

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ПРИЧИН НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

© 2016 О.В. Перфильев, С.Г. Рыжаков

Ульяновский филиал конструкторского бюро ПАО «Туполев»

Статья поступила в редакцию 21.10.2016

В статье обоснована необходимость перехода от действующей бумажной документации к электронной эксплуатационной документации с помощью экспертной системы, описана структура базы знаний, включающая в себя формализованные знания специалистов предметной области. Выданные экспертной системой рекомендации содержат всю необходимую информацию для специалистов по устранению найденной неисправности с подробными пояснениями и ссылками на нормативно-технический документ. Данная система предназначена для обучения молодых специалистов. Годовой экономический эффект при внедрении экспертной системы в авиакомпанию из 5 самолётов составит 28 млн.руб.

Ключевые слова: экспертная система, самолет, база знаний, эксперт.

Список использованных сокращений

- РО – Регламент технического обслуживания
- РЭ – Руководство по технической эксплуатации
- РЛЭ – Руководство по лётной эксплуатации
- ЖЦ – Жизненный цикл
- МСРП – Бортовая система сбора и обработки параметрической информации
- ПиУН – Поиск и устранение неисправностей
- ВС - Воздушное судно
- ПКИ – Покупные комплектующие изделия
- ТО – Техническое обслуживание
- ТК – Технологическая карта
- БЗ – База знаний
- ЭСАН – Экспертная система анализа причин неисправностей на самолёте
- ЛА – Летательный аппарат
- ПК – Персональный компьютер
- ПТО – Плановое техническое обслуживание
- ЭТД – Эксплуатационно-техническая документация

Развитие авиационной отрасли ведёт к постоянному наращиванию объёмов нормативно-технической документации по поиску неисправностей в различных системах летательных аппаратов. При проведении осмотра, форм технического обслуживания (ТО) и обнаружении какой-либо неисправности происходит обращение авиационных специалистов к нормативно-технической документации (РО, РЭ) и

технологическим картам (ТК), в которых описаны способы устранения неисправностей в бумажном виде. При этом, однако, возникают определённые сложности, к которым относят:

- рутинные операции, связанные с обращением к эксплуатационно-технической и ремонтно-технической документации, и в случае отсутствия решения по конкретной неисправности её дополнение и редактирование;
- эмпирический способ перебора возможных решений в зависимости от опыта, знаний и умений специалистов при проверке комплектующих изделий и элементов функциональной системы (обрывы электроцепей, изломы, и др.), что приводит к увеличению времени проверки;
- практически невозможно увеличить объём и глубину анализа неисправностей, приведённых в РЭ, в течение жизненного цикла (ЖЦ) самолёта;
- при ручном контроле возникает вероятность пропуска дефекта, что может привести к отказу оборудования в полёте, что в свою очередь может привести к катастрофическим последствиям.

В результате резко снижается эффективность эксплуатации ЛА (рис. 1).

Выходом из положения является создание и использование специализированной человеко-машинной экспертной системы анализа причин неисправностей на самолёте (ЭСАН) на различных устройствах (смартфонах, планшетных компьютерах, персональных ПК).

Целью создания ЭСАН является повышение оперативности поиска за счёт создания мобильного пользовательского интерфейса с использованием искусственного интеллекта при поиске причин неисправностей на самолёте.

Достижение указанной цели связано с решением следующих задач:

*Перфильев Олег Владимирович, кандидат технических наук, инженер-конструктор 2 категории.
E-mail: oleg_perfiliev@mail.ru
Рыжаков Станислав Геннадьевич, кандидат технических наук, директор филиала. E-mail: ufkbtu@mv.ru*

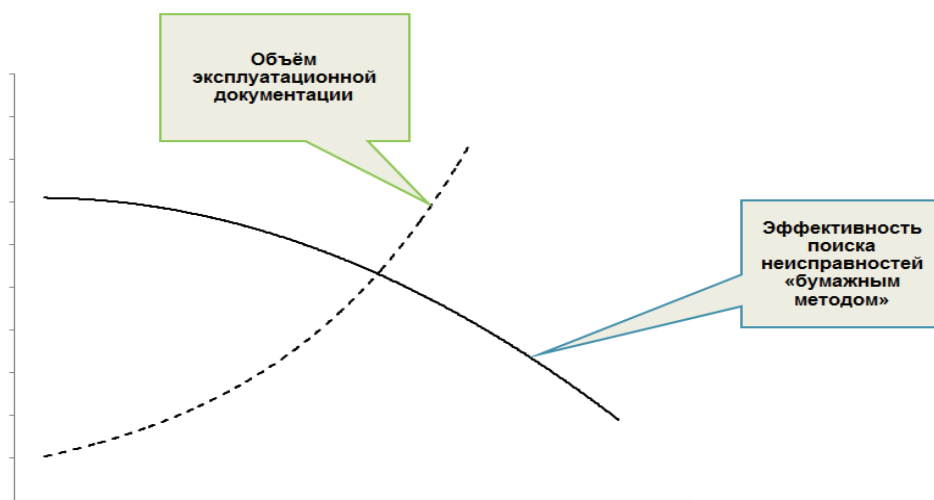


Рис. 1. Рост объема эксплуатационной документации и снижение эффективности эксплуатации при использовании «бумажного метода»

- сбор и регистрация видов отказов;
- снижение времени вынужденного простоя ВС;
- повышение квалификации технического персонала (авиаспециалистов) за счет обучения от системы;
- предотвращение ошибочных действий при принятии решений авиаспециалистами;
- применение эффективных алгоритмов поиска причин неисправностей.

ЭСАН представляет собой компьютерную программу «Когнитолог», установленную на компьютерах зарегистрированных Пользователей, включает в себя иерархическую структуру базы знаний (БЗ).

КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ ПОТЕРИ ВРЕМЕНИ НА ПОИСК И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

- обращение к эксплуатационно-технической и ремонтно-технической документации (в бумажном или сканированном виде) и её постоянное обновление (дополнение) в течение ЖЦ изделия;

- недостаточная эффективность систем встроенного контроля и диагностирования (большое число не выявленных и ложных отказов);
- высокая трудоемкость составления бумажных документов;
- необоснованные демонтажно-монтажные работы на борту.

На рис. 2 показан процедура поиска неисправностей с помощью «ручного метода».

СТРУКТУРА БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭСАН

База знаний (БЗ) ЭСАН содержит исходную информацию, приведённую в Таблице 1. В течение жизненного цикла экземпляра ВС, когнитологи (эксперты) обеспечивают сбор и ввод в БЗ информации в соответствии с табл. 2, 3 [1].

БЗ содержит классификацию неисправностей (иерархию их значимости) и алгоритмы поиска неисправностей на основе правил, имеющих вид продукционных моделей, которые учитываются при выработке рекомендаций по устранению неисправностей. Продукционная модель, или модель, основанная на правилах, позволяет пред-

Таблица 1. Исходная информация базы знаний для экземпляра ВС

| № п/п | Исходная информация базы знаний для экземпляра ВС |
|-------|---|
| 1 | ПиУН из РЭ на самолёт и РЭ на ПКИ, РЛЭ: |
| 1.1 | Виды отказов элементов фидера (эл. проводка, эл. соединители, автоматы защиты) и алгоритм поиска отказов. |
| 1.2 | Виды отказов ПКИ и алгоритм поиска отказов из РЭ на покупное изделие, ТК. |
| 2 | Виды отказов при приёмо-сдаточных лётных испытаниях экземпляра ВС: |
| 2.1 | Виды отказов из листа замечаний по результатам контрольно-испытательного полета. |
| 2.2 | Алгоритмы поиска причин отказов из листа замечаний по результатам полёта |

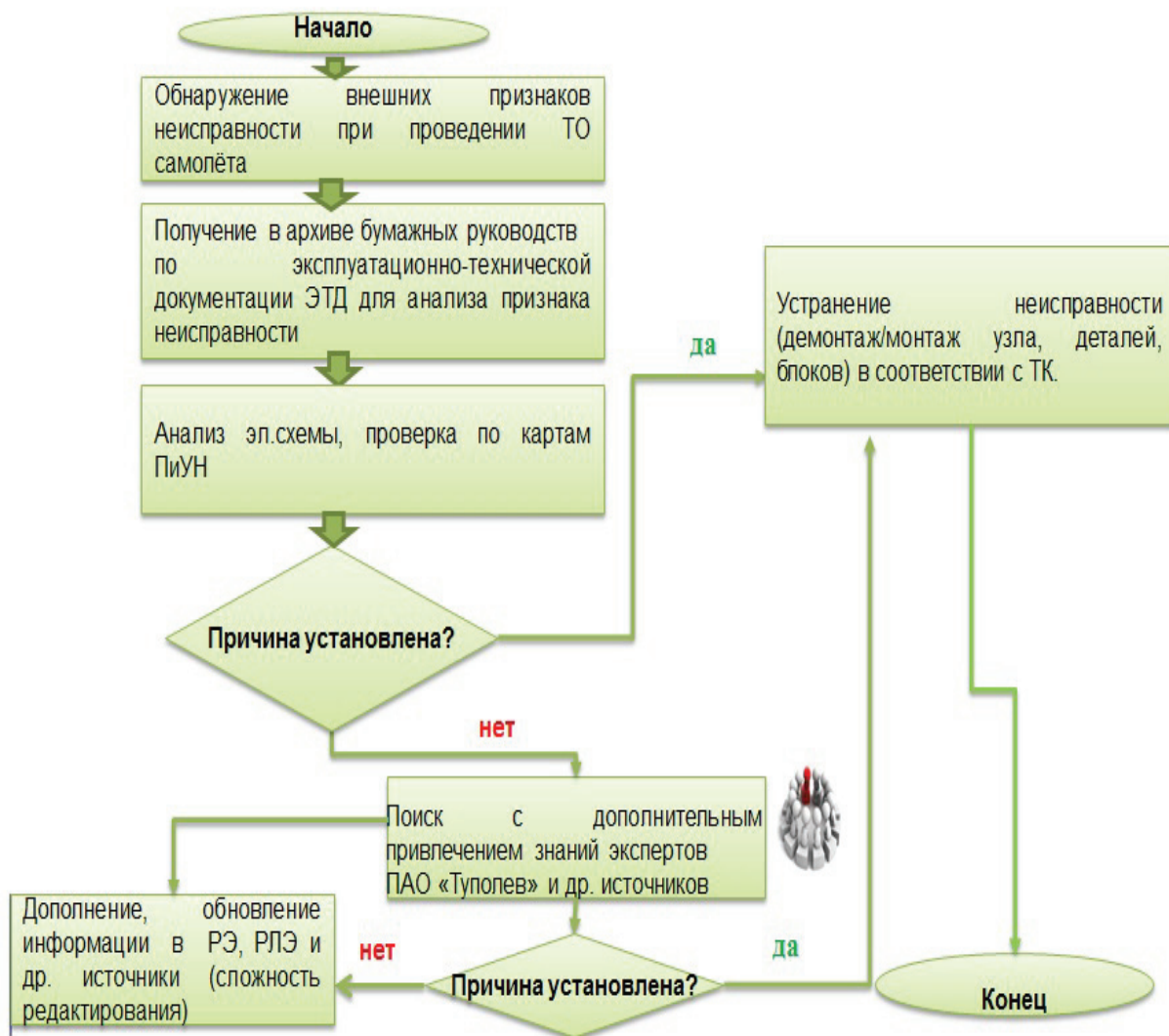


Рис. 2. Процедура поиска неисправностей с помощью «ручного метода»

ставить знания в виде предложений типа «Если (условие)», «то (действие)».

Согласно представленной на рис.3 процедуре поиска и устранения неисправностей при использовании ЭСАН пользователь при обнаружении внешних признаков при проведении формы ТО обращается к ЭСАН для устранения неисправности. В случае, если неисправность устранена, он получает готовое решение с рекомендациями и ссылкой на нормативно-технический документ. Если неисправность не устранена, он обращается за помощью в техподдержку ПАО «Туполев» для

ввода вновь обнаруженных неисправностей в БЗ группой когнитологов до её полного устранения.

ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ЭСАН

«Диалог с системой» предназначен для того, чтобы пользователь при диалоге с экспертной системой смог получить чёткий ответ на поставленный вопрос. В блок выводится список вопросов системы к пользователю. Он выбирает ответ из предложенных ему системой вариантов. Интерфейс оператора состоит из основных

Таблица 2. Информация, поступающая в базу знаний экземпляра ВС в течение ЖЦ

| № п/п | Информация, поступающая в базу знаний экземпляра ВС в течение ЖЦ |
|-------|---|
| 1 | Схемы электрические принципиальные и соединений |
| 2 | Данные бортовых систем: |
| 2.1 | Виды отказов, зарегистрированные многоканальной системой сбора МСРП |
| 3 | Виды отказов и недостатков, зарегистрированные пилотами в журнале замечаний по результатам полёта. Способы их устранения. |
| 4 | Сведения об отказах, поступающие от авиакомпаний. |

Таблица 3. Дополнительная информация, используемая ПО «Когнитолог» при поиске причин неисправностей

| № п/п | Дополнительная информация, используемая ПО «Когнитолог» при поиске причин неисправностей |
|-------|---|
| 1 | Статистические данные, регистрация бюллетеней в ПО «Atlas2». |
| 2 | Дополнительная справочная информация, необходимая для принятия решения о причине отказа. |
| 3 | Данные от высококвалифицированных специалистов (экспертов), вводимые в диалоговом режиме. |

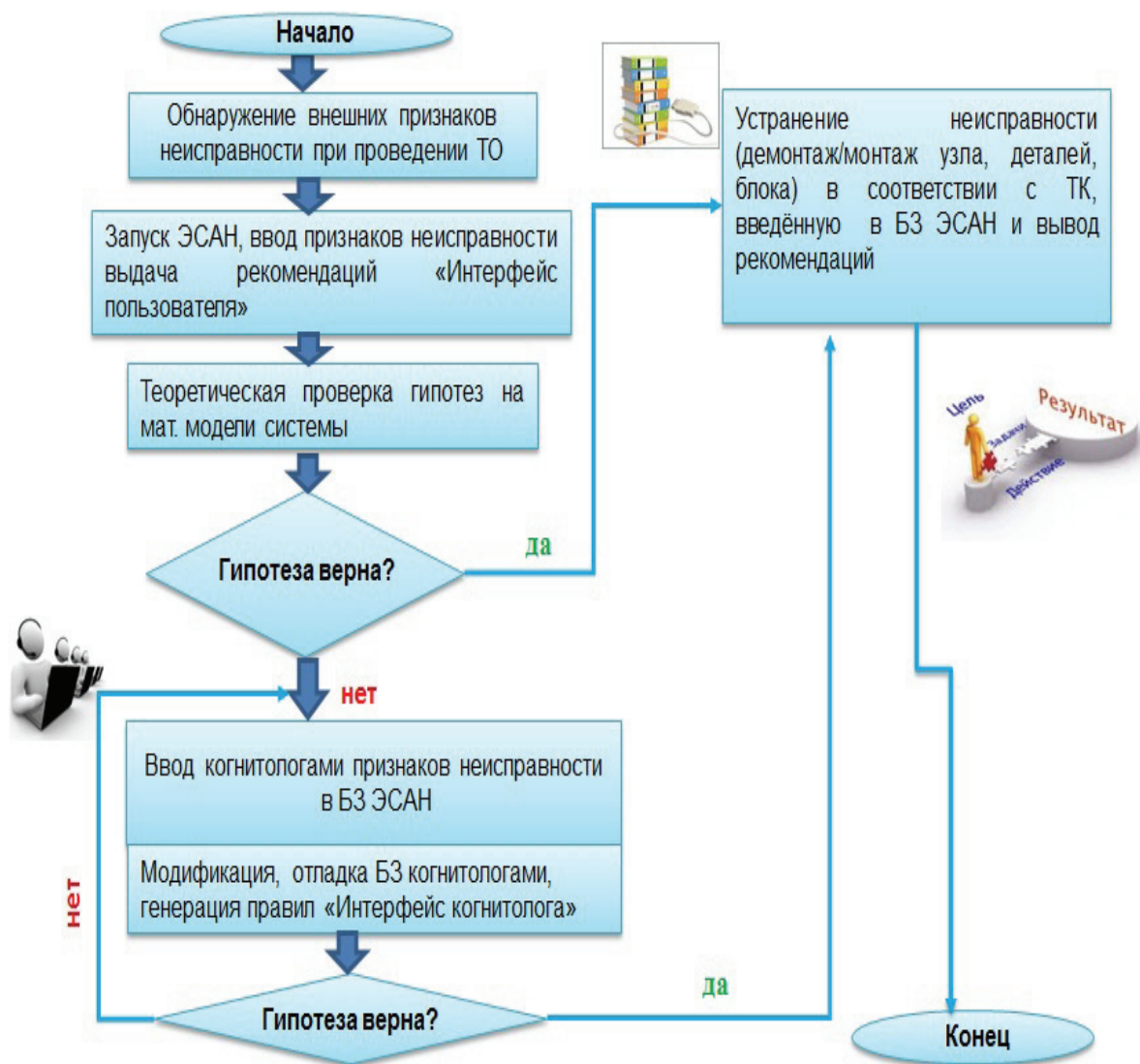


Рис. 3. Процедура поиска и устранения неисправностей при использовании ЭСАН

блоков. Блоки и их описание приведены на (рис. 4). Цифрами обозначено: 1 – блок «Вопросы к системе»; 2 – блок «Ответы»; 3 – блок «Решение»;

1 – блок «**Вопросы к системе**» предназначен для вывода меню экспертной системы, в котором содержатся все возможные задачи, заложенные в её базе знаний. Данное меню представляет собой древовидный список, где все вопросы отсортированы по категориям/тематикам.

2 – блок «**Ответы**» предназначен для вывода ответов. Ответы представлены в виде древовид-

ного иерархического списка.

3 – блок «**Решение**» предназначен для вывода текста с описанием решения и для вывода дополнительного контента, доступ к которому осуществляется из «специального меню».

При разработке системы использовалась:

- среда программирования Java;
- сервер приложений JBoss 6.0.0;
- сервер баз данных PostgreSQL-8.4.4-1;

Java Runtime Environment (JRE) версии не ниже 6 update 21 [2].

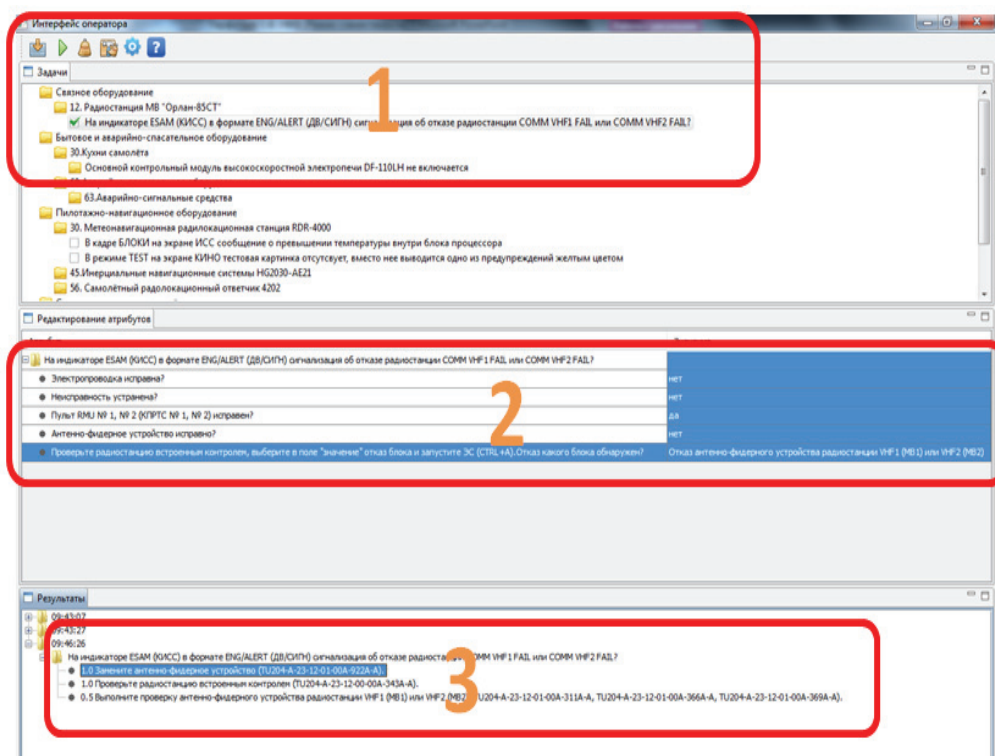


Рис.4. Интерфейс экспертной системы:
 1 – блок «Вопросы к системе»; 2 – блок «Ответы»; 3 – блок «Решение»

Таблица 4. Фрагменты правил экспертной системы

| № п/п | Фрагменты правил |
|----------|---|
| 1 | <p>Система электроснабжения постоянным током Неисправность «При включении аккумулятора № 1 или № 3 (№ 2 или № 4) при отключенных ВУ не горит табло L (R) DC ON BAT ((ЛЕВ (ПРАВ) СЕТЬ ОТ АКК))».</p> <p>Проверьте табло L(R)DC ON BAT, с помощью кнопки OVERHEAD PANEL LAMP TEST (ПУЛЬТ ВЕРХНИЙ КОНТР ЛАМП) на пульте LH LCP (ПРО-2).</p> <p>Если светосигнализатор исправен и предохранитель ВАТ1,3 (2,4) ALERT (СЕТЬ ЛЕВ (ПРАВ) ОТ АКК) исправен и реле сигнализации работы аккумуляторов исправно и электропроводка в реле сигнализации в работе сетей от аккумулятора не исправна, то восстановите неисправную электропроводку.</p> |
| 2 | <p>Система спутниковой связи SATCOM Неисправность «На странице меню SATCOM не отображается сообщение «SAT1 READY».</p> <p>Проверьте систему SATCOM (по ТК № 202).</p> <p>Если не включена или неисправна система SATCOM, то устраните неисправность.</p> <p>Если включена или неисправна система SATCOM, то прозвоните проводку на соответствие схемы соединений.</p> <p>Если неисправна соединительная проводка, то произведите ремонт бортового электромонтажа.</p> <p>Если неисправен блок HSD-440 или его программное обеспечение, то устраните неисправность.</p> |
| 3 | <p>Внешнее светотехническое оборудование Неисправность «Не горят бортовые огни как стояночные при подключении ШРАП при включенном выключателе PARK LTS (СТОЯН ОГНИ)».</p> <p>Проверьте исправность блока.</p> <p>Если неисправен блок ВИПТ 250-27, то замените неисправный блок (ТК №405).</p> <p>Если неисправен блок БСС, то замените неисправный блок. После замены проведите калибровку блока БСС (ТК №204).</p> |

В табл. 4 представлены фрагменты правил экспертной системы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Результатом выполнения является мобильная экспертная система «Когнитолог», внедрение которой позволит существенно снизить затраты времени при обнаружении неисправностей при её использовании.

На основе принципа декомпозиции, разделим время на поиск причин, обусловивших появление неработоспособного состояния агрегата или подсистемы (интеллектуальная часть, логические манипуляции) и время на демонтаж/монтаж узла, устройства (физические манипуляции).

При обнаружении неисправности «При включенном выключателе МСРП на верхнем пульте пилотов горит лампа МСРП на пульте ПУ-50-2» затраты времени составили (согласно рис. 2):

- внешний осмотр и обнаружение неисправности - 0,2 ч.
- поиск руководства по техническому обслуживанию (РО) на неисправную систему в архиве - 0,5 ч;
- изучение схемы электрической принципиальной - 0,3 ч;
- устранение неисправности (с учётом времени на демонтаж/монтаж деталей) - 3 чел.-ч.

Общее время поиска неисправности составило 1ч, а общее время наладки (включая время на демонтаж/монтаж) составило 4 ч.

Описание процесса поиска и устранения неисправности под руководством ЭСАН «Когнитолог» (согласно рис. 3)

Запуск и консультация с ЭСАН «Когнитолог» (согласно рис. 3) даёт правильную локализацию неисправности приблизительно через 0,1 ч. (без учета времени, потраченного на поиск нормативно-технической документации).

Устранение неисправности, включая монтаж/демонтаж (3 чел.-ч.).

Общее время наладки с применением ЭСАН «Когнитолог» составило 3,1 ч.

Таким образом, устранение неисправности с помощью ЭСАН дало экономию времени 0,9 ч.

РАСЧЁТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Расчёт годового экономического эффекта проведём по формуле (1):

$$\Delta = \frac{T_{\text{налет}}}{T_{\text{ПТО}}} T_{\Delta} \cdot n \cdot (C_{\text{нормо-часа}} \cdot K_{\text{СН}} + C_{\text{простоя ВС}}) - A - N, \quad (1)$$

где $T_{\text{налет}}$ – годовой налёт самолёта Ту-204;

$T_{\text{ПТО}}$ – среднемесячный налёт самолёта между плановым техническим обслуживанием (ПТО) ;

T_{Δ} – выигрыш по времени от использования ЭСАН;

n – количество самолётов;

$C_{\text{нормо-часа}}$ – стоимость нормо-часа работ по техническому обслуживанию (ТО);

$K_{\text{СН}}$ – коэффициент, учитывающий социальные налоги;

$C_{\text{простоя ВС}}$ – стоимость 1 часа простоя ВС;

A – стоимость поддержки ЭСАН;

N – стоимость создания ЭСАН.

В табл. 5 представлены значения исходных данных для расчёта экономической эффективности.

Таблица 5. Исходные данные для расчёта экономической эффективности

| | | |
|-------------------------|---|--------------------|
| $T_{\text{налет}}$ | Годовой налёт самолёта Ту-204 | 3000 п.ч. |
| $T_{\text{ПТО}}$ | Среднемесячный налёт самолёта между плановым техническим обслуживанием (ПТО) | 300 п.ч. |
| T_{Δ} | Выигрыш по времени выполнения работы от использования ЭСАН. Время выполнения формы ТО | 8 чел.-ч. |
| n | Количество самолётов | 5 |
| $C_{\text{нормо-часа}}$ | Стоимость нормо-часа работ по техническому обслуживанию (ТО) | 1100 руб./ч. |
| $K_{\text{СН}}$ | Коэффициент, учитывающий социальные налоги | 1,26 |
| $C_{\text{простоя ВС}}$ | Стоимость 1 часа простоя ВС | 80000 руб./ч. |
| A | Стоимость поддержки ЭСАН | 600000 руб. |
| N | Стоимость создания ЭСАН | 4000000 руб. |
| | Экономический эффект | 28 млн.руб. |

При сокращения времени на 20 % с учётом затрат на создание и поддержку ЭСАН годовая прибыль при эксплуатации 5 бортов ЛА составит 28 млн.руб.

ВЫВОДЫ

Использование ЭСАН «Когнитолог» позволит:

- уменьшить время на поиск и локализацию причин неисправности за счет применения ЭСАН в среднем на 20-25% благодаря алгоритмам диагностирования и знаниям из различных источников;
- снизить время простоя ВС;
- снизить количество ошибок при выполнении ТО;
- провести имитацию неисправностей на мат. модели для подготовки и обучение авиаспециалистов (повышение квалификации, качество подготовки);
- вести электронную нормативно-техническую документацию;
- владеть информацией по всему парку самолётов, с автоматическим получением инфор-

мации на другие ПК о выполненных операциях в режиме реального времени;

- снизить информационную нагрузку и рутинные операции на специалистов;
- в действиях бригады людей в основном присутствует эмоциональный фактор, выражающийся в некоторой неупорядоченности действий в отличие от человеко-машинной системы;
- вести коллективный поиск неисправностей в едином информационном пространстве.

Ориентировочный экономический эффект при внедрении ЭСАН в авиакомпанию из 5 бортов составит 28 млн.руб

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перфильев О.В., Рыжаков С.Г.* Применение экспертной системы анализа неисправностей «Когнитолог» при техническом обслуживании систем и оборудования самолёта //Международный научный институт «educatio» III (10), 2015. С. 125-130.
2. *Перфильев О.В.* Экспертная система интеллектуальной поддержки авиаспециалистов при техническом обслуживании систем и оборудования самолёта // Конференция «Системы управления авиационными предприятиями», 16-17 октября 2014 г. С. 1545 – 1549.

TRAINING AVIAEXPERTS WITH USE EXPERT SYSTEM OF THE ANALYSIS THE REASONS MALFUNCTIONS

© 2016 O.V. Perfiliev, S.G. Ryzhakov

Ulyanovsk Branch of Joint-Stock Company «Tupolev»

In article need of transition from the existing paper documentation to electronic operational documentation by means of expert system is proved, the structure of the knowledge base including the formalized knowledge of specialists of subject domain is described. The recommendations issued by expert system contain all necessary information for specialists in elimination of the found defect with detailed explanations and links to the normative and technical document. This system is intended for training of young specialists. Annual economic effect in case of implementation of expert system in airline from 5 planes will make 28 million rubles.

Oleg Perfiliev, Candidate of Technics, Design Engineer.

E-mail: oleg_perfiliev@mail.ru

Stanislav Ryzhakov, Candidate of Technics, the Branch Director. E-mail: ufbktu@mv.ru