

**РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТУРА  
УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ****А.А. Бабиченко**

babichenko\_a@bk.ru

SPIN-код: 7102-2510

**О.А. Бабиченко**

babichenko\_olga@mail.ru

SPIN-код: 5534-1270

**Н.В. Бородаев**

bell\_terry@mail.ru

SPIN-код: 5208-8320

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

**Аннотация**

*Рассмотрены основные направления и этапы введения в состав пилотажно-навигационных комплексов летательных аппаратов бортовых экспертных систем, дополняющих возможности экипажа по управлению летательным аппаратом в особых ситуациях. На примере группы особых ситуаций, связанных с состоянием инерциальных навигационных систем, рассмотрена методика построения основного компонента экспертной системы — базы знаний. Разработаны и представлены диаграммы состояний, описывающие логику формирования экспертных выводов, таблицы логических правил и формируемых рекомендаций. Рассмотрен пример автономного тестирования полученной базы знаний.*

**Ключевые слова**

*Пилотажно-навигационный комплекс, искусственный интеллект, экспертная система, база знаний, управление, летательный аппарат, автономное тестирование, таблица правил, диаграмма состояний*

Поступила в редакцию 28.07.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

Перспективным направлением развития пилотажно-навигационных комплексов летательных аппаратов является введение в их состав элементов искусственного интеллекта, дополняющих возможности экипажа по управлению летательным аппаратом, его оборудованию и вооружением, таких как экспертные системы. При работе в составе комплекса экспертная система на основе анализа текущей информации и размещенных в базе знаний правил формирует в реальном времени рекомендации для экипажа по действиям в ситуациях, способных привести к нежелательным результатам. Экипаж, следуя рекомендациям, предъявляемым посредством информационно-управляющего поля кабины, управляет объектом, избегая попадания в опасные ситуации или парируя их негативные последствия.

Основные тенденции развития авиационного приборостроения — это интеллектуализация контуров управления, т. е. введение в контур управления элементов искусственного интеллекта. Искусственный интеллект — это программно-аппаратные средства, которые выполняют функции, присущие интеллекту, а именно: анализ информации, соотнесение ее с заданными целями, формирование решения по управлению оборудованием для достижения поставленной цели

в условиях текущей информационной обстановки и реализация (выполнение) принятого решения. Эти тенденции характерны для всех отраслей техники, в том числе и для авиации — при управлении очень сложными пилотажно-навигационными комплексами (ПНК) современных летательных аппаратов (ЛА).

Интеллектуализация осуществляется в два этапа.

Первый этап — это разработка и внедрение в ПНК интеллектуальных советующих систем, обеспечивающих анализ информации, соотнесение с заданным целеполаганием и формирование проекта решения. Этот проект решения предъявляется летчику, который сопоставляет его со своими соображениями по данному вопросу. Таким образом, система, подсказывая и рекомендуя, помогает летчику сэкономить время, сконцентрировать внимание на каких-либо сложных вопросах. На данном этапе окончательное принятие решения остается прерогативой человека.

На втором этапе некоторые функции полностью передаются ПНК робота — беспилотного ЛА.

Одним из способов технической реализации искусственного интеллекта являются экспертные системы (ЭС), которые состоят из двух основных компонентов:

- базы знаний (БЗ), представляющей собой код специального формата на электронном носителе (аналог человеческой памяти);
- машины логического вывода (МЛВ) — компьютера, в котором специальная программа, связанная с БЗ и с источниками текущих данных, формирует логические выводы (аналог человеческих умозаключений).

Процесс разработки этих компонентов описан в литературе [1–8].

Статья посвящена разработке БЗ для ЭС самолета в соответствии с [7, 8]. Общая технология разработки базы знаний для бортовой экспертной системы предусматривает следующие этапы:

- 1) выбор области применимости ЭС;
- 2) выбор источников экспертных знаний;
- 3) построение моделей особых ситуаций (ОС);
- 4) разработка стратегии идентификации ОС;
- 5) разработка формирования рекомендаций (в виде дерева рассуждений и таблиц правил);
- 6) разработка кода БЗ на основе таблиц правил.

Рассматриваются ОС, связанные с состоянием инерциальных навигационных систем (ИНС) после окончания начальной выставки (НВ) и перевода их в рабочий режим. При этом ЛА может находиться в любом из режимов и этапов полета — от взлета до посадки и заруливания. Ситуации, которые могут возникнуть в процессе НВ (до взлета), мы исследовать не будем.

Рассматриваемые ситуации возможны для многих типов ЛА, в состав ПНК которых входят две ИНС, одна из которых является основной, а вторая, такая же — резервной.

Основными источниками информации для описания ситуации являются руководства летной эксплуатации (РЛЭ) самолета. Каждая из двух ИНС после перевода в рабочий режим может находиться в одном из четырех состояний:

- 1) нормальная работа;
- 2) ухудшение точности;
- 3) повторный запуск;
- 4) отказ.

В табл. 1, составленной на основе раздела РЛЭ «Особые ситуации в полете», описаны особые ситуации, связанные с состоянием ИНС. В таблице указаны сигналы, которые предъявляются летчику, и действия, которые он должен выполнить по этим сигналам в предположении, что другая ИНС работает нормально. Очевидно, что такая логика неполна и, в частности, при ухудшении точности обеих ИНС рекомендации из РЛЭ, приведенные в табл. 1, теряют смысл, а летчик остается один на один с более сложной ситуацией.

Таблица 1

**Пример описания ОС на основе РЛЭ самолета**

Номер ситуации	Описание ситуации	Рекомендуемые действия летчика
1	Ухудшение точности ИНС1 (ИНС2 в норме)	Установить переключатель INS1/INS2 в положение INS2
2	Ухудшение точности ИНС2 (ИНС1 в норме)	Установить переключатель INS1/INS2 в положение INS1
3	Зацикливание алгоритма ИНС1 (ИНС2 в норме)	1. Установить режим горизонтального полета. 2. Выключить и не менее чем через 3 с включить питание ИНС1 3. ВЫПОЛНИТЬ ЧЕТЫРЕХМИНУТНЫЙ ПРЯМОЛИНЕЙНЫЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПОЛЕТ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ: – выдерживать углы крена и тангажа с изменением не более $\pm 3^\circ$ по каждому из параметров; – выдерживать постоянный курс с отклонением не более $\pm 1^\circ$ ; – выдерживать скорость $\pm 9,7$ узлов (18 км/ч) 4. Выполнить маневр типа «змейка» 5. Продолжить выполнение полета в соответствии с полетным заданием
4	Зацикливание алгоритма ИНС2 (ИНС1 в норме)	1. Установить режим горизонтального полета 2. Выключить и не менее чем через 3 с включить питание ИНС2 3. ВЫПОЛНИТЬ ЧЕТЫРЕХМИНУТНЫЙ ПРЯМОЛИНЕЙНЫЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПОЛЕТ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ: – выдерживать углы крена и тангажа с изменением не более $\pm 3^\circ$ по каждому из параметров; – выдерживать постоянный курс с отклонением не более $\pm 1^\circ$ ; – выдерживать скорость $\pm 9,7$ узлов (18 км/ч) 4. Выполнить маневр типа «змейка» 5. Продолжить выполнение полета в соответствии с полетным заданием

Номер ситуации	Описание ситуации	Рекомендуемые действия летчика
5	Отказ ИНС1 (ИНС2 в норме)	Проконтролировать автоматическое переключение на использование информации от исправной INS2
		В случае отсутствия автоматического перехода на работу с INS2 установить переключатель INS1/INS2 в положение INS2
		Оценить возможность продолжения выполнения задания
6	Отказ ИНС2 (ИНС1 в норме)	Проконтролировать автоматическое переключение на использование информации от исправной INS1
		В случае отсутствия автоматического перехода на работу с INS1 установить переключатель INS1/INS2 в положение INS1
		Оценить возможность продолжения выполнения задания
7	Отказ обеих ИНС	1. Прекратить выполнение задания. 2. Пилотировать самолет по интегрированной системе резервных приборов ISIS в сочетании с показаниями радиовысотомера, указателя скорости. 3. Следовать на корабль или аэродром посадки. 4. Контролировать направление полета запросом пеленга

База знаний для данного класса ОС должна учитывать все возможные комбинации состояний двух ИНС. Соответственно, количество ситуаций для двух ИНС, представляющее собой сочетания состояний отдельных ИНС, увеличивается до 16 (табл. 2). Ситуации, описанные в РЛЭ, соответствуют ОС с номерами 1–6 и 15. Особо выделена ситуация номер 0 — нормальная работа обеих систем, не требующая никаких дополнительных действий.

Таблица 2

### Полный перечень ОС, связанных с состоянием ИНС после НВ

Номер ситуации	Описание ситуации	Состояние ИНС	
		ИНС1	ИНС2
0	ИНС1 норм, ИНС2 норм	Нормальная работа	Нормальная работа
1	УТ1 (ИНС2 норм)	Ухудшение точности	Нормальная работа
2	УТ2 (ИНС1 норм)	Нормальная работа	Ухудшение точности
3	ПЗ1 (ИНС2 норм)	Зацикливание алгоритма	Нормальная работа
4	ПЗ2 (ИНС1 норм)	Нормальная работа	Зацикливание алгоритма
5	ОТК1 (ИНС2 норм)	Отказ	Нормальная работа
6	ОТК2 (ИНС1 норм)	Нормальная работа	Отказ
7	УТ1–УТ2	Ухудшение точности	Ухудшение точности
8	УТ1–ПЗ2	Ухудшение точности	Зацикливание алгоритма
9	УТ1–ОТК2	Ухудшение точности	Отказ
10	ПЗ1–УТ2	Зацикливание алгоритма	Ухудшение точности
11	ПЗ1–ПЗ2	Зацикливание алгоритма	Зацикливание алгоритма
12	ПЗ1–ОТК2	Зацикливание алгоритма	Отказ
13	ОТК1–УТ2	Отказ	Ухудшение точности
14	ОТК1–ПЗ2	Отказ	Зацикливание алгоритма
15	ОТК1–ОТК2	Отказ	Отказ

*Примечание.* УТ — ухудшение точности системы; ПЗ — необходимость повторного запуска ввиду зацикливания алгоритма системы; ОТК — отказ системы; норм — нормальная работа системы; индексы 1, 2 относятся к ИНС1 и ИНС2.

В соответствии с [7, 8] разработка БЗ предполагает создание моделей ОС. Основой моделей ОС из табл. 2 являются модели состояния, наблюдения и управления частных ситуаций, связанных с состоянием каждой ИНС (см. табл. 1). Эти модели реализуются в БЦВМ ПНК, в которой путем анализа информации от ИНС (в том числе — сопоставления ее с информацией других датчиков и комплексной обработки этой информации) формируются соответствующие признаки: нормальная работа, ухудшение точности, заикливание вычислений или отказа каждой ИНС.

Описание логики идентификации особых ситуаций на основе моделей состояния и наблюдения предполагает следующие действия:

1) определение признаков состояния каждой ИНС в соответствии с моделями наблюдения;

3) идентификацию ОС на основе полученных признаков для обеих ИНС.

При этом логика рассуждений опирается на сводную таблицу признаков ОС (модель наблюдения), в данной работе это табл. 2. Логика имеет вид дерева фактов (рис. 1). На рисунке показана схема логических рассуждений при идентификации ОС. В узлах круглой формы осуществляется анализ признаков, узлы квадратной формы — конечные, соответствуют выводам о наличии конкретной ОС.

Описание логики формирования рекомендаций по действиям в особых ситуациях — это формирование правил вывода и рекомендаций по действиям в сложившейся ситуации в виде дерева рекомендаций и таблицы правил. Логика рассуждений опирается на данные сводной таблицы рекомендаций в ОС (модель управления) и для данной группы ОС предусматривает следующие действия:

1) оценку возможности проведения ПЗ путем проверки соответствующих условий (например, на этапах взлета, посадки, набора высоты ПЗ невозможен);

2) выдачу соответствующих рекомендаций на основе сформированных признаков, идентифицирующих ОС, и признаков выполнения условий проведения ПЗ.

При этом логика рассуждений в виде дерева (см. рис. 1) дополняется: вместо конечных состояний 3, 4, 8, 10, 11, 12, 14 вводятся новые узлы вида, показанного на рис. 2.

Результат выполнения подэтапа — конкретные рекомендации по действиям.

В табл. 3 представлен фрагмент БЗ, соответствующей диаграмме рис. 1, 2.

В строках таблицы записаны элементарные знания — правила. Для каждого правила описаны входные данные (факты), с которыми оперирует данное правило, а также выходные факты — новые данные, формируемые в результате применения правила. Для каждого факта дано словесное описание (на основе табл. 1, 2) и условный шифр, используемый на диаграммах (см. рис. 1, 2) и в программном коде БЗ. Полная таблица правил слишком велика и далее приведен только ее фрагмент.

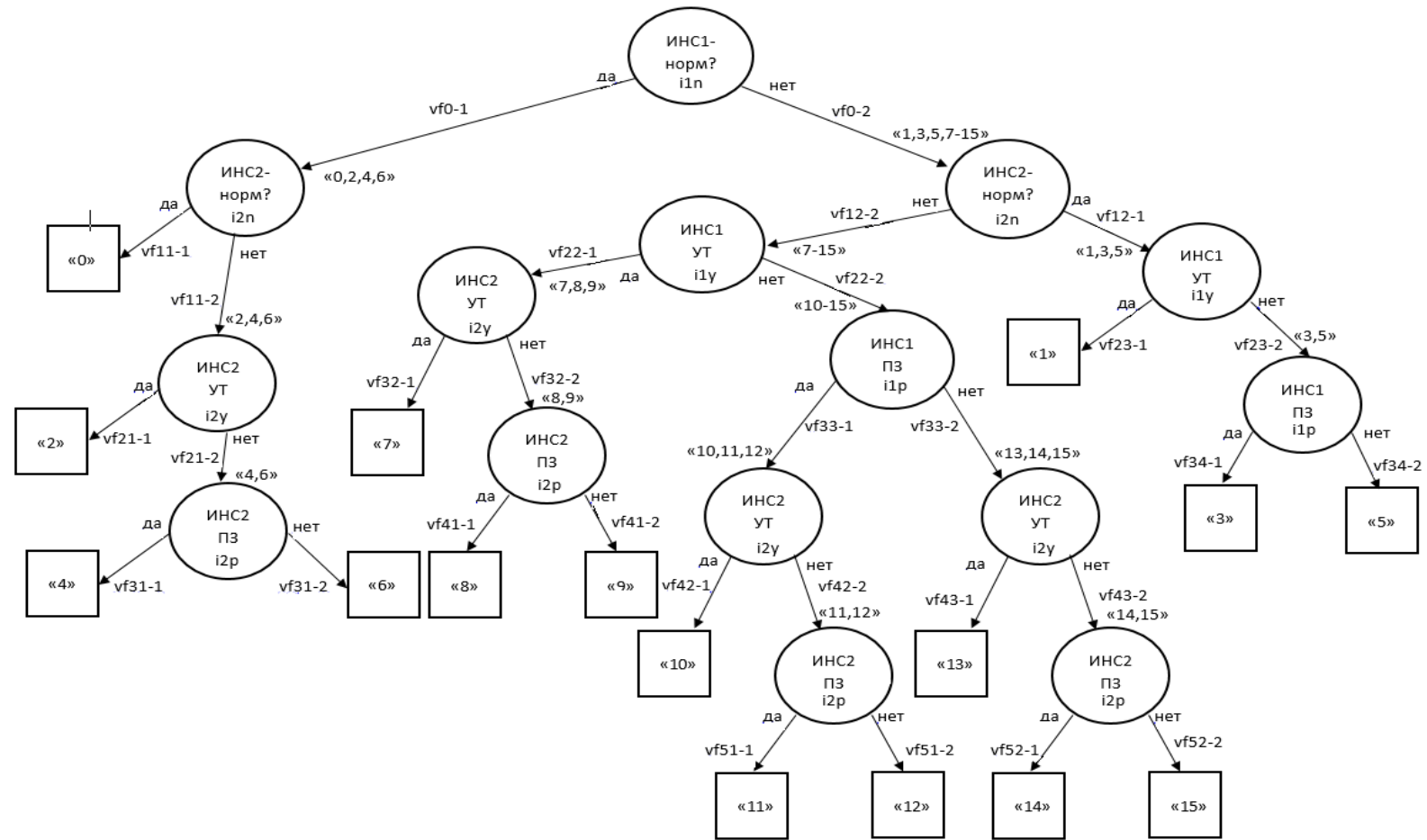


Рис. 1. Диаграмма состояний для идентификации ОС «Состояния ИНС в составе БРЭО»

Таблица 3

Правила идентификации ОС «Состояния ИНС в составе ПНК» и формирования рекомендаций (фрагмент)

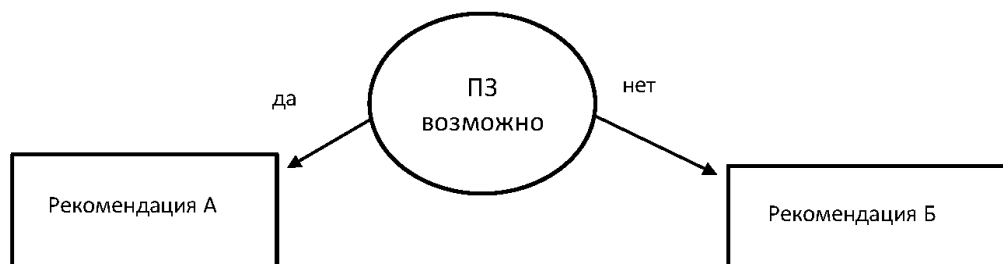
№ правила	Входные факты		Правило			Выходные факты	
	Наименование	Обозначение	Суть	Обозначение	Комментарий	Наименование	Обозначение
1	Признак ИНС1 норм	i1n	Если «Признак ИНС1 норм», то возможны ситуации 0, 2, 4, 6	S <sub>0</sub>	Начало проверки логической цепи	Возможны ситуации 0, 2, 4, 6	vf0-1
			Иначе возможны ситуации 1, 3, 5, 7–15			Иначе возможны ситуации 1, 3, 5, 7–15	vf0-2
2	новый промежуточный факт	vf0-1	Если «Признак ИНС2 норм» и vf0-1, то возможна ситуация 0	S <sub>11</sub>	Первая проверка первого уровня	Возможна ситуация 0	vf11-1
	Признак ИНС2 норм	i2n				Иначе возможны ситуации 2, 4, 6	Возможны ситуации 2, 4, 6
7	новый промежуточный факт	vf21-2	Если «Признак ИНС2 ПЗ» и vf21-2, то возможна ситуация 4	S <sub>31</sub>	Первая проверка третьего уровня	Возможна ситуация 4	vf31-1
	Признак ИНС2 ПЗ	i2p	Иначе возможна ситуация 6			Возможна ситуация 6	vf31-2
8	новый промежуточный факт	vf22-1	Если «Признак ИНС2 УТ» и vf22-1, то возможна ситуация 7	S <sub>32</sub>	Вторая проверка третьего уровня	Возможна ситуация 7	vf32-1
	Признак ИНС2 УТ	i2y	Иначе возможны ситуации 8, 9			Возможны ситуации 8, 9	vf32-2
15	новый промежуточный факт	vf43-2	Если есть «Признак ИНС2 ПЗ» и vf43-2, то возможна ситуация 14	S <sub>52</sub>	Вторая проверка пятого уровня	Возможна ситуация 14	vf52-1
	Признак ИНС2 ПЗ	i2p	Иначе возможна ситуация 15			Возможна ситуация 15	vf52-2

Разработка базы знаний для интеллектуального контура управления летательным ...

№ правила	Входные факты		Правило			Выходные факты	
	Наименование	Обозначение	Суть	Обозначение	Комментарий	Наименование	Обозначение
16	Возможна ситуация «1»	vf23-1	Если есть признак «Возможна ситуация 1» и ведущая ИНС1, то r <sub>1</sub>	SR <sub>1</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 1	Перейти на ИНС2	r <sub>1</sub>
	Ведущая ИНС1	i1v					
18a	Возможна ситуация 3	vf34-1	Если есть признак возможна ситуация 3 и ведущая ИНС1, то r <sub>3</sub>	SR <sub>3</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 3	Перейти на ИНС2	r <sub>3</sub>
	Ведущая ИНС1	i1v					
18б	Возможна ситуация 3	vf34-1	Иначе r <sub>3,1</sub>	SR <sub>3,1</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 3.1	Осуществить необходимые действия по ПЗ для ИНС1	r <sub>3,1</sub>
	Режим полета МРШ	reg-mrsh					
20	Возможна ситуация 5	vf34-2	Если есть признак «Возможна ситуация 5» и ведущая ИНС1, то возможна ситуация r <sub>5</sub>		Финишная проверка выдачи сообщения 5	Перейти на ИНС2	r <sub>5</sub>
	Ведущая ИНС1	i1v					
22	Возможна ситуация 7	vf32-1	Если есть признак «Возможна ситуация 7», то r <sub>7</sub>	SR <sub>7</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 7	Сообщить, что УТ ИНС1 и ИНС2	r <sub>7</sub>
23a	Возможна ситуация 8	vf41-1	Если есть признак «Возможна ситуация 8» и ведущая ИНС2, то r <sub>8</sub>	SR <sub>8</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 8	Перейти на ИНС1 и сообщить об УТ1	r <sub>8</sub>
	Ведущая ИНС2	i2v					
23б	Возможна ситуация 8	vf41-1	Иначе r <sub>8,1</sub>	SR <sub>8,1</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 8.1	Осуществить необходимые действия по ПЗ для ИНС2	r <sub>8,1</sub>
	Режим полета МРШ	reg-mrsh					
26a	Возможна ситуация 11	vf51-1	Если есть признак «Возможна ситуация 11» и режим полета МРШ, то r <sub>11</sub>	SR <sub>11</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 11	Рекомендация ПЗ для двух ИНС	r <sub>11</sub>
	Режим полета	reg-mrsh					



№ правила	Входные факты		Правило			Выходные факты	
	Наименование	Обозначение	Суть	Обозначение	Комментарий	Наименование	Обозначение
	МРШ						
266	Возможна ситуация 11	vf51-1	Иначе r <sub>11_1</sub>	SR <sub>11_1</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 11.1	Сообщить, что ИНС нет, нужен ПЗ	r <sub>11_1</sub>
	Режим полета не МРШ	reg-not-mrsh					
29а	Возможна ситуация 14	vf52-1	Если есть признак «Возможна ситуация 14», ведущая ИНС1 и режим полета МРШ, то r <sub>14</sub>	SR <sub>14</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 14	Перейти на ИНС2 и рекомендация ПЗ ИНС2	r <sub>14</sub>
	Ведущая ИНС1	i1v					
	Режим полета МРШ	reg-mrsh					
29б	Возможна ситуация 14	vf52-1	Иначе r <sub>14_1</sub>	SR <sub>14_1</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 14.1	Сообщить, что ИНС нет, нужен ПЗ ИНС2	r <sub>14_1</sub>
	Режим полета не МРШ	reg-not-mrsh					
30	Возможна ситуация 15	vf52-2	Если есть признак «Возможна ситуация 15», то r <sub>15</sub>	SR <sub>15</sub>	Финишная проверка выдачи сообщения 15	Прекратить выполнение задания. Пилотировать самолет по интегрированной системе резервных приборов в сочетании с показаниями радиовысотомера и указателя скорости. Следовать на корабль или аэродром посадки. Контролировать направление полета запросом пленга	r <sub>15</sub>



**Рис. 2.** Дополнение диаграммы состояний (для состояний 3, 4, 8, 10, 11, 12, 14, в которых нужен повторный запуск ИНС)

Табл. 3 является основой для написания программного кода БЗ. В работах [5–8] для кодирования БЗ рекомендуется использовать язык CLIPS. Написание кода осуществляется в соответствии с указаниями и рекомендациями, содержащимися в соответствующей литературе.

Для кодирования БЗ и тестирования разработанного кода в нашем случае использовалась версия CLIPS 6.3. Метод тестирования — статическое тестирование на ЭВМ. При этом набор входных данных, записывается в текстовый файл, содержимое которого соответствует табл. 4.

Таблица 4

**Входные данные (файл toClips.txt)**

№ п/п	Параметр	Возможные значения	Примечания
1	Признак «ИНС1 норм»	0/1	1 — наличие 0 — отсутствие
2	Признак «УТ1»	0/1	1 — наличие 0 — отсутствие
3	Признак «ПЗ1»	0/1	1 — наличие 0 — отсутствие
4	Признак «ИНС2 норм»	0/1	1 — наличие 0 — отсутствие
5	Признак «УТ2»	0/1	1 — наличие 0 — отсутствие
6	Признак «ПЗ2»	0/1	1 — наличие 0 — отсутствие
7	Признак «МРШ»	0/1	Полет по маршруту, допускающий ПЗ
8	Признак «не МРШ»	1/0	Иной режим полета (не допускающий ПЗ)
9	Номер ведущей ИНС	1/2	1 — ИНС1 2 — ИНС2

Эти данные считываются из файла, тем самым имитируется однократный цикл обмена данными между ЭС и остальным программным обеспечением БЦВМ. После считывания входных данных запускается алгоритм МЛВ, которая по правилам, записанным в БЗ, формирует рекомендации r1, r2 и т. д. (табл. 5). Текст рекомендации, выводимый визуально или в виде речевых сообщений

экипажу, соответствует приведенным в столбце «Выходные факты» табл. 3 в соответствии с шифром рекомендации (r1, r2 и т.д.)

Таблица 5

**Выходные данные (файл toCp.txt)**

№ п/п	Шифр рекомендации	Возможное значение
1	r1	0/1
2	r2	0/1
3	r3	0/1
4	r3_1	0/1
5	r4	0/1
6	r4_1	0/1
7	r5	0/1
8	r6	0/1
9	r7	0/1
10	r8	0/1
11	r8_1	0/1
12	r9	0/1
13	r10	0/1
14	r10_1	0/1
15	r11	0/1
16	r11_1	0/1
17	r12	0/1
18	r12_1	0/1
19	r13	0/1
20	r14	0/1
21	r14_1	0/1
22	r15	0/1

*Примечание.* 1 — есть рекомендация, 0 — нет рекомендации.

**Выводы.** В работе рассмотрен пример разработки и автономного тестирования БЗ для ЭС поддержки экипажа самолета, в составе которого имеется две ИНС. Разработанная БЗ обеспечивает формирование рекомендаций летчику по действиям в особых ситуациях, связанных с состоянием обеих ИНС на всех этапах и во всех режимах полета.

**Литература**

- [1] Бабиченко А.А., Бабиченко А.В., Фашевский Н.Н. и др. Программно-аппаратный макет пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата с элементами интеллектуальной поддержки экипажа. *Мат. науч.-тех. конф. Системы управления, стабилизации, навигации, ориентации и их базовые элементы*. М., Научтехлитиздат, 2019, с. 113–115.
- [2] Бабиченко А.В., Гридчин И.А., Ковязин И.О. и др. Прототипирование бортовой экспертной системы. *Навигация, наведение и управление летательными аппаратами. Тез. док. 4-ой Всерос. науч.-тех. конф.* М., ГосНИИАС, 2019, с. 311–313.

- [3] Бабиченко А.В., Сухомлинов А.Б., Шевадронов А.С. и др. Моделирование системы интеллектуальной поддержки экипажа с использованием многофункционального стенда комплекса бортового оборудования. *Навигация, наведение и управление летательными аппаратами. Тез. док. 4-ой Всерос. науч.-тех. конф.* М., ГосНИИАС, 2019, с. 309–311.
- [4] Бабиченко А.В., Сухомлинов А.Б., Земляной Е.С. и др. Разработка базы знаний прототипа бортовой экспертной системы. *Авиакосмическое приборостроение*, 2018, № 12, с. 44–54.
- [5] Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. М., Вильямс, 2007.
- [6] Земляной Е.С. Пилотажно-навигационный комплекс с интеллектуальной поддержкой экипажа летательного аппарата. Дисс. канд. тех. наук. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.
- [7] Джанджгава Г.И., Бабиченко А.В., Базлев Д.А. и др. Актуальные вопросы создания бортовых систем интеллектуальной поддержки экипажа. *Авиакосмическое приборостроение*, 2018, № 12, с. 21–34.
- [8] Бабиченко А.В., Земляной Е.С., Сухомлинов А.Б. и др. Прототипирование базы знаний бортовой экспертной системы. *Мат. науч.-тех. конф. Системы управления, стабилизации, навигации, ориентации и их базовые элементы.* М., Научтехлитиздат, 2019, с. 112–113.

**Бабиченко Анастасия Андреевна** — выпускница кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Бабиченко Ольга Андреевна** — студентка кафедры «Системы автоматического управления», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Бородаев Никита Владиславович** — студент кафедры «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Бабиченко А.А., Бабиченко О.А., Бородаев Н.В. Разработка модели повышения эффективности командной работы. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 09(50). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-09-641>

## DEVELOPMENT OF A KNOWLEDGE BASE FOR AN INTELLIGENT AIRCRAFT CONTROL LOOP

**A.A. Babichenko**

babichenko\_a@bk.ru

SPIN-code: 7102-2510

**O.A. Babichenko**

babichenko\_olga@mail.ru

SPIN-code: 5534-1270

**N.V. Borodaev**

bell\_terry@mail.ru

SPIN-code: 5208-8320

**Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

---

### Abstract

*The paper considers the main directions and stages of introduction of on-board expert systems into the composition of flight-navigation systems of aircraft, which supplement the capabilities of the crew to control the aircraft in special situations. On the example of a group of special situations associated with the state of inertial navigation systems, a methodology for constructing the main component of an expert system, the knowledge base, is considered. State diagrams were developed and presented, describing the logic of the formation of expert conclusions, tables of logical rules and formed recommendations. An example of offline testing of the resulting knowledge base is considered.*

### Keywords

*Flight and navigation complex, artificial intelligence, expert system, knowledge base, control, aircraft, autonomous testing, rule table, state diagram*

Received 28.07.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2020

---

### References

- [1] Babichenko A.A., Babichenko A.V., Fashchevskiy N.N., et al. [Hardware-software prototype of attitude and aircraft heading reference system with elements of intelligent assistance for a crew]. *Mat. nauch.-tekh. konf. Sistemy upravleniya, stabilizatsii, navigatsii, orientatsii i ikh bazovye elementy* [Proc. Sci.-Tech. Conf. Systems for Control, Stabilization, Navigation and Orientation and Their Base Elements]. Moscow, Naughtekhlitizdat Publ., 2019, pp. 113–115 (in Russ.).
- [2] Babichenko A.V., Gridchin I.A., Kovyazin I.O., et al. [Prototyping of flight expert system]. *Navigatsiya, navedenie i upravlenie letatel'nymi apparatami. Tez. dok. 4-oy Vseros. nauch.-tekh. konf.* [Aircraft Navigation, Guidance and Control. Abs. 4<sup>th</sup> Russ. Sci.-Tech. Conf.]. Moscow, GosNIIAS Publ., 2019, pp. 311–313 (in Russ.).
- [3] Babichenko A.V., Sukhomlinov A.B., Shevadronov A.S., et al. Modelirovanie sistemy intellektual'noy podderzhki ekipazha s ispol'zovaniem mnogofunktsional'nogo stenda kompleksa bortovogo oborudovaniya. *Navigatsiya, navedenie i upravlenie letatel'nymi apparatami. Tez. dok. 4-oy Vseros. nauch.-tekh. konf.* [Aircraft Navigation, Guidance and Control. Abs. 4<sup>th</sup> Russ. Sci.-Tech. Conf.]. Moscow, GosNIIAS, 2019, pp. 309–311 (in Russ.).
- [4] Babichenko A.V., Sukhomlinov A.B., Zemlyanny E.S., et al. Developing a knowledge base for the prototype of on-board expert system. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrument-Making], 2018, no. 12, pp. 44–54 (in Russ.).

- [5] Giarratano J.C., Riley G.D. Expert systems: principles and programming. Course Technology, 2004. (Russ. ed.: Ekspertnye sistemy: printsipy razrabotki i programmirovaniye. Moscow, Vil'yams Publ., 2007.)
- [6] Zemlyanyy E.S. Pilotazhno-navigatsionnyy kompleks s intellektual'noy podderzhkoy ekipazha letatel'nogo apparata. Diss. kand. tekhn. nauk [Attitude and heading reference system with intelligent support for aircraft crew. Kand. tech. sci. diss.]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2016 (in Russ.).
- [7] Dzhandzhgava G.I., Babichenko A.V., Bazlev D.A., et al. Actual questions of developing on-board systems intellectual crew assistance. *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace Instrument-Making], 2018, no. 12, pp. 21–34 (in Russ.).
- [8] Babichenko A.V., Zemlyanyy E.S., Sukhomlinov A.B., et al. [Knowledge database prototyping for an expert system]. *Mat. nauch.-tekhn. konf. Sistemy upravleniya, stabilizatsii, navigatsii, orientatsii i ikh bazovye elementy* [Proc. Sci.-Tech. Conf. Systems for Control, Stabilization, Navigation and Orientation and Their Base Elements]. Moscow, Nauchtekhlitizdat Publ., 2019, pp. 112–113.

**Babichenko A.A.** — Graduate, Department of Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Babichenko O.A.** — Student, Department of Automatic Control Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Borodaev N.V.** — Student, Department of Devices And Systems Of Orientation, Stabilization, Navigation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Babichenko A.A., Babichenko O.A., Borodaev N.V. Development of a knowledge base for an intelligent aircraft control loop. *Politekhnicheskiiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 09(50). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-09-641.html> (in Russ.).