

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF THE EXPERT SYSTEM FOR THE AIRPLANE POWER-PLANTS' MAINTENANCE ENGINEERING

*Nikolay Kuznetsov, Eugene Kopytov, Vladimir Labendik,
Sergey Yunusov, Alexey Tarasov*

The principles of construction of the decision-making system for the airplane power-plants' maintenance engineering are described by the example of "Анализ-86" and "Эксперт-86" systems for the IL-86 airplane.

Keywords: aircraft gas-turbine engine, technical maintenance, parameters' control, automatized diagnostics system, expert system, decision-making system

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК САМОЛЕТА

*Николай Кузнецов¹, Евгений Копытов², Владимир Лабендик²,
Сергей Юнусов², Алексей Тарасов²*

¹*Scientific and Technical Centre "ТЕНКОН" (АТБ "Пулково")
18 Pilotov str., b.4, St.-Petersburg, 196210, Russia
Ph.: +7(812)-3885248, e-mail: n.kuznecov@tehkon.spb.ru*

²*Transport and Telecommunication Institute
1 Lomonosov Str., Riga, LV-1019, Latvia
Ph.: +(371)-7100590, Fax: +(371)-7100660, e-mail: tsi@tsi.lv*

В статье представлены принципы построения системы принятия решений для инженерного обеспечения технической эксплуатации силовых установок самолета на примере разработки систем «Анализ-86» и «Эксперт-86» для самолетов ИЛ-86.

Ключевые слова: авиационный газотурбинный двигатель, техническая эксплуатация, контроль параметров, автоматизированная система диагностирования, экспертная система, система принятия решений

1. ВВЕДЕНИЕ

Анализируя состояние и развитие систем принятия решений (СПР) для инженерного обеспечения технической эксплуатации силовых установок самолетов гражданской авиации, следует отметить тенденцию их представления как экспертных систем (ЭС) различного уровня.

На первом уровне обеспечивается контроль технического состояния авиадвигателей с использованием автоматизированных систем диагностирования двигателей (АСДД) – примером может служить успешно применяемая в эксплуатации в течение 20 лет система «Анализ-86» для двигателей НК-86 самолетов ИЛ-86 [1]. Эксплуатация автоматизированных систем требует от специалиста-эксплуатационника глубоких знаний о двигателе и системе его контроля. Эти знания и навыки их применения приобретаются в результате длительного опыта работы. Зачастую в эксплуатации таких специалистов не хватает. Эту проблему может решить ЭС, которая на втором уровне эксплуатации парка однотипных двигателей в одной АТБ вырабатывает рекомендации о том, какие решения целесообразно принимать в тех или иных ситуациях с учетом возможности появления дефектов, то есть необходимо обеспечить переход от диагноза к прогнозу. Для этих целей создавалась система «Эксперт-86» [2], внедрение которой в эксплуатацию не произошло по ряду причин. Однако целесообразно рассмотреть опыт разработки этой системы, поскольку он может быть использован для создания систем диагностики других авиадвигателей.

Была начата работа по созданию СПР *третьего уровня* [3], в которой обобщался бы опыт эксплуатации всех выпущенных однотипных двигателей с целью прогноза их эксплуатации по состоянию и своевременному обеспечению поставок запасных частей и агрегатов и замены двигателей. Финансирование этой работы и функционирование системы планировалось на уровне министерства гражданской авиации, а в современных условиях работоспособность такой системы возможна лишь при координации работы фирмы-изготовителя и всех разрозненных авиакомпаний, эксплуатирующих соответствующий парк авиадвигателей на однотипных самолетах, по своевременному сбору и анализу информации. Однако пока неясно, кто может быть головным «эксплуатантом» подобной системы.

2. СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

В современной структуре технической эксплуатации авиадвигателей ЭС является важным связующим элементом, объединяющим достижения теории и практики и тем самым повышающим качество и надежность системы обслуживания авиатехники.

Для принятия правильного решения о техническом состоянии двигателя зачастую недостаточно информации, которую может предоставить автоматизированная система диагностирования (АСДД) по информации бортовых регистраторов. На эксплуатационных предприятиях существуют и другие системы, методы и средства наземного контроля состояния двигателей, такие как спектральный анализ масла, обработка результатов наземного опробывания двигателя и т.д. Кроме того, двигатель в процессе технического обслуживания подвергается осмотру, на нем проводятся регламентные работы. ЭС для выработки своих рекомендаций должна учесть все факты, характеризующие состояние двигателя на данный момент времени его эксплуатации. При этом условии ее рекомендации по дальнейшей эксплуатации двигателя и по назначению работ технического обслуживания или ремонта двигателя будут более правдоподобны.

Как известно, рекомендации в ЭС вырабатываются автоматизированно по правилам, сформулированным квалифицированными экспертами. Эти правила закладываются в базу знаний (БЗ) экспертной системы.

Таковыми экспертами по двигателям должны быть:

- разработчики двигателя и инженеры-конструкторы завода-изготовителя;
- персонал эксплуатационных предприятий, занятый технической эксплуатацией двигателей;
- управляющий персонал всех уровней, имеющий квалификацию и опыт принятия решений в области технической эксплуатации.

Кроме того, экспертная система должна содержать в своем составе компонент, позволяющий ответить на вопрос о том, на основании каких фактов и каких правил она выработала свои рекомендации. Этот объясняющий компонент служит удобным средством обучения персонала, эксплуатирующего систему.

Роль и место ЭС 2-го уровня в структуре технической эксплуатации двигателей представлены на рис. 1.

Взаимодействие ЭС с другими системами технического обслуживания осуществляется через информационно-поисковую подсистему "*Дело двигателя*". В "*Деле двигателя*" накапливается информация из АСДД и смежных систем контроля каждого двигателя, информация по работам, проведенным на двигателе, а также хранится вся нормативно-техническая документация на двигатель (формулярные данные, бюллетени).

Обычно (хотя возможны исключения) все системы контроля состояния двигателя сосредоточены в лаборатории диагностики АТБ. В состав типовой лаборатории входят группы: анализа полетной информации (например, АСД "Анализ-86", АСДС-90, АСД "Диагноз-90" и др.), анализа масла (установки МФС-3(5), неразрушающих методов контроля (НМК – периодический осмотр эндоскопами, дефектоскопами и т.д.), надежности (подсистема "Надежность").

Кроме того, в такую лабораторию поступает информация из производственно-диспетчерского отдела (ПДО) и цехов оперативного и периодического обслуживания. Из ПДО поступают данные по наработкам двигателей и агрегатов; по замене узлов, агрегатов и двигателей; информация по выполнению регламента, бюллетеней и доработок, а из цехов – данные наземных гонок; смотровых и регулировочных работ; замечания по работе двигателей от экипажей.

Поступающая из разных служб и подразделений информация постоянно накапливается в индивидуальном "Деле двигателя". Как было выше упомянуто, эта информация в виде фактов, характеризующих состояние каждого двигателя, поступает в ЭС. Инженер лаборатории диагностики, взаимодействуя с ЭС, инициирует работу системы, которая в автоматическом либо полуавтоматическом режимах выдает рекомендации на техническое обслуживание или ремонт двигателя. Затем обработанные рекомендации поступают в ПДО в виде заданий на ТО. Таким образом, в ПДО поступает управляющее воздействие, направленное на поддержание заданного уровня надежности двигателя. ПДО планирует работы и содержание их доводит до цехов. Результаты выполненных работ также поступают в каждое "Дело двигателя", образуя БД всего парка.

Таким образом ЭС способствует непрерывному совершенствованию технической эксплуатации парка однотипных двигателей, обеспечивает автоматизированную функцию локализации возникающих неисправностей на основе анализа всей информации по данному двигателю и парку двигателей, помогает назначить перечень работ по устранению этих неисправностей и принять решение о дальнейшей судьбе двигателя.

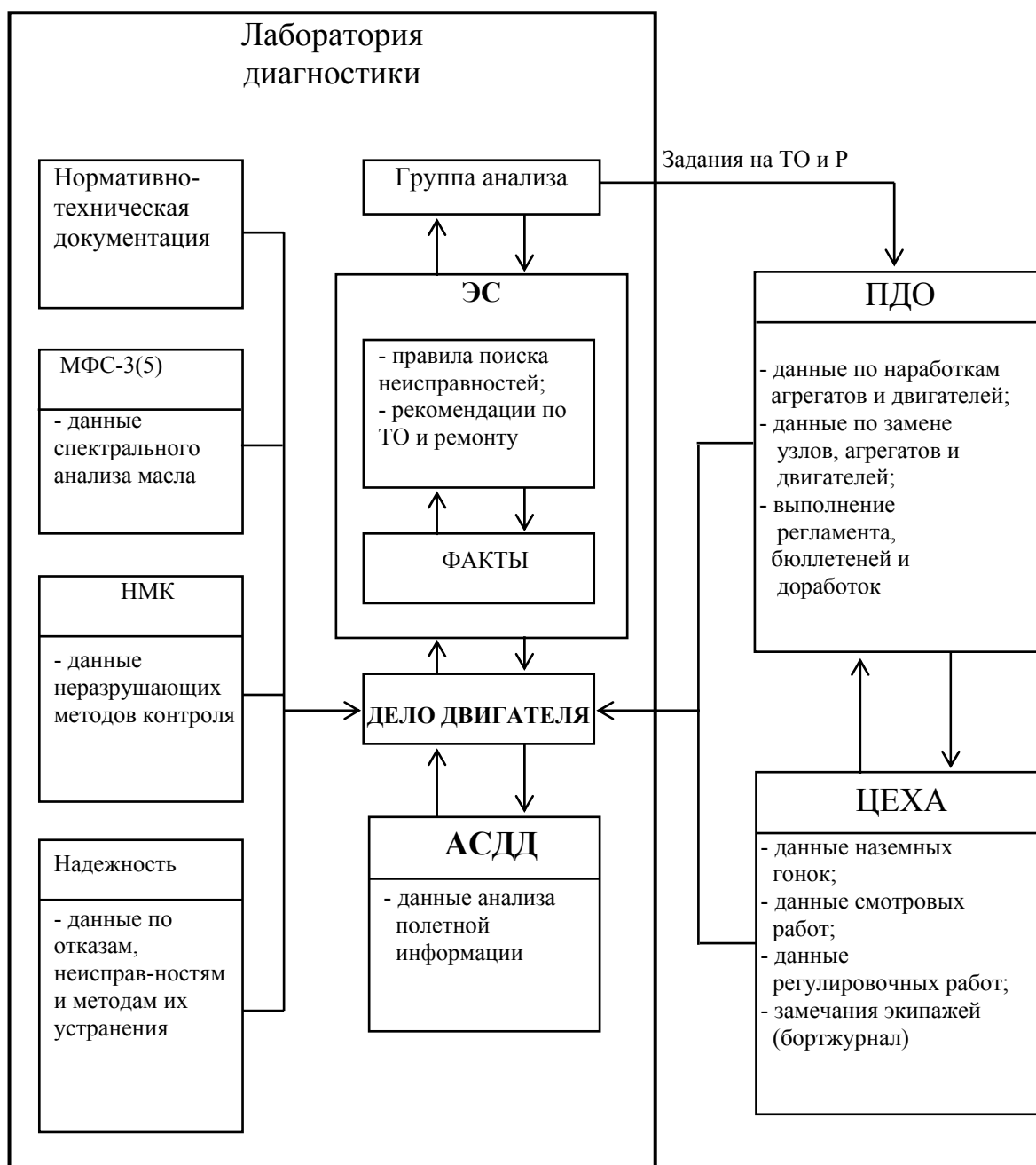


Рис. 1. Роль и место ЭС в структуре технической эксплуатации двигателей

3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ "ЭКСПЕРТ-XX"

Изложенные принципы легли в основу разработки системы "Эксперт-86" для силовых установок самолета Ил-86 [2]. Эта система являлась совместной разработкой коллективов Рижского авиационного университета, Московского института инженеров гражданской авиации, Самарского государственного научно-производственного объединения "Труд", Авиационного предприятия "Пулково" и Конструкторско-производственного государственного предприятия "Авиамотор" (г. Казань).

Используемые при разработке принципы [2] могут служить аналогом типовой наземной ЭС «Эксперт-XX».

В системе "Эксперт-XX" помимо математических моделей (ММ), описывающих процесс работы двигателя, должны использоваться модели экспертов. Эти модели в виде правил принятия решений определяют характер и последовательность действий персонала при появлении диагностических сообщений АСДД. Эксперты формируют правила принятия решений на основе фактов о состоянии силовой установки. Эти правила вырабатываются на основании детального знания объекта, большого опыта его эксплуатации и длительного наблюдения за его поведением. Такой подход является приоритетным в международной практике создания подобных систем.

Важнейшим качеством системы "Эксперт-XX" является широкое использование инженерного опыта и знаний, накопленных в процессе эксплуатации для автоматизации принятия решений в системах, контролирующими состояние силовой установки самолета.

Система "Эксперт-XX" предназначена для обеспечения аэропортов, эксплуатирующих системы диагностирования двигателей, средствами, автоматизирующими принятие решений при наземном ТО по диагностическим сообщениям АСДД (в результате обработки накопленной параметрической полетной информации). При этом среди правил принятия решений применимы и такие, которые сформулированы персоналом, эксплуатирующим авиационные двигатели. С этой целью в ЭС "Эксперт-XX" осуществляется:

- формирование *базы знаний* (БЗ) фактами, зарегистрированными системами контроля, и правилами принятия решений;
- объединение в единой *базе данных* (БД) всех значимых диагностических сообщений АСДД и соответствующих работ на двигателях по всем регионам их эксплуатации.

К основным функциям экспертной системы относятся:

- повышение глубины диагностирования на основе сопоставления результатов работы АСДД с результатами контроля других систем наземного контроля состояния двигателя (спектральный анализ масла, НМК и т.д.);
- выдача рекомендаций инженеру лаборатории диагностики по назначению перечня работ для определения причин появления диагностических сообщений АСДД;
- помощь в выдаче заданий на техническое обслуживание и ремонт двигателя;
- помощь по оценке состояния двигателя после выполненных работ и принятию решения о возможности продолжения эксплуатации двигателя или его съема.

Компоненты структуры ЭС "Эксперт-XX" показаны на рис. 2:

База знаний системы содержит факты и правила интерпретации этих фактов. В качестве фактов в системе "Эксперт-XX" выступают диагностические сообщения АСДД, параметрическая информация АСДД и других систем контроля двигателя.

Решатель осуществляет интерпретацию фактов на основании правил БЗ. В результате может быть достигнут либо автоматический диагноз (если в каждом узле дерева принятия решений имеется возможность формального выбора альтернативы), либо диагноз с использованием процедур выбора эвристических альтернатив.

Объяснительный компонент обеспечивает консультацию пользователю о том, как именно получено решение. Если автоматически получен диагноз, то можно вернуться назад и посмотреть выбранные альтернативы.

Компонент приобретения знаний обеспечивает добавление в базу знаний новых и модификацию имеющихся правил специализированными средствами.

Диалоговый компонент в удобной форме организует обмен информацией между пользователем и системой. Взаимодействие с пользователями осуществляется на естественном языке в диалоговом режиме.

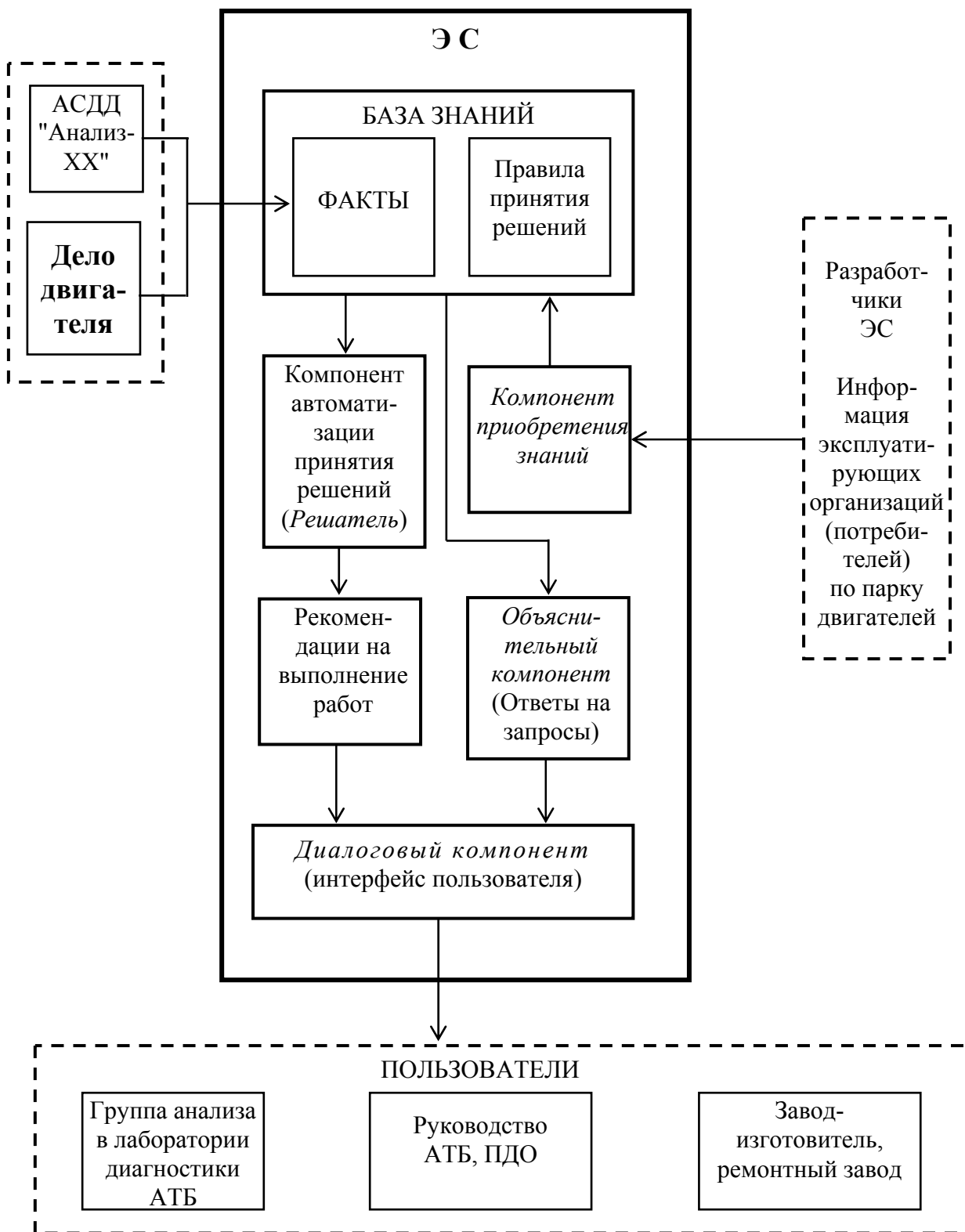


Рис. 2. Компоненты системы "Эксперт-XX"

4. ФОРМИРОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА В ЭС "ЭКСПЕРТ-XX"

Экспертная система по своему главному назначению является интерпретатором фактов по правилам, сформулированным экспертами. Одним из основных источников фактов в той предметной области, для которой создается ЭС «Эксперт-XX», является обобщение опыта эксплуатации АСДД с анализом и рекомендациями о необходимости тех или иных работ и правилами принятия решений по каждому диагностическому сообщению АСДД (ДС). Правила принятия решений имеют вид бинарных деревьев. Представленное дерево состоит из пронумерованных вершин и дуг, связывающих эти вершины. Вершины деревьев содержат информацию трех типов:

- рекомендуемые действия по проверке наличия фактов, с включением процедурных блоков;
- справочную информацию, относящуюся к текущему факту;
- логический вывод, предоставленный решателем системы (в случае нечеткого решения пользователь может либо согласиться с ним, либо отвергнуть его, взяв управление на себя).

Справочная информация – это та информация, которая необходима для подтверждения или отрицания факта. В случае подтверждения факта осуществляется переход на одну сторону, при отрицании – на другую. В зависимости от ответа на вопрос определяется, какой должен быть задан следующий параметр или какое будет получено заключение. Под заключением понимается рекомендуемый перечень работ на двигателе. В конечном узле указывается справочная информация по рекомендуемым работам (технологическая карта). В вершинах дерева под фактами понимается:

- достоверность ДС и наличие других ДС;
- величина и характер изменения параметра (скачок, тренд);
- превышение норм по другим системам контроля (спектральный анализ масла, гонки двигателя и т.д.);
- результаты дополнительных проверок и осмотров (химический анализ масла, наличие запаха и т.д.);
- результаты решения процедурных блоков по локализации неисправностей.

Дерево решений для каждого диагностического сообщения АСДД может оставаться неизменным, но факты для различных двигателей отличаются. Набор фактов характеризует состояние конкретного двигателя. Дерево решений, предложенное экспертом, содержит в себе последовательность правил вывода: "ЕСЛИ <перечень фактов, объединенный связкой "И"> ТО <целевое утверждение>". Таким образом, база знаний системы «Эксперт-XX» представляет собой совокупность правил принятия решений вида ЕСЛИ ..., ТО ..., являющимися продуктами логического вывода.

Решатель системы «Эксперт-XX» по коду диагностического сообщения определяет и активизирует часть Базы знаний, соответствующую дереву принятия решений по выбранному диагностическому сообщению. Дальнейшая работа решателя системы осуществляется по правилам принятия решений, включенным в активизированное дерево.

ЭС "Эксперт-XX" использует из других подсистем следующую информацию:

- результаты анализа полетной информации (АСДД "Анализ-XX");
- данные спектрального анализа масла;
- данные неразрушающих методов контроля (НМК);
- статистику по отказам, неисправностям двигателя и методам их устранения;
- статистику по наработкам агрегатов и двигателей;
- данные по выполнению регламента, бюллетеней и доработок;
- данные по замене узлов, агрегатов и двигателей;
- результаты наземных опробований двигателей;
- данные смотровых и регулировочных работ;
- замечания экипажей по бортжурналу.

Перечисленная информация рассматривается системой "Эксперт-XX" как факты и накапливается в БЗ для использования в процессе логического вывода.

Система "Эксперт-XX" должна иметь непосредственный доступ к информации АСДД (в системах 5-го поколения – и к ее бортовой части). При этом наземная часть АСДД обеспечивает:

- перезапись ленты МСРП на жесткий диск персонального компьютера;
- обработку полетной информации;
- формирование выходных документов (основным выходным документом является карта технического состояния двигателя, содержащая перечень диагностических сообщений, полученных по результатам обработки полетной информации).

Передача данных из АСДД заключается в формировании карты технического состояния в формате, понятном системе «Эксперт-XX». Остальные факты из АСДД извлекаются по мере необходимости по запросу решателя ЭС. Информация по другим системам используется в основном в виде фактов: "*в норме*", "*не в норме*". При обеспечении связи между подсистемами в виде локальной вычислительной сети возможно использование параметрической информации других систем.

Логический вывод осуществляется путем спуска по дереву решений в соответствии с принятыми локальными решениями на каждом шаге спуска. В каждой вершине дерева решатель выделяет соответствующее правило принятия решения. При этом определяется перечень фактов, необходимых для применения этого правила.

Если все факты доступны решателю непосредственно, то он сам предпринимает попытку выработать локальное решение по этому правилу. Если же требуется извлечение дополнительных фактов из базы данных АСДД или других систем, то решатель определяет и инициирует соответствующий процедурный блок.

Процедурный блок представляет собой процедуру на некотором языке программирования. Управляющий блок (решатель) сообщает процедурному блоку перечень имен фактов, которые требуется предоставить, а также способ их нахождения. В случае если существует возможность однозначно интерпретировать факты, то процедурному блоку передается также и правило, по которому должно быть принято решение. В этой ситуации процедурный блок осуществляет извлечение фактов, применяет к ним соответствующее правило и вырабатывает код возврата, на основании которого решатель принимает локальное решение в данной вершине. Если же однозначно интерпретировать факты невозможно, то процедурный блок лишь извлекает факты и предоставляет пользователю визуальную информацию, на основании которой он (пользователь) вырабатывает локальное решение в режиме ручного принятия решения.

Если анализируемая вершина дерева является конечной (листом), то принятое локальное решение является окончательным логическим выводом.

5. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Важнейшей системой, с которой взаимодействует ЭС "Эксперт-XX", является АСДД. Она является одним из источников фактов технического состояния конкретного эксплуатируемого двигателя, полученных при обработке полетной информации.

В современных АСДД одним из основных методов оценки пригодности двигателя к дальнейшей эксплуатации является контроль технического состояния проточной части двигателя с использованием метода допускового контроля замеряемых термогазодинамических параметров [4]. Такой метод контроля технического состояния проточной части позволяет отнести двигатель к категории "исправен" или "неисправен", не указывая при этом на место (локализацию) неисправности.

Повышение глубины диагностирования возможно в двух основных направлениях:

- разработка алгоритмов локализации неисправностей с использованием математических моделей (ММ), в том числе на борту – с применением технологии нейронных сетей (НС) [5], повышающих надежность системы в полете;
- создание логических моделей поиска неисправностей (правил экспертов).

Использование логических моделей поиска неисправности повышает глубину диагностирования за счет сопоставления результатов полетной информации АСДД с результатами контроля других систем наземного контроля. Другими словами, в правилах принятия решения, заложенных в БЗ экспертной системы, используются факты, полученные из разных систем контроля и диагностирования двигателя. Это те факты, которые, с точки зрения эксперта, необходимы для локализации неисправности и принятия достоверного решения по дальнейшей эксплуатации двигателя.

Нужно отметить, что наряду с линейными (физическими) ММ в процедурном блоке локализации неисправности в условиях эксплуатации могут применяться и статистические модели в виде регрессионных зависимостей отклонений параметров состояния узлов от отклонений регистрируемых параметров [6]. Эти регрессионные зависимости получают путем обработки накопленной за длительный период эксплуатации статистической информации либо путем многофакторного эксперимента на основе сложной нелинейной математической модели. Преимущества регрессионной модели заключаются в отсутствии погрешности линеаризации. Однако получение такой модели очень трудоемко, и она не является гибкой в случае изменения исходной нелинейной математической модели (например, при модификации двигателя).

Опыт эксплуатации авиадвигателей НК-86 показывает, что характеристики даже исправных двигателей в процессе выработки ресурса заметно ухудшаются в результате непрерывного износа их деталей. Износ в данном случае понимается в широком смысле этого слова. Это не только механический и эрозионный износ, но и усталостные повреждения, остаточные деформации и коррозия деталей. Причинами износа являются механические и тепловые воздействия рабочего тела, сопровождающиеся выработкой воздушных и газовых уплотнений, эрозией и коррозией лопаток компрессора и турбины, изменением размеров проточной части двигателя. В целом это влечет за собой отклонения от расчетных значений площадей проходных сечений двигателя, коэффициентов потерь в его элементах, что в конечном итоге приводит к уменьшению тяги двигателя и увеличению удельного расхода топлива.

Различают три периода в эксплуатации двигателя [7]. В начальный период эксплуатации (период приработки) наблюдается заметное ухудшение основных характеристик двигателя по наработке, главным образом из-за интенсивного увеличения зазоров от износа вращающихся деталей и уплотнений. В этот период происходит приработка деталей двигателя. На износ двигателя большое влияние оказывают воспринимаемые им изменяющиеся внешние нагрузки (инерционные и гироскопические силы и моменты), возникающие при взлетах, полетных маневрах, при посадках и реверсировании. Такие нагрузки приводят к изгибным деформациям роторов и корпусов двигателя. В результате происходит износ гребешков лабиринтного уплотнения или уплотняющего покрытия, концов лопаток и т.д. В конечном итоге интенсивное увеличение зазоров ведет к ухудшению к.п.д. узлов.

После периода приработки наступает период нормальной эксплуатации двигателя, при котором интенсивность ухудшения параметров двигателя заметно уменьшается. Этот период может также характеризоваться своими особенностями. В начале быстрее изнашивается холодная часть двигателя по сравнению с горячей. Постепенно накапливаются изменения в проточной части, вызываемые эрозией, попаданием посторонних предметов. Затем происходит расширение областей и нарастание уровня повреждений горячей части двигателя при непрерывно развивающемся износе его холодной части.

Третий период – это период старения, или интенсивного износа. Износ деталей и узлов определяется главным образом их конструктивно-технологическим совершенством и газодинамическими особенностями двигателя и его рабочего процесса в целом, а, следовательно, различается по типам двигателей. Сопутствующее влияние на износ в течение всего эксплуатационного периода оказывают условия эксплуатации и техническое обслуживание двигателя, в том числе замена его модулей. Здесь желательна назначение плавающих технических допусков по мере выработки ресурса двигателя [8].

На картину естественного износа двигателя в процессе эксплуатации накладывается загрязнение его проточной части (ПЧ). Загрязнение ПЧ, в особенности компрессора, оказывает сильное влияние на ухудшение эксплуатационных характеристик двигателя. Для частичного восстановления характеристик в условиях эксплуатации желательна периодическая промывка тракта двигателя.

ВЫВОДЫ

При разработке систем диагностирования авиадвигателей целесообразно организовывать их в виде СПР 3-х уровней. При этом на первом уровне (АСДД) для повышения надежности системы в бортовой части желательнее применять технологии НС.

Предпочтительно назначение плавающих технических допусков по мере выработки ресурса двигателя, что повысило бы уровень достоверности диагностирования двигателя. При этом важно исследовать соотношение влияния износа и загрязнения на изменение характеристик двигателя.

Актуальной для эксплуатации задачей является исследование возможности использования диагностических матриц или таблиц коэффициентов влияния для оценки степени загрязнения проточной части двигателя и назначения периодичности промывки тракта двигателя при его техническом обслуживании.

Литература

- [1] Криволицкий Ю.К., Кузнецов Н.С., Лабендик В.П. *Анализ эффективности контроля технического состояния газоздушного тракта двигателя НК-86 в АСД "Анализ-86"*. Рига, РКИИГА, 1991 (Деп. в ЦНТИГА 4.03.91, 837-га 91). 34 с.
- [2] Абрамов В.И., Кузнецов Н.С., Лабендик В.П. *Принципы построения экспертной системы диагностирования двигателей НК-86*. Рига: РАУ, 1993 (Деп. в НТИЦ ГА 22.12.93 г., № 883 – га93). 19 с.
- [3] Лабендик В.П., Кузнецов Н.С. Разработка принципов создания и схемы многоуровневой системы принятия решений (СПР) по эксплуатации парка авиадвигателей, *Тезисы докл. МНТК "Современные научно-технические проблемы гражданской авиации"*, Москва, 20-21 апреля 1999. М.: МГТУ ГА, 1999. с. 87-88.
- [4] Ахметзянов А. М., Дубравский Н. Г., Тунаков А. П. *Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам*. М.: Машиностроение, 1983. 206 с.
- [5] Kopytov E., Labendik V., Osis A., Tarasov A. Neural networks application for analysis of flight information in aircraft engine diagnostic system, *TRANSPORT and TELECOMMUNICATION*, Vol. 7, No 2. Riga: TTI, 2006. pp. 287-294.
- [6] Чичков Б. А. *Методические рекомендации к построению и использованию статистических диагностических моделей авиационных ГТД*. М.: МГТУ ГА, 2002.
- [7] Буточников А. П. О влиянии износа газотурбинных двигателей в летной эксплуатации на ухудшение их экономичности, *Труды №1007*. М.: ЦИАМ, 1982.
- [8] Kopytov E., Labendik V., Kuznetsov N. Transport AIDS state control principles in critical conditions, *Programme and Abstracts of the International Conference "RELIABILITY and STATISTICS in TRANSPORTATION and COMMUNICATION" (RelStat'02)*, Riga, Latvia, 17-18 October 2002. Riga: TSI. pp. 28-29.