Єпифанов, Б.О. Щербань, А.В. Товстік, Н.Д. Багаутдінов, Ю.В. Черкасов

Наземний автоматизований комплекс діагностики «Діагностика Д-18Т» розроблюється спеціалістами ХАІ та ДП «Івченко - Прогрес». Комплекс призначається для оцінки технічного стану та накоплення статистичної інформації протягом експлуатації двигунів Д-18Т серій 3 та 3М у складі маршової силової установки літаків Ан-124 та Ан-225. У ролі початкових даних використовуються аналогові параметри та бінарні сигнали, зареєстровані експлуатаційним реєстратором у польоті. Оцінка технічного стану полягає в експрес-аналізі, контролі виснаження ресурсу основними деталями двигуна, допусковому контролю та трендовому аналізі основних параметрів двигуна. База даних комплексу зберігає настроювальну інформацію для реалізації алгоритмів комплексу та експлуатаційну інформацію, що містить відомості щодо історії експлуатації кожного з двигунів, діагностуємих комплексом.

Ключові слова: наземний комплекс діагностики, база даних, експрес-аналіз, контроль виснаження ресурсу, допусковий контроль, тренд-аналіз.

ON-GROUND AUTOMATED DIAGNOSIS COMPLEX FOR TURBOFAN

S. V. Yepifanov, B. A. Scherban, A. V. Tovstik, N. D. Bagautdinov, Y. V. Cherkasov

On-ground automated diagnosis complex «Diagnosis D-18T» is developed by engineers of National Aerospace University «KhAI» and ZMKB «Ivchenko - Progress». This complex is designed for technical condition estimation and statistic information accumulation during operation of turbojets D-18T (series 3 and 3M) that are installed on airplanes An-124 and An-225. Analog parameters and binary signals fixed by operational recorder during flights are used as initial data. Technical condition estimation consists of express-analysis, resource exhaustion control, tolerance control and trend-analysis. The complex database stores settings information and operational information. The settings information is intended to complex algorithms realization, the operational information is contained facts of operational history of all engines that are control by the complex.

Key words: on-ground diagnosis complex, database, express-analysis, resource exhaustion control, tolerance control, trend-analysis.

Епифанов Сергей Валерьевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. конструкции авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: aedlab@gmail.com.

Щербань Богдан Александрович – аспирант каф. конструкции авиационных двигателей факультета авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: bogdanscherban@mail.ru.

Товстик Андрей Вадимович – аспирант каф. информатики факультета систем управления ЛА Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

Багаутдинов Наиль Дахиевич – ведущий конструктор, руководитель группы систем контроля и диагностики авиационных ГТД ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина, e-mail: BagautdinovND@ivchenko-progress.com.

Черкасов Юрий Владимирович – начальник отдела регулирования электрооборудования ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина, e-mail: progress@ivchenko-progress.com.