

УДК 004.89

*Исмаилов И.М.*Национальная Академия Авиации, Баку, Азербайджан  
[ismayil.maa@gmail.com](mailto:ismayil.maa@gmail.com)**ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПИЛОТА  
В БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ И ЕЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

*Предложены базовая структура экспертно-советующей системы интеллектуальной поддержки экипажа для диагностики и прогнозирования подсистем воздушного судна и ее программное обеспечение. В системе применен пользовательский интерфейс с использованием искусственного интеллекта при поиске причин неисправностей на самолете. При возникновении каких-либо затруднений при управлении самолетом с помощью пилотажно-навигационного комплекса пилот обращается к ЭС за помощью, отвечая на вопросы системы через интерфейс оператора. Используя заполненную базу знаний, система сгенерирует и выдаст пользователю рекомендации с локализацией неисправности.*

***Ключевые слова:** системы управления самолетом, интеллектуальные системы управления, системы искусственного интеллекта, экспертные системы.*

**Введение**

Одним из ключевых направлений на пути создания будущих воздушных судов (ВС) является разработка основ построения бортовых систем управления и поддержки принятия решений. Эти системы для оперативного вмешательства в работу объекта управления (т.е. ВС и его подсистем) используют знания и опыт экспертов, ориентированные на анализ непрерывно меняющейся модели внешней и внутренней среды. В указанных системах, также называемых интеллектуальные системы, знания о неизвестных характеристиках объекта управления и окружающей среды формируются в процессе обучения и адаптации, а полученная при этом информация используется в процессе автоматического принятия решений так, что качество управления улучшается [1].

Процесс осуществления экипажем ВС своей основной деятельности, производства полетов непосредственно связан с решением пилотажно-навигационных задач. Наиболее подробно история развития пилотажно-навигационных комплексов (ПНК) изложена в [2], а анализ развития вычислительных, измерительных средств и средств отображения информации в ПНК имеется в [3]. При этом вне зависимости от типа ВС (в обобщенном виде его также называют летательным аппаратом – ЛА) управление им осуществляет экипаж, что ведет к появлению ошибок, связанных с деятельностью человека. В процессе полета экипаж ЛА взаимодействует с информационно-управляющим полем кабины путем отклонения ручек управления ЛА, ввода данных в подсистемы ПНК, а также получения информации от многофункциональных индикаторов, пультов-индикаторов и т.д. [1]. При этом на данное взаимодействие имеют влияние особенности, связанные с психофизиологией летчика. Большинство существующих ПНК информирует экипаж о достижении предельных режимов полета, отказах навигационного оборудования и общем состоянии ПНК либо дает рекомендации, установленные в рамках руководства по летной эксплуатации. При определенных сочетаниях внешних факторов и отказов навигационного оборудования, возникающих в особых полетных ситуациях, экипаж подвергается сильным психоэмоциональным перегрузкам и имеет ограниченное время для принятия решения, что приводит к появлению критических ошибок управления ЛА (человеческий фактор) [4].

Поскольку возможности экипажа по парированию возникающих на борту особых ситуаций ограничены, требуется внедрение в ПНК интеллектуальной составляющей, т.н. «виртуального эксперта», который аккумулирует опыт поведения реальных экспертов в

области навигации и пилотирования ЛА в особых ситуациях. Это обстоятельство делает актуальной разработку бортовых систем, оснащенных бортовыми экспертными системами (ЭС), снижающими психофизиологическую нагрузку на экипаж ЛА, и позволяет сделать вывод о том, что дальнейшее развитие ПНК тесно связано с внедрением интеллектуальной поддержки экипажа, систем ситуационной осведомленности и дальнейшей интеллектуализацией управления ЛА [5, 6].

### **Постановка вопроса**

Исходя из вышеизложенных рассуждений, ставится вопрос создания и использования специализированной человеко-машинной экспертной системы анализа причин неисправностей как в материальной части самолета, так и в управлении. Целью создания экспертной системы является повышение оперативности поиска за счет создания мобильного пользовательского интерфейса с использованием искусственного интеллекта при поиске причин неисправностей на самолете. При возникновении каких-либо затруднений при управлении самолетом с помощью пилотажно-навигационного комплекса пилот обращается к ЭС за помощью, отвечая на вопросы системы через интерфейс оператора. Используя заполненную базу знаний, система генерирует и выдает пользователю рекомендации с локализацией неисправности, а в подсистемах самолета, объясняя при этом ход своих рассуждений при помощи модуля объяснений (даже при неполной информации), с указанием степени уверенности эксперта [7].

### **Решение задачи**

Предложены экспертно-советующая система и ее программное обеспечение для диагностики и прогнозирования подсистем воздушного судна. Обобщенная схема базовой структуры ЭС интеллектуальной поддержки экипажа и ее взаимодействие в составе ПНК для ЛА показаны на рис. 1.

Как видно из схемы, данные, поступающие от датчиков и бортового оборудования, входящих в состав пилотажно-навигационного комплекса, принимаются и первично обрабатываются в соответствующем блоке, после чего поступают в качестве фактов в рабочую память ЭС. Далее с использованием машины логического вывода и базы знаний система формирует оценку сложившейся ситуации и передает ее в блок формирования сообщений экипажу, после чего данные сообщения поступают по каналу связи на информационно-управляющее поле кабины для непосредственного отображения экипажу ЛА.

В базе знаний экспертной системы [8, 9] записывается список возможных проблемных ситуаций и с каждой из них сопоставляются определенный ответ, рекомендация или подлежащее непосредственному выполнению мероприятие. Получив ответ от пользователя о реальной проблемной ситуации, система должна однозначно определять соответствие этой информации с одним или несколькими «шаблонами», размещенными в базе знаний. Информация получается в результате обращения к ней вопросами в последовательном порядке, так как, как правило, содержание последующих вопросов зависит от ответов предыдущих вопросов. Каждый отрывок новой информации, отправленной в виде ответа на заданный вопрос, уменьшает неопределенность о проблемной ситуации. Понятно, что уменьшение неопределенности происходит только в том случае, если в экспертной системе имеются соответствующие знания. Правильно построенная система путем задания минимального количества вопросов должна уметь точно идентифицировать проблемное состояние.

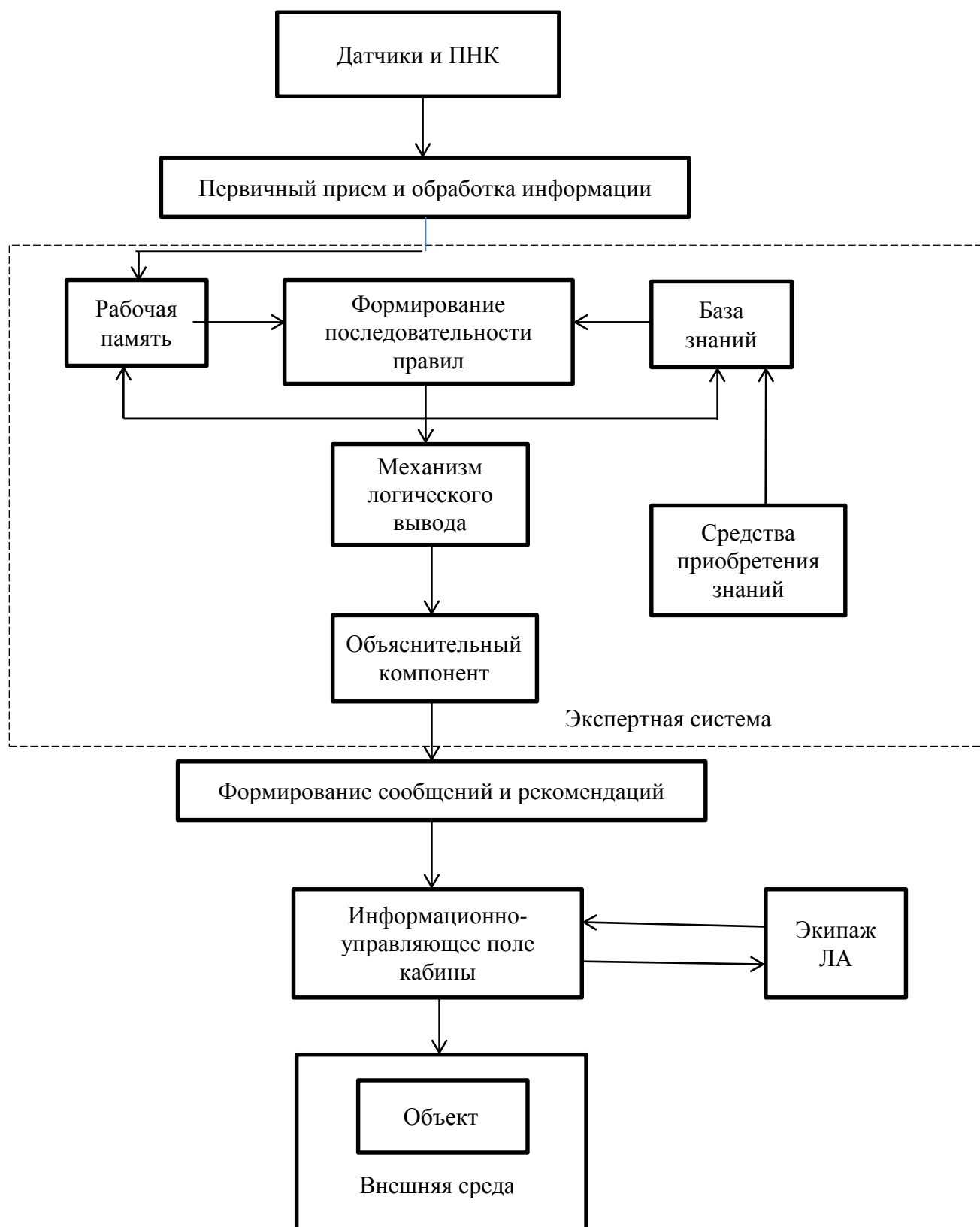


Рис.1. Базовая структура ЭС интеллектуальной поддержки экипажа ЛА

Блок-схема алгоритма функционирования экспертной системы приведена на рис.2.

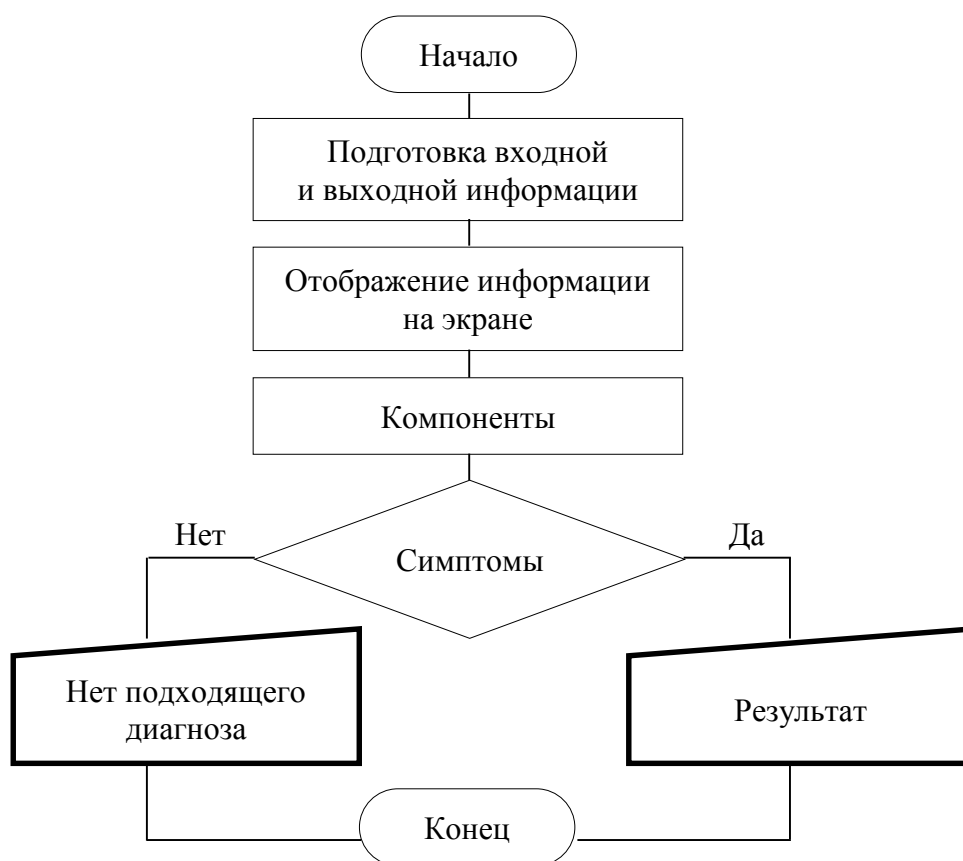


Рис.2 Блок-схема алгоритма функционирования ЭС

Прежде чем визуализировать программу, в первую очередь создается ее база. База в основном готовится в Microsoft Access. Эта база состоит из трех взаимосвязанных таблиц. Первая из этих таблиц является списком проблем, возникающих в бортовом оборудовании во время полета воздушного судна. Типовые проблемы, возникающие перед пользователем (пилотом), отображены в таблице 1.

Эта таблица, пользуясь выражением «тип», указывающим, к какой подсистеме относится неисправность, и имеющим особое значение при безопасном управлении современного самолета, связана с другими таблицами ключевыми словами «FMS», «EFIS», «EICAS». Запросы ведутся по участку «тип».

```
adoquery1.SQL.Text:='select * fromproblemlerwheretip=:tip';
```

```
ADOQuery1.parameters.parambyname('tip').value:='FMC';
```

```
adoquery1.ExecSQL (таблица 1)
```

```
adoquery1.Open;
```

Таблица 1

Типовые проблемы, возникающие перед пользователем (пилотом)

Код	Проблема	Тип
1	Канал управления	FMC
2	Канал наблюдения	FMC
3	Информационный канал	FMC
4	Неполадка концентратора	FMC
5	Неполадка MCDU	FMC
6	Неполадка в шине ARINC-429	FMC
7	Неполадка PFD и ND	FMC
8	Двигатель самолёта	FMC
9	Неполадка в дисплее предупреждения двигателя	EFIS
10	Неполадка в дисплее PFD	EFIS
11	Неполадка в дисплее ND	EFIS
12	Неполадка в дисплее ECAM	EFIS
13	Неполадка в дисплее FWC	EFIS
14	Неправильное отображение параметров двигателя	EICAS
15	Не чувствуется регулярность в работе двигателя	EICAS
16	Неполностью поясняются ошибки системы EICAS во время	EICAS
17	Задержка пожарной сигнализации двигателя	EICAS
18	Не работает сигнализация предупреждения силы тяги	EICAS
* (New)		

Вторая таблица является таблицей «симптомов». В этой таблице каждой проблеме соответствует несколько симптомов. Ключевым участком, связующим таблицы с другими таблицами, является участок «проблемы».

```
adoquery1.SQL.Text:='select simptomi from simptomi whereproblem=:prob';
adoquery1.Parameters.ParamByName('prob').Value:=listbox1.items[listbox1.itemindex]
;
adoquery1.execsql;
adoquery1.Open;
```

Таблица 2

Таблица «симптомов»

ID	Симптомы	Проблема
1	С канала не поступает информация	Канал управления
2	Информация поступает в искаженной форме	Канал управления
3	Неправильное подключение информационных передатчиков в канале	Канал управления
4	Неполадки в канале коммутации	Канал управления
5	Не осуществляется полное наблюдение в канале	Канал наблюдения
6	Дисплеи неправильно подключены к каналу	Канал наблюдения
7	В дисплеях неправильно выбраны алгоритмы обработки данных	Канал наблюдения
8	Ожидается приоритет обработки информации	Канал наблюдения
9	Неполное получение информации об этапах полёта самолёта	Информационный канал
10	Неправильный выбор параметров полета, присущих каждому этапу полета	Информационный канал
11	Учитывание тангажа и крена в каждом этапе	Информационный канал
12	Неверный выбор автопилота	Информационный канал
13	Неверный выбор входов компьютеров наблюдения Slat и Flap	Неисправность концентратора
14	Неверный выбор каналов Slat и Flap	Неисправность концентратора
15	Учитывание изменений в траектории полёта	Неисправность концентратора
16	Неправильный выбор первого концентратора управления полетом данных	Неисправность концентратора
17	Неправильный выбор второго концентратора управления полетом данных	Неисправность концентратора
18	Неправильный выбор кнопок MSDU	Неисправность MCDU
19	Неверный ввод данных полёта в MSDU	Неисправность MCDU
20	Неправильный выбор меню	Неисправность MCDU
21	Неверный ввод данных полётов и аэропортов назначения в MSDU	Неисправность MCDU
22	Неполная работа световых сигналов	Неисправность MCDU
23	Неправильное размещение элементов сети	Неис-ть в шине ARINC-429
24	Слабая проводимость сети	Неис-ть в шине ARINC-429
25	Слабая скорость передачи информации	Неис-ть в шине ARINC-429
26	Неправильное кодирование передачи информации	Неис-ть в шине ARINC-429
27	Исключение передаваемого слова в канале	Неис-ть в шине ARINC-429
28	Неверный выбор режима дисплея навигации	Неисправность PFD и ND
29	Генерация изображения в дисплеях выполняется неправильно	Неисправность PFD и ND
30	Неполадки в работе дисплея предупреждения двигателя (ECAM)	Неисправность PFD и ND

Третья таблица является таблицей «диагнозов», и здесь ключевым словом выступает участок «тип».

```
adoquery1.SQL.Text:='select * from diaqnozı where say=:analiz and tip=:tip';
adoquery1.Parameters.ParamByName('tip').Value:=listbox1.items[listbox1.itemindex];
adoquery1.Parameters.ParamByName('analiz').Value:=analiz;
adoquery1.execsql;
```

Таблица 3

Таблица «диагнозов»

ID	Счёт	Тип
1	3	Канал управления
2	7	Канал управления
3	3	Канал наблюдения
4	7	Канал наблюдения
5	3	Информационный канал
6	7	Информационный канал
7	3	Неисправность концентратора
8	12	Неисправность концентратора
9	15	Неисправность концентратора
10	3	Неисправность MCDU
11	7	Неисправность MCDU
12	10	Неисправность MCDU
13	5	Неисправность в шине ARINC 429
14	10	Неисправность в шине ARINC 429
15	7	Неисправность в шине ARINC 429
16	3	Неисправность PFD и ND
17	7	Неисправность PFD и ND
18	3	Двигатель самолёта
19	7	Двигатель самолёта
20	1	Неисправность в дисплее предупреждения
21	5	Неисправность в дисплее предупреждения
22	3	Неисправность в дисплее PFD
23	7	Неисправность в дисплее PFD
24	3	Неисправность в дисплее ND
25	7	Неисправность в дисплее ND
26	1	Неисправность в дисплее ECAM
27	5	Неисправность в дисплее ECAM
28	3	Неисправность в дисплее FWC
29	7	Неисправность в дисплее FWC
30	1	Mühərrik parametrlərinin düzgün

Открывшееся первичное окно программы во время компиляции приведено на рис.3

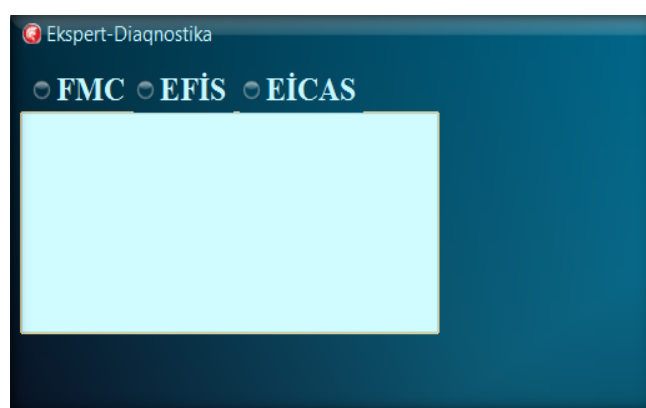


Рис.3. Первичное окно программы

Как видно из открывшегося окна, программа состоит из трех частей, где каждая ее часть характеризует проблемы, возникающие в отдельных подсистемах воздушного судна. Дадим краткую характеристику основных подсистем ВС:

1. **FMC** – *Flight Management Computer* (компьютер управления полетом) – данный компьютер предназначен для оказания помощи пилотам при реализации режимов полета. Основной функцией FMC является точное определение местоположения и направления самолета по заданному маршруту.
2. **EFIS** – *Electronic Flight Instrument System* (система электрооборудования полета) – дисплеи EFIS состоят из основного полетного дисплея (*Primary flight display – PFD*) и навигационного дисплея (*Navigation display – ND*). Эти дисплеи попарно предназначены как для командира корабля (*Captain*), так и для второго пилота (*Firstofficer*).
3. **EICAS** – *Engine Indicating and Crew Alerting System* (комплексная информационная система сигнализации двигателей). Эта система в основном предназначена для контроля двигателей и управления их параметрами. Два компьютера системы, принимая аналоговую и цифровую информацию от различных систем ВС и сенсоров, анализируют их и формируют сигналы для индикации. Один из компьютеров управляет обоими дисплеями, а другой остается в резерве.

В открывшемся окне, при клике на любой соответствующий его участок (FMC, EICAS, EFIS), появляются соответствующие ему проблемы (рис.4, рис.5, рис.6).

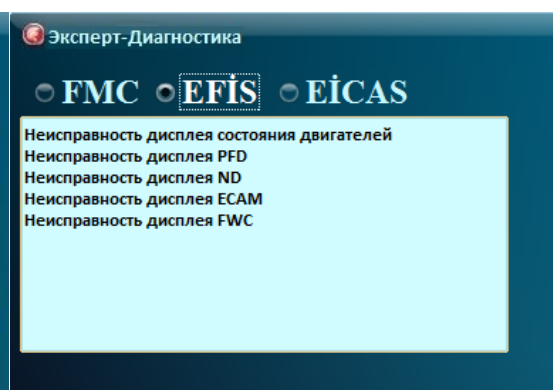


Рис.4. Неисправности в подсистеме FMC    Рис.5. Неисправности в подсистеме EFIS

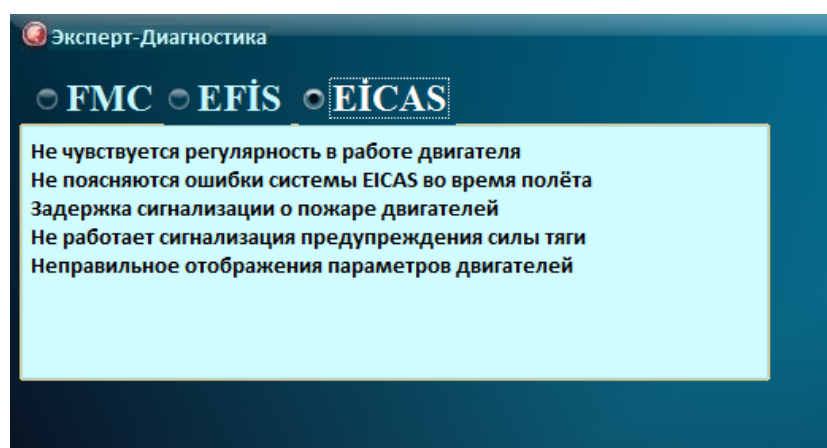


Рис.6. Неисправности в подсистеме EICAS

Как видно, на экране отображаются проблемы, характерные для каждого участка. Здесь каждой проблеме соответствует несколько симптомов. Кликнув на эти символы отдельно на каждую проблему, сможем увидеть следующее (рис.7).

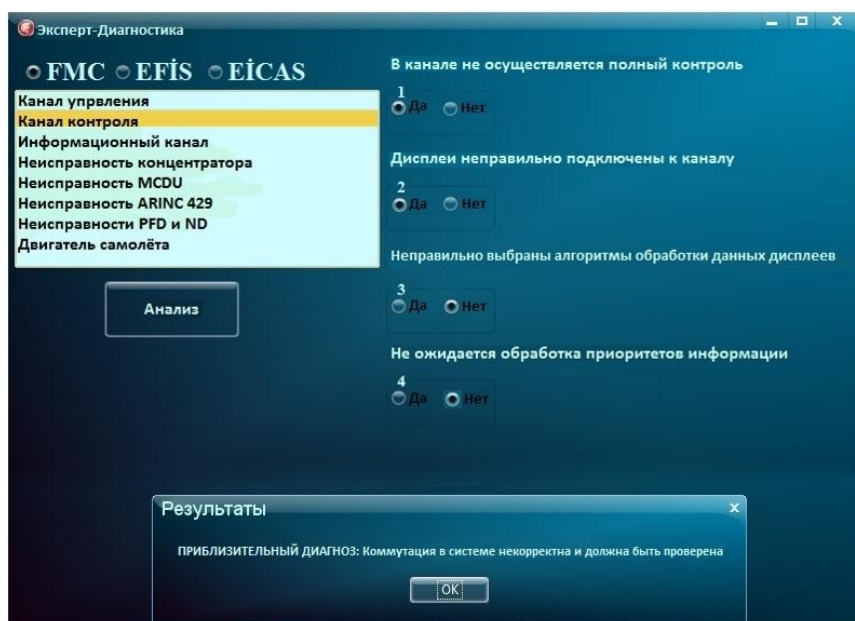


Рис.7. Определение диагноза по соответствующим симптомам в разделе «Канал контроля» системы «FMC»

Как видно из рисунка, в разделе «Канал контроля» системы «FMC» указаны (выделена) проблема и несколько предполагаемых симптомов, соответствующих возникновению этой проблемы. Программа в зависимости от выбранного симптома даст различные диагнозы. Здесь, выбрав диагноз, соответствующий проблеме, переходим к клику «Анализ».

Рассмотрим диагноз, соответствующий 1-му и 2-му симптомам (рис.8).



Рис.8. Диагноз, соответствующий 1-му и 2-му симптомам



Диагноз, соответствующий 3-му и 4-му симптомам, выглядит следующим образом (рис.9).

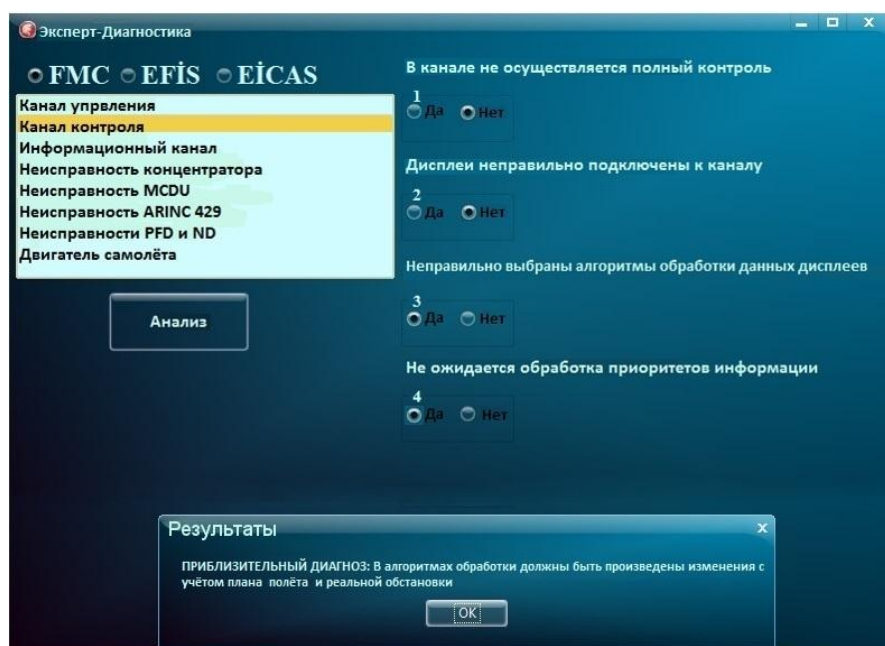


Рис.9. Диагноз, соответствующий 3-му и 4-му симптомам

Таким образом, создание экспертно-советующей системы и ее программное обеспечение для диагностики и прогнозирования таких важных подсистем самолета, как FMC, EFIS и EICAS, обеспечивают информационную поддержку пилота и помогают ему принять правильное решение.

### Заключение

Исходя из проведенного анализа, что дальнейшее развитие ПНК тесно связано с внедрением интеллектуальной поддержки экипажа, систем ситуационной осведомленности и дальнейшей интеллектуализацией управления ЛА, предложены базовая структура экспертно-советующей системы интеллектуальной поддержки экипажа для диагностики и прогнозирования подсистем воздушного судна и ее программное обеспечение. Для визуализации программы создается база, состоящая из трех взаимосвязанных таблиц: типовые проблемы, возникающие перед пользователем (пилотом) во время полета; несколько симптомов, соответствующих каждой проблеме, и таблица диагнозов. Приводятся порядок работы с программой и примеры диалога пользователя с экспертной системой.

### Литература

1. Земляной Е.С. Пилотажно-навигационный комплекс с интеллектуальной поддержкой экипажа летательного аппарата. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. Москва – 2016, с.45–48.
2. Августов И. и др. Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве, под редакцией Г.И. Джанджгавы, М.: ООО «Научтехлитиздат», 2015, 592 с.
3. Перфильев О.В., Рыжиков С.Г. Экспертная система анализа причин неисправностей для авиационной техники // Авиационная и ракетно-космическая техника, Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2016, т.18, №4(3), с.564–570.

4. Лапа В.В., Пономаренко В.А., Чунтул А.В. Психофизиология безопасности полетов. М.: МОО «Ассоциация журналистов, пишущих на правоохранительную тематику», 2013, 396 с.
5. Бабиченко А.В., Земляной Е.С. К обоснованию требований к бортовым экспертным системам интеллектуальной поддержки экипажа // Авиакосмическое приборостроение, 2014, №12, с.26–37.
6. Рыбина Г.В. Интеллектуальные системы: от А до Я. Серия монографий в трех книгах. Книга 1. Системы, основанные на знаниях. Интегрированные экспертные системы. М.: ООО «Научтехлитиздат», 2014, 223 с.
7. Перфильев О.В. Экспертная система интеллектуальной поддержки авиаспециалистов при техническом обслуживании систем и оборудования самолета // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2014, т.16, №1(5), с.1545–1549.
8. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000, 384 с.
9. Экспертная система – своими руками. [www.softkey.info/reviews/review464.php](http://www.softkey.info/reviews/review464.php)

#### **UOT 004.89**

##### **İsmayilov İsmayıl M.**

Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı, Azərbaycan

[ismayil.maa@gmail.com](mailto:ismayil.maa@gmail.com)

#### **Bort komplekslərində pilotun intellektual dəstəklənməsinin ekspert sistemi və onun proqram təminatı**

Hava gəmisinin altsistemlərinin diaqnostikası və proqnozlaşdırılması üçün ekipajın intellektual dəstəklənməsində ekspert-məsləhətverici sistemin baza strukturu və onun proqram təminatı təklif edilmişdir. Sistemdə təyyarədə nasazlıqların axtarışında süni intellektdən istifadə etməklə istifadəçi interfeysi tətbiq edilmişdir. Təyyarənin pilotaj-naviqasiya kompleksinin köməyi ilə idarə olunmasında hər hansı bir çətinlik yarandıqda, pilot operator interfeysi vasitəsilə sistemin suallarına cavab verərək ekspert sistemə kömək üçün müraciət edir. Doldurulmuş biliklər bazasından istifadə edərək, sistem nasazlığı lokallaşdırmaqla tövsiyələr generasiya edir və onları istifadəçiyə verir.

***Açar sözlər:** təyyarənin idarə olunması sistemləri, intellektual idarəetmə sistemləri, süni intellekt sistemləri, ekspert sistemləri.*

##### **Ismail M. Ismailov**

National Academy of Aviation, Baku, Azerbaijan

[ismayil.maa@gmail.com](mailto:ismayil.maa@gmail.com)

#### **Expert system of intelligent pilot support in on-board complexes and its software**

The basic structure of the expert-advisory system of the crew's intellectual support for the diagnosis and prediction of aircraft subsystems and its software is proposed. The system uses a user interface using artificial intelligence when searching for causes of malfunctions on an airplane. If there is any difficulty in controlling the aircraft with the help of the pilot-navigation complex, the pilot addresses the ES for help, answering system questions via the operator interface. Using the completed knowledge base, the system will generate and provide the user with recommendations with the localization of malfunction.

***Keywords:** aircraft control systems, intelligent control systems, artificial intelligence systems, expert systems.*