

Ю.Н. ЧОХА, В.И. ЛЁГЕНЬКИЙ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЬНО-РАСЧЕТНОГО МЕТОДА В ПРОЦЕССАХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ АВИАТЕХНИКИ

Abstract. We consider some methodological steps of the implementation of the universal integrated method to provide enhanced operational assessment of the current technical condition of modern aircraft engines.

Key words: universal complex examining-calculation method, diagnostic of dynamic objects of aircraft.

Анотація. Розглядаються методологічні етапи здійснення універсального комплексного контрольно-розрахункового методу і особливості його практичної реалізації в середовищі автоматизованих розрахунково-інформаційних систем для забезпечення оперативної поглибленої оцінки поточного технічного стану типових складних об'єктів авіатехніки.

Ключові слова: універсальний комплексний контрольно-розрахунковий метод, діагностування динамічних об'єктів авіації.

Аннотация. Рассматриваются методологические этапы осуществления универсального комплексного контрольно-расчетного метода и особенности его практической реализации в среде автоматизированных расчетно-информационных систем для обеспечения оперативной углубленной оценки текущего технического состояния типовых сложных объектов авиатехники.

Ключевые слова: универсальный комплексный контрольно-расчетный метод, диагностирование динамических объектов авиации.

1. Введение

Современные объекты авиатехники (АТ) – от воздушных судов в целом до их конструктивных частей (таких, как планер, силовая установка, функциональные системы) – относятся к сложным динамическим техническим объектам. После их изготовления и в период регулярного использования по назначению возникает необходимость определения текущего технического состояния (ТС) каждого отдельного экземпляра объекта АТ и принятие по нему конкретного эксплуатационного решения. Таким образом, авиаперсоналу, который осуществляет эксплуатацию типовой АТ, постоянно необходимо искать ответ на два традиционных вопроса: "В каком техническом состоянии находится данный объект АТ?" и "Что делать дальше с этим объектом АТ?". При этом методы и средства, которые используются для получения ответа на первый вопрос, разрабатываются в пределах научного направления "техническая диагностика", а для поиска ответа на второй вопрос применяются методы и средства поддержки принятия решений. В [1, с. 24] справедливо отмечено, что «... процессы принятия решений только тогда становятся реально работающими, когда они приобретают четко определенную последовательность организационно-технологических этапов».

Среди значительного количества существующих методов и средств контроля и диагностирования объектов АТ, которые применяются в процессах их технического обслуживания и лётно-технической эксплуатации для управления текущим ТС, наиболее распространенным является постоянный параметрический контроль с регистрацией данных от встроенных штатных систем с последующей оценкой наличия (или отсутствия) тренда контролируемых параметров методами вероятностной статистики. Принятие решения при этом обеспечивается путем использования авиаперсоналом бортовых (типа МСРП, БАСК, БУР и т.п.), наземных (типа "Луч", "Анализ", "Контроль" и т.п.) или наземно-бортовых (EIDS, XMAN, «Эксперт» и т.п.) систем контроля и диагностирования (СКД) для типовых объектов АТ. Тем не менее, учитывая то обстоятельство,

что подавляющее большинство современных сложных авиационных объектов эксплуатации (таких, как авиадвигатели и их функциональные системы) оборудуются незначительным количеством средств прямого измерения параметров, эффективность существующих штатных СКД и качество анализа параметрической информации остаются на низком уровне, что приводит к несвоевременному выявлению неисправностей конструктивных узлов (элементов) этих объектов АТ и невозможности оперативного принятия авиаперсоналом соответствующих эксплуатационных решений. Как следствие, увеличивается количество отказов и досрочного прекращения эксплуатации сложных дорогостоящих объектов АТ, снижается уровень безопасности полетов воздушных судов.

Поэтому особенно важным и актуальным вопросом для авиационной отрасли является решение научно-прикладной проблемы повышения эффективности штатных систем контроля параметров и качества анализа параметрической информации сложных динамических объектов АТ для обеспечения оперативной поддержки принятия авиаперсоналом эксплуатационных решений как в полете, так и в межполетный период при выполнении оперативного технического обслуживания.

2. Модель реализации ККР метода диагностирования

Одним из перспективных путей решения указанной проблемы для процессов текущего диагностирования сложных объектов АТ низкого уровня контролепригодности и оперативного принятия решения является разработка новых комплексных расчетно-информационных (РИ) методов с глубиной диагностирования до конструктивного узла (элемента), которые реализуются в среде гибридных динамических автоматизированных систем диагностирования и поддержки принятия решения (АСД ППР). В связи с этим разработаны концептуальная информационная модель применения автоматизированной оценки текущего ТС сложного объекта АТ с использованием наземных и бортовых АСД ППР и ее методологическая модель (рис. 1), которая базируется на применении новых РИ методов диагностирования конструктивных узлов (элементов) типовых сложных динамических объектов АТ и информационных технологий, которые реализуют их в среде АСД ППР типа "Эксперт-объект АТ".

На основе данной модели комплексного информационно-аналитического подхода к процессам диагностирования типовых сложных объектов АТ предлагается к реализации новый универсальный комплексный контрольно-расчетный (ККР) метод оперативной оценки их текущего ТС, который, в отличие от существующих вероятностных методов параметрически-трендового диагностирования, обеспечивает последовательное комплексное детерминированное определение вида текущего технического диагноза экземпляров объектов АТ в целом и на углубленных уровнях (до узла/элемента) с одновременным предложением соответствующих технологических рекомендаций авиаперсоналу из базы знаний среды АСД ППР. Это позволяет существенно (в несколько раз) повысить уровень качества анализа параметрической информации и снизить продолжительность и трудоемкость процессов диагностирования сложных динамических объектов без их конструктивных доработок. Реализация ККР метода базируется на детерминированном системном анализе параметров в расширенном диагностическом пространстве, которое

обеспечивается применением рабочих алгоритмов аналитических многопараметрических информативно-диагностических моделей (ИДМ) их рабочих процессов, специализированных баз знаний авиаспециалистов, информативно-поисковых методов идентификации текущего ТС каждого экземпляра диагностирующихся объектов, методик прогнозирования динамики деградации ТС и автоматизированных индикативных средств оперативного информирования авиаперсонала о результатах диагностирования с предоставлением ему конкретных технологических рекомендаций для принятия эксплуатационных решений.

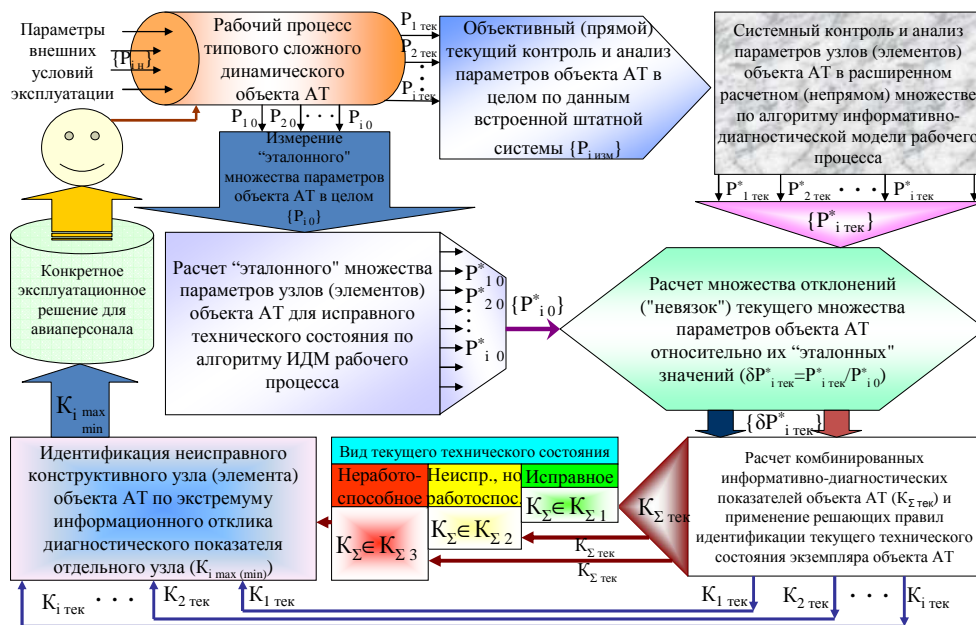


Рис. 1. Методологическая модель применения комплексного контрольно-расчетного метода углубленного диагностирования типовых сложных объектов АТ

Особенностями реализации данного метода на каждом из четырех условных этапов процесса диагностирования типового сложного объекта АТ являются (рис. 2):

I этап – формирование базы текущих данных экземпляра типового объекта АТ в виде совокупности $\{P_{i, \text{изм}}^*\}$ измеренных и зарегистрированных штатной СКД текущих усредненных значений параметров и условий внешней среды на установившемся режиме работы данного экземпляра объекта АТ; приведение измеренных параметров к стандартным атмосферным условиям и диагностическому режиму; представление совокупности $\{P_{i, \text{изм. пр.}}^*\}$ на вход базы знаний АСД ППР типа "Эксперт – объект АТ";

II этап – кардинальное расширение текущей информативно-диагностической базы экземпляра объекта АТ путем реализации специального расчетного алгоритма многопараметрической ИДМ его рабочего процесса и формирование расширенной текущей совокупности $\{P_{i, \text{р}}^*\}$ расчетных параметров, которые характеризуют текущее ТС как данного объекта АТ в целом, так и его узлов (элементов); представление совокупности $\{P_{i, \text{р}}^*\}$ на вход блока сравнения значений параметров в базе знаний АСД ППР;

III этап – определение вида текущего технического диагноза экземпляра объекта АТ путем сравнения текущей совокупности $\{P_{i,p}^*\}$ значений параметров с "эталонной" совокупностью $\{P_{i,0}^*\}$ тех же параметров того же экземпляра объекта АТ, которые измерены и рассчитаны заранее в начале его эксплуатации, характеризуют его исправное ТС и сохраняются в архивном блоке базы знаний АСД ППР; после определения совокупности относительных отклонений $\{\delta P_i\} = \{P_{i,p}^*\} / \{P_{i,0}^*\}$, характеризующих наличие или отсутствие существенных отклонений параметров, и применения специальных решающих правил определяется как общий технический диагноз данного экземпляра объекта АТ, так и его оценка на углубленных уровнях (до конструктивного узла/элемента); представление результатов оценки текущего диагноза на вход блока эксплуатационных решений базы знаний АСД ППР;

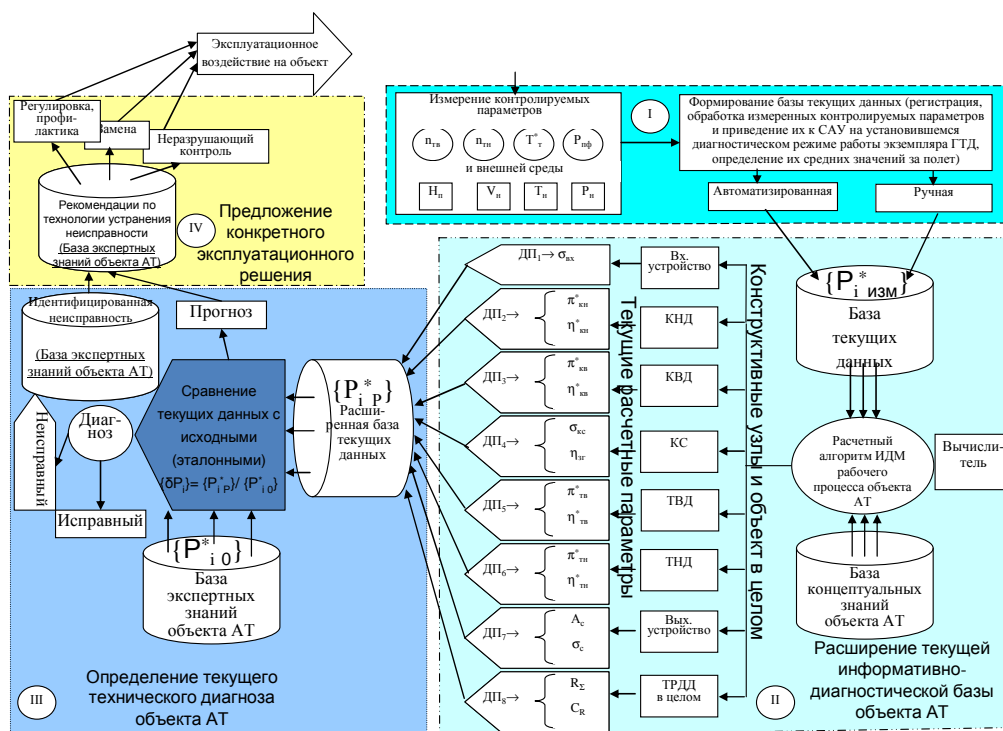


Рис. 2. Модель реализации ККР метода диагностирования сложного динамического объекта АТ (на примере авиадвигателя)

IV этап – определение эксплуатационного решения и технологических рекомендаций авиаперсоналу по результатам оценки текущего технического диагноза путем предоставления специального информационного сообщения и набора технологических операций, которые заранее разработаны для каждого возможного варианта технического диагноза типового объекта АТ и сохраняются в архиве базы знаний АСД ППР.

Таким образом, принципиально более высокая эффективность ККР метода в сравнении с существующими состоит в объединении современных информационных технологий в виде сформированной базы знаний, специальных расчетных алгоритмов, решающих правил и их программного обеспечения, которые реализуются в среде АСД ППР типа "Эксперт – объект АТ", с детерминированной информационной средой штатной СКД экземпляра типового объекта АТ. Такое объединение информационных сред обеспечивает оперативность оценки вида текущего ТС,

поддержку принятия авиаперсоналом решения и минимальные трудозатраты на технологию диагностирования сложных объектов АТ на углубленных уровнях, а также кардинальное повышение уровней параметрической информативности объектов АТ и качества анализа их параметров без существенных конструктивных доработок, а также практическую возможность реализации их эксплуатации по ТС с контролем параметров. Одним из основных отличий ККР метода от существующих является применение метода сравнения ИДМ рабочего процесса объекта АТ, который находится в исправном (эталонном) ТС с ИДМ рабочего процесса этого же объекта, находящегося в текущем ТС (рис. 3) [2].

Это дает возможность комплексно и более глубоко, чем в настоящее время, контролировать и оценивать изменения ТС узлов отдельных экземпляров объектов АТ без их конструктивных доработок в условиях реальной эксплуатации. Аналитическая структура модели условного сравнения ИДМ текущего и эталонного ТС имеет следующий вид:

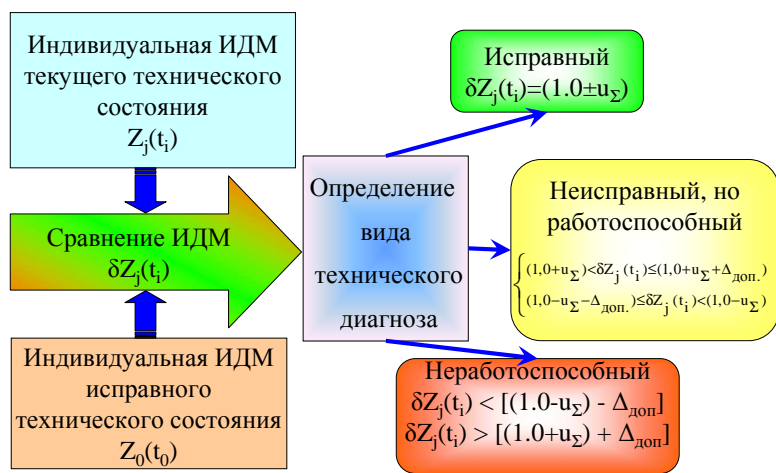


Рис. 3. Модель применения метода сравнения ИДМ рабочего процесса типового объекта АТ

$$\delta Z_j(t_i) = Z_j(t_i) / Z_{0j}(t_0) = \delta \varphi_j [\delta x_i + \delta y_i + u_\Sigma],$$

где $\delta x_i, \delta y_i$ – соответственно относительные отклонения текущих значений измеренных и расчетных контролируемых параметров объекта АТ от их начальных значений, которые отвечают ТУ, u_Σ – суммарная погрешность измерения (расчета) i -тых параметров ИДМ.

Исходя из сути предложенной модели реализации ККР метода текущего контроля и оценки ТС сложных динамических объектов АТ, предлагаются функционально-аналитическая (рис. 4) и структурно-

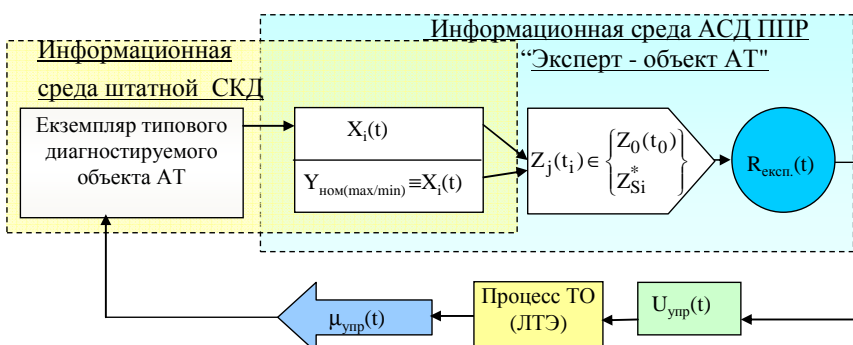


Рис. 4. Функционально-аналитическая модель реализации ККР метода

информационная модели АСД ППР типа "Эксперт-объект АТ" (рис. 5), которые поясняют процессы взаимодействия базы знаний и функционирование АСД ППР в процессах диагностирования экземпляров объектов АТ.

При этом прикладная модель АСД ППР типового объекта АТ должна удовлетворять следующим аналитическим моделям его технических состояний:

1. Аналитическая информативно-диагностическая модель рабочего процесса объекта АТ для исправного (эталонного) ТС:

$$Z_0(t_0) = f(\{X_i = Y_{ном}; t_0\}).$$

2. Аналитическая информативно-диагностическая модель рабочего процесса объекта АТ для неисправного ТС:

$$Z_{Si}^*(t_i) = f(\{X_i \geq Y_{max}; t_i\}) \text{ или } Z_{Si}^*(t_i) = f(\{X_i \leq Y_{min}; t_i\}).$$

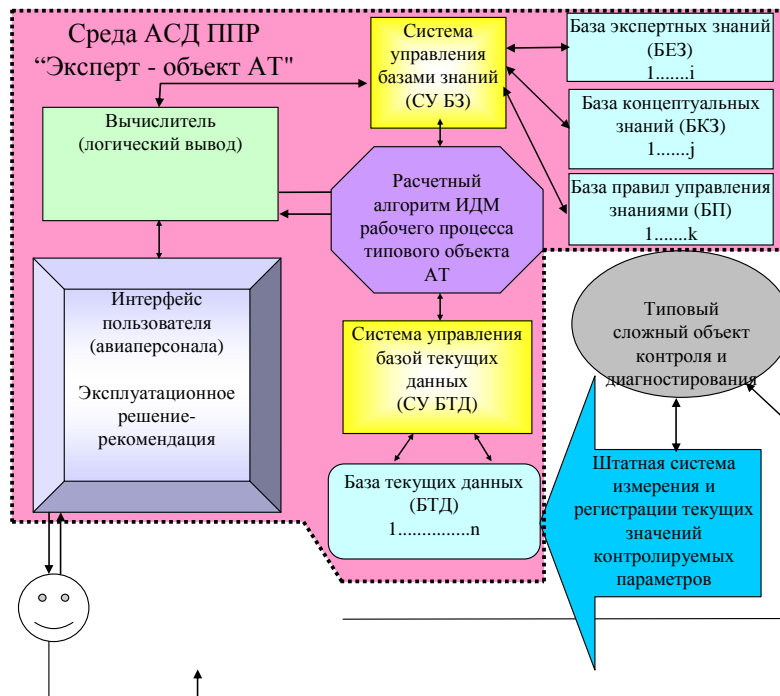


Рис. 5. Структурно-информационная модель АСД ППР типа "Эксперт-объект АТ"

3. Аналитическая информативно-диагностическая модель рабочего процесса объекта АТ для текущего ТС:

$$Z_j(t_i) = f(X_j = Y_i; t_i) \in \{Z_0(t_0) \text{ или } Z_{Si}^*(t_i)\}.$$

Граничные условия:

- множество неисправных ТС $\{S_i\}$ объекта АТ конечно:

$$\{S_i\} \in S, i = 1, 2, \dots, |S| \dots;$$

- множество отдельных эксплуатационных неисправностей $\{O_i\}$ объекта АТ конечно:

$$\{O_i\} \in O, i = 1, 2, \dots, |O| \dots;$$

• обеспечивается полная совместимость АСД ППР со штатной СКД, т.е. имеет место соответствие базы знаний (БЗ), содержащейся в АСД ППР ($BZ_{|АСД ППР} \{Y_{ном}; Y_{max}; Y_{min}\}$), в среде базы текущих данных (БТД), сформированной штатной СКД типового объекта АТ ($БТД_{|СКД} \{X_i(t_i)\}$):

$$BZ_{|АСД ППР} \{Y_{ном}; Y_{max}; Y_{min}\} \equiv БТД_{|СКД} \{X_i(t_i)\};$$

- все отдельные экземпляры диагностируемых объектов АТ принадлежат к классу объектов непрерывного действия, т.е. значения контролируемых параметров и диагностических признаков объектов изменяются по времени их наработки непрерывно: $\{X_i = f(t_i)\}$;

- решения-рекомендации для авиAPERсонала по вопросам эксплуатации $\{R_{\text{експ}}(t_i)\}$ во время работы АСД ППР зависят от значения функционала $\{Z_j(t_i)\}$, который оценивает вид текущего технического состояния объекта диагностирования (т.е., вид его технического диагноза): $\{R_{\text{експ}}(t_i)\} = f\{Z_j(t_i)\}$.

3. Условия практического использования ККР метода

Для практического применения данного метода диагностирования нужно выполнить следующие условия:

- определение Заказчиком конкретных типов объектов АТ, которые нуждаются в оперативном диагностировании и автоматизированной поддержке принятия решения в условиях эксплуатации;
- наличие теоретических и практических основ построения специализированных гибридных динамических автоматизированных систем диагностирования сложных объектов;
- наличие сформированного коллектива специалистов-разработчиков (экспертов, инженеров по знаниям и системных программистов);
- обеспечение финансовой поддержки;
- реализация прикладных методик синтеза адекватных многопараметричных информативно-диагностических моделей рабочих процессов типовых объектов АТ;
- использование специальных методов оперативной идентификации вида текущего ТС отдельных экземпляров объектов диагностирования без их демонтажа;
- применение современного программного обеспечения для моделирования сред специализированных баз знаний автоматизированных систем;
- использование новейших инструментальных средств обработки и отображения разных видов информации.

4. Информационные технологии реализации ККР метода в среде АСД ППР типа "Эксперт-объект АТ"

Для апробации ККР метода и выполнения указанных условий его реализации на конкретном сложном объекте АТ (типовом авиадвигателе) разработаны:

- 1) Прикладные методики и расчетные алгоритмы аналитических ИДМ рабочих процессов двухконтурных ГТД [3], в которых используется полная система нелинейных уравнений и критериев динамического подбора, описывающая параметры на входе и выходе каждого конструктивного узла проточной части, учитывающая их совместную работу и законы управления на установившихся режимах работы. Это позволяет существенно (более, чем на порядок) расширить информативно-диагностическую базу объектов АТ низкого уровня контролепригодности и дает возможность определить изменение параметров узлов (элементов) в зависимости от разновидностей

возможных эксплуатационных повреждений. Работоспособность и адекватность ИДМ обеспечивается реализацией метода линейной оптимизации параметров с ограничением по техническим условиям, а их подтверждение осуществляется путем сравнения полученных результатов аналитического моделирования с известными тестовыми экспериментальными данными по отдельным типам авиадвигателей, полученных в ОКБ их производителей, а также с данными комплексных экспериментальных исследований, выполненных на натурном газодинамическом стенде типового авиадвигателя.

2) Алгоритм реализации нового вида информативно-поискового подхода к оперативному автоматизированному распознаванию в виде комбинированного функционально-тестового (КФТ) метода идентификации [4]. Этот метод, в отличие от существующих функциональных или тестовых методов идентификации, базируется на использовании последовательной комбинации специальных расчетно-функциональных алгоритмов и решающих тестовых правил для идентификации вида текущего ТС как отдельных экземпляров сложных объектов АТ, которые диагностируют в целом, так и их конструктивных узлов. Данный метод реализован в виде рабочих алгоритмов и адаптирован в пределах вышерассмотренного ККР метода диагностирования объектов АТ на четырех условных этапах с применением четких решающих правил на примере диагностирования типовых сложных объектов АТ (типа авиадвигателей).

3) Обобщенный алгоритм решения задачи диагностики типовых сложных динамических объектов АТ до узла ККР методом в сочетании с алгоритмами реализации КФТ метода идентификации на примерах разнотиповых двигателей и автоматизированный информативно-диагностический сигнализатор [5, 6] (рис. 6) с вариантами баз знаний и программного обеспечения, которые практически реализуют их в среде АСД ППР типа "Эксперт-объект АТ" для поддержки принятия эксплуатационных решений.

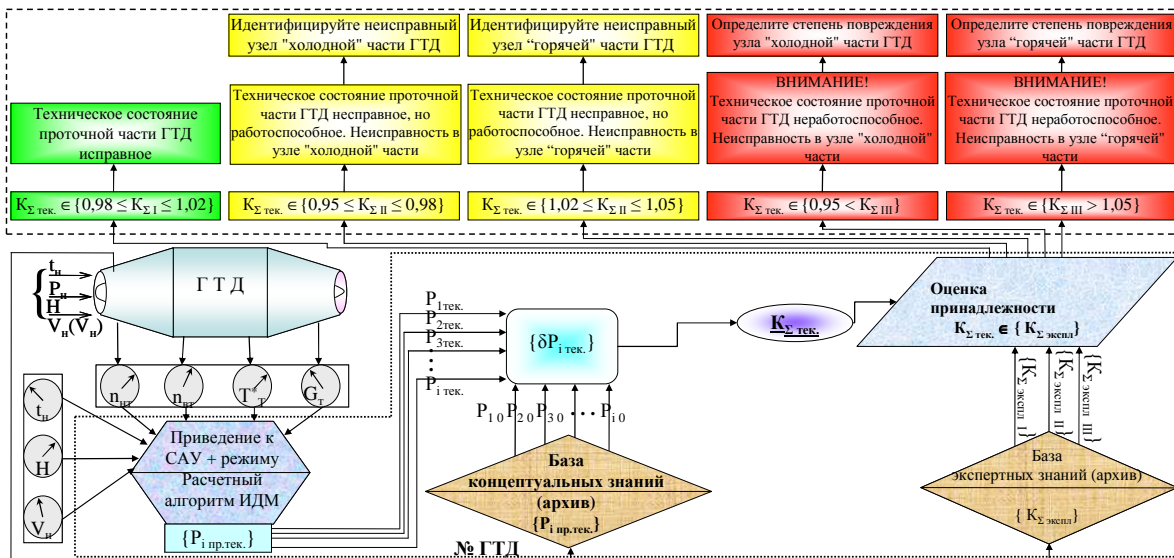


Рис. 6. Структурно-функциональная схема автоматизированного информативно-диагностического сигнализатора для оперативного контроля и оценки технического состояния проточной части ГТД

Результаты тестовой апробации предложенного метода демонстрируют его работоспособность, достоверность, эффективность и возможность реализации в реальных условиях эксплуатации сложных объектов АТ на авиапредприятиях. При этом показано, что

использование автоматизированных АСД ППР на всех этапах процесса оценки ТС силовой установки до конструктивного узла позволяет обеспечить увеличение уровня его оперативности в 3,3 раза (для силовой установки Як-40) и в 2,7 раза (для силовой установки Ил-76), а уровень качества анализа параметрической информации в процессах диагностирования таких сложных объектов АТ повышается в два раза.

Это приводит к кардинальному качественному повышению уровня параметрической информативности процессов их диагностирования от существующего низкого до высокого уровня без значительных экономических затрат и позволяет в значительной мере снизить показатели длительности и трудоемкости этого процесса.

5. Выводы

К преимуществам рассмотренного ККР метода диагностирования сложных динамических объектов АТ с применением сред автоматизированных систем поддержки принятия решений следует отнести:

- универсальность применения метода для разнотипных объектов АТ;
- оперативность определения оценки текущего технического состояния каждого отдельного диагностируемого экземпляра объекта АТ без его демонтажа с воздушного судна в условиях эксплуатации с определением конкретных технологических рекомендаций авиаперсоналу для поддержки принятия эксплуатационного решения;
- минимальные трудозатраты на технологию диагностирования сложного объекта АТ в целом и отдельных конструктивных узлов;
- обеспечение диагностирования типовых объектов АТ на углубленных уровнях (до конструктивного узла/элемента);
- кардинальное повышение уровней параметрической информативности, контролепригодности и эксплуатационной технологичности без существенных конструктивных доработок современных объектов АТ;
- значительное повышение уровней автоматизации и информационного обеспечения процессов диагностирования сложных динамических объектов АТ;
- практическое обеспечение возможности реализации стратегии эксплуатации объектов АТ по техническому состоянию с контролем параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов А.А. Ситуационные центры: информационные технологии будущего / А.А. Морозов, В.А. Яценко. – Киев: Изд-во СП «Интертехнодрук», 2008. – 332 с.
2. Чоха Ю.М. Реалізація комплексного контрольно-розрахункового методу діагностування в середовищі експертної системи типового ГТД / Ю.М. Чоха, В.А. Лихоманенко, О.П. Федорчук // Труды Національної академії оборони України. – 2005. – Вип. 58. – С. 297 – 302.
3. Чоха Ю.М. Математична діагностична модель робочого процесу ТРДД з низьким рівнем контролепридатності / Ю.М. Чоха // Вестник двигателестроения. – 2003. – № 1. – С. 100 – 103.
4. Чоха Ю.Н. Методика применения функционально-тестового метода идентификации неисправностей ТРДД в среде динамической ЭСД / Ю.Н. Чоха // Вестник двигателестроения. – 2004. – № 2. – С. 173 – 176.
5. Пат. 30615 Україна, МПК G07C 3/14. Сигналізатор автоматизований інформативно-діагностичний для оперативної оцінки технічного діагнозу складних динамічних об'єктів технічної експлуатації / Чоха Ю.М. та ін.; заявник та патентовласник НАУ. – № 2007 06233; заявл. 05.06.2007; опубл. 11.03.2008, Бюл. №5.
6. Заявка № 2007 06234 Україна. Спосіб комбінований функціонально-тестовий оперативної оцінки технічного діагнозу газотурбінного двигуна і його конструктивних вузлів проточної частини / Чоха Ю.М. та ін. – Заявл. 05.06. 2007; позит. ріш. № 7443/1 від 04.06.2008.

Стаття надійшла до редакції 02.08.2009