Б.Е. Федунов, М.Д. Прохоров

Вывод по прецеденту в базах знаний бортовых интеллектуальных систем

Аннотация. Современные технические антропоцентрические объекты, действующие в сложных предметных областях (самолеты, в частности боевые самолеты, транспортные средства, операторы сложных стационарных объектов), не мыслятся без интеллектуальной поддержки их экипажей. Важно отметить, что такие интеллектуальные системы должны работать согласованно с активизированной концептуальной моделью экипажа, помогая ему решать текущие задачи с учетом генеральной задачи сеанса функционирования антропоцентрического объекта. В ряде таких бортовых интеллектуальных систем не обойтись без оперативного вывода по прецеденту.

Ключевые слова: бортовые интеллектуальные системы, механизмы оперативного вывода в них, программная реализация оперативного вывода по прецеденту.

Введение

Антропоцентрическим объектом (Антр/объектом) называется его оболочка и реализованная в ней совокупность его макросоставляющих (борт Антр/объекта) в составе:

- бортовых измерительных устройств (иногда и бортовых комплексов измерительных устройств), получающих информацию о внешнем и внутри бортовом мире;
- *системообразующего ядра* Антр/объекта, в котором (ядре) главенствующая роль принадлежит команде операторов (экипажу);
- бортовых исполнительных устройств (бортовых комплексов исполнительных устройств), воздействующих на внешний и внутри бортовой мир.

В настоящее время осознано, что совершенствование «аппаратной составляющей» разрабатываемых антропоцентрических объектов (Антр/объект) *недостаточно* для желаемого резкого повышения эффективности их использования. Достичь этого возможно путем направления усилий конструкторов и ученых на совершенствование интеллектуальной составляющей «системообразующего ядра» бортового комплекса Антр/объекта – совокупности алгоритмов бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ-алгоритмы) и алгоритмов деятельности экипажа, которая сейчас называется «бортовым интеллектом» и которая из набора разрозненных систем бортового оборудования создает функционально целостный комплекс, нацеленный на выполнение заданных задач сеансов функционирования [1].

На современном Антр/объекте алгоритмическим обеспечением БЦВМ решаются задачи обработки информации, управления, применения средств воздействия на внешнюю обстановку. Задачи оперативного назначения текущей цели сеанса функционирования (задачи целеполагания) и выбора рационального способа (тактики) достижения этой цели (тактические задачи) решаются только экипажем.

Результаты проведенных научно-исследовательских работ, совершенствование бортовых вычислительных машин, измерительных и исполнительных устройств Антр/объектов дают возможность разработать и реализовать на борту разрабатываемых Антр/объектов алгоритмы и системы нового типа, которые будут способны обеспечивать решение упомянутых тактических задач [2,3].

Различают два класса бортовых интеллектуальных систем:

- система «Ситуационная осведомленность экипажа», предъявляющей экипажу информа-

цию о текущей внешней и внутри бортовой обстановки (информационная модель внешней и внутри бортовой обстановки) достаточную для адекватного назначения им текущего этапа (цели) полета (решение задачи целеполагания) [4];

- бортовые оперативно советующие экспертные системы типовых ситуаций (БОСЭС ТС) функционирования Антр/объекта, оперативно с заданным темпом корректировки предъявляющих экипажу способ достижения намеченной цели этапа, с глубиной его проработки достаточной для его реализации после согласия экипажа [5].

В названных интеллектуальных системах используются различные механизмы вывода [6], оперативно решающие возникающие у Антр/объекта проблемы. Один из них – оперативный вывод, основанный на прецедентах.

1. Механизмы вывода, основанные на прецедентах

Эти механизмы вывода применяются в проблемных субситуациях (ПрС/С), сложность которых не позволяет провести их конструктивную формализацию, но по которым имеется опыт (прецеденты) их успешного разрешения.

Одна из трудностей этого подхода состоит в правильном подборе координат ($x_{1,\ldots,}$ x_i, .., x_n) ситуационного выбора SV(ПрС/С-решение), описывающего эту ПрС/С, как по их количеству, так и по форме представления каждой координаты. Полнота описания ситуационного вектора и связь конкретного вектора с конкретным прецедентом устанавливается при длительной работе с экспертами - действительными носителями этого знания.

Как правило, координаты ситуационного вектора - суть лингвистические переменные.

1.1. Лингвистическая переменная – координата ситуационного вектора

В [7] Л. Заде определил лингвистическую переменную как переменную, принимающую свои значения из заданного множества терминов или высказываний естественного языка. Последние были названы термами.

Приведем пример лингвистической переменной: “высота” = {сверхнизкая, малая, низкая, средняя, большая}. Здесь “высота” – название лингвистической переменной (ЛП). В скобках представлено множество ее термов.

Для работы с лингвистическими переменными каждый терм следует соотнести с соответствующим нечётким множеством [8,9], которое в свою очередь представляется через универсальное множество (универсум) и функцию принадлежности элементов этого универсального множества рассматриваемому нечеткому множеству.

Функция принадлежности принимает значения из интервала [0,1]. Она количественно оценивает степень принадлежности элемента нечеткому множеству.

Пример. Зададим терм “сверхнизкая” (С/Н) лингвистической переменной “высота”. Универсальное множество U = [h = 0,…,100].

Функция принадлежности нечеткого множества «сверхнизкая» представлена на Рис.1. Заметим, что как универсальные множества, так и функции принадлежности на нем назначаются по результатам (совместного с экспертами) исследования соответствующей предметной области.

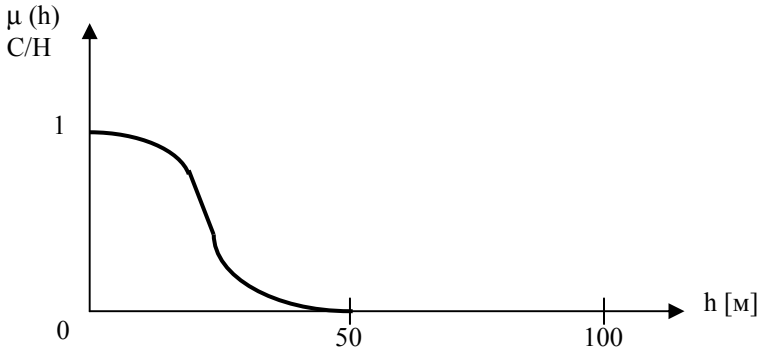


Рис.1.

При большом числе термов их функции принадлежности обычно задают в унифицированном виде. Чаще всего - это кусочно-линейная функция.

1.2. Матрицы знаний по прецедентам

Пусть состояние ПрС/С описывается ситуационным вектором с координатами ($x_{1,...,}$ x_i, .., x_n) и каждая координата x_i - лингвистическая переменная с множеством термов $A_i = \{a_i^1,...,a_i^j,...,a_i^{K_i}\}$. Для некоторых конкретных реализаций ситуационного вектора, когда каждая лингвистическая переменная принимает одно из своих возможных значений (конкретный терм), есть прецедент успешного разрешения этой ПрС\С.

Пусть накоплено множество d_j, j = 1,…,p прецедентов и каждый из них связан с множеством конкретных ситуационных векторов, при которых он (прецедент) был избран.

Составим матрицу такого соответствия (Табл.1). Сгруппируем строки матриц по прецедентам (блок прецедента). Каждая строка матрицы представляет собой конкретный ситуационный вектор, при котором в прошлом успешно реализовался соответствующий прецедент.

Перенумеруем строки блока прецедента d_j двумя индексами: первый индекс – номер прецедента (здесь он является номером блока), второй индекс – порядковый номер ситуационного вектора в этом блоке.

Введенная матрица определяет систему логических высказываний вида «<u>если</u> …, <u>то</u> …, <u>иначе</u> …». Например, строка матрицы j_1 шифрует высказывание:

$$\text{Если } x_1 = a_1^{j1} \ \underline{\text{и}}\ x_2 = a_2^{j1} \ \underline{\text{и}} \ldots \underline{\text{и}}\ x_i = a_i^{j1} \ \underline{\text{и}} \ldots \underline{\text{и}}\ x_n = a_n^{j1}, \ \underline{\text{то}}\ d_j, \qquad (1)$$

<u>иначе</u> аналогичное выражение для следующей строки и т.д.

Полученную упорядоченную таким образом систему логических высказываний называют нечеткой матрицей знаний или просто – матрицей знаний.

1.3. Алгоритм вычисления функции принадлежности прецедента

Прежде всего, представим алгоритм [9] определения функции принадлежности μ_{dj} (x_1, .. x_i, .. x_n) прецедента d_j, интерпретируемого как нечеткое множество на универсальном множестве.

Табл. 1

№ п.п.	Координаты ситуационного вектора					Прецедент
	x_1	…	x_i	…	x_n	
1.1	a_1^{11}	.....	a_i^{11}	.....	a_n^{11}	d_1
:	:	:	:	:	:	
$1к_1$	$a_1^{1K_1}$	.....	$a_i^{1K_1}$	.....	$a_n^{1K_1}$	
:	:	:	:	:	:	:
j1	a_1^{j1}	.....	a_i^{j1}	.....	a_n^{j1}	d_j
:	:	:	:	:	:	
$jк_j$	$a_1^{jK_j}$	.....	$a_i^{jK_j}$	.....	$a_n^{jK_j}$	
:	:	:	:	:	:	:
p1	a_1^{p1}	.....	a_i^{p1}	.....	a_n^{p1}	d_p
:	:	:	:	:	:	
$pк_p$	$a_1^{pK_p}$	.....	$a_{1i}^{pK_p}$	.....	$a_{1n}^{pK_p}$	

$Ud = Ux_1 \times \ldots \times Ux_i \times \ldots \times Ux_n$, где Ux_i - универсальное множество, на котором заданы термы лингвистической переменной x_i, а Ud – декартово произведение универсальных множеств Ux_i.

Каждое логическое высказывание типа (1) или, что тоже, каждая строка матрицы знаний представляет собой нечетное отношение соответствующих нечетких множеств. Так для (1.) это будет $a_1^{j1} \times a_2^{j2} \times ... \times a_n^{jn}$

Функция принадлежности нечеткого множества, образованного этим нечетким отношением в соответствие с [8,9] будет

$$\mu_{a_1^{j1}}(x_1) \wedge \ldots \wedge \mu_{a_i^{j1}}(x_i) \wedge \ldots \wedge \mu_{a_n^{j1}}(x_n),$$

где через “∧” обозначена операция “min”.

Анализируя весь блок логических высказываний, относящийся к прецеденту d_j (блок соответствующих строк матрицы знаний), замечаем, что они представляют собой объединение соответствующих нечетких множеств, образовавшихся при рассмотрении строк выделенного блока. Функция принадлежности этого объединения, отождествляемая с функцией принадлежности прецедента d_j, в соответствии с [8,9], будет:

$$\mu_{d_j}(x_1,...,x_i,...,x_n) =$$

$$=(\mu_{a_1^{j1}}(x_1) \wedge \ldots \wedge \mu_{a_i^{j1}}(x_i) \wedge \ldots \wedge \mu_{a_n^{j1}}(x_n)) \vee$$

$$\ldots \vee (\mu_{a_1^{jK_j}}(x_1) \wedge \ldots \wedge \mu_{a_i^{jK_j}}(x_i) \wedge \ldots \wedge \mu_{a_n^{jK_j}}(x_n))$$

где через «∨» обозначена операция “max”.

Табл. 2.

№ п.п.	Координаты ситуационного вектора					min	max	d
	x_1		x_i		x_n			
:	:	:	:	:	:	:	:	:
j_1	$(a_1^{j1})^*$	.....	$(a_i^{j1})^*$	.....	$(a_n^{j1})^*$	$\min_i (a_i^{j1})^*$		
:	:	:	:	:	:	... ...		
j_s	$(a_1^{js})^*$	.....	$(a_i^{js})^*$	.....	$(a_n^{js})^*$	$\min_i (a_i^{is})^*$	$\max_{js} \min_i (a_i^{js})^*$	μ_{d_j}
:	:	:	:	:	:	... ...		
j_{K_j}	$(a_1^{jK_j})^*$	.....	$(a_i^{jK_j})^*$	.....	$(a_n^{jK_j})^*$	$\min_i (a_n^{jK_j})^*$		
:	:	.....	:	.....	:	.....	.....	:

Формально представленный алгоритм определения функции принадлежности прецедента d_j можно записать в виде:

а) фиксируем произвольную точку $(x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*) \in U_{x_1} \times ... \times U_{x_i} \times ... \times U_{x_n}$,

б) для каждого блока матрицы знаний, соответствующего d_j, определяем $\mu_{dj}(x_1, .. x_i, .. x_n)$ в этой точке согласно Табл. 2.

Заметим, что для фиксированной точки $(x_1^*, ..., x_i^*, ..., x_n^*)$ блок матрицы, представленный в Табл. 2., является числовым, так как вместо каждого терма a_i^{js} из этого блока поставлено значение его функции принадлежности $(a_i^{js})^*$, вычисленное в соответствующей x_i^*. Операция $\min_i a_i^{js}$ производится над числами, стоящими в строках “i”, $1 \le i \le n$ и в столбец “min” заносится минимальное число в соответствующей строке. Операция $\max_{jS} \min_i a_i^{js}$ выделяет среди полученных строчных минимумов $1 \le j_s \le K_j$ наибольший. Это число и является значением функции принадлежности $\mu_{dj}(x_1, .. x_i, .. x_n)$ в этой фиксированной точке $(x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*)$. Проведя такие вычисления для каждой точки универсального множества, получим интересующие нас функции принадлежности.

1.4. Алгоритм выбора прецедента при наблюдении ситуационного вектора с количественными координатами

В бортовых интеллектуальных системах, размещенных на Антр/объекте, на основе текущих измерений бортовых измерительных устройств (точка $(x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*)$, замеры), формируется SV(ПрС/С – решение) с количественными значениями его координат. Только в этой фиксированной точке $(x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*)$ в момент поступления замера и нужно определить значение функции принадлежности $\mu_{dj}(x_1, .. x_i, .. x_n)$.

При наблюдении ситуационного вектора [6] с количественными координатами (все координаты вектора измерены по числовым шкалам) для выбора наиболее подходящего прецедента вовсе нет необходимости полностью определять функции принадлежности $\mu_{dj}(x_1, .. x_i, .. x_n)$ на всем множестве точек универсального множества. Достаточно рассчитать их значение только для фиксированных числовых значений координат вектора, который мы получили в результате наблюдения. Для этого придется однократно воспользоваться алгоритмом п. 1.3, беря в качестве $(x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*)$ координаты наблюденного ситуационного вектора.

В результате для каждого прецедента d_j мы получим число $d_j(x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*)$, являющееся степенью принадлежности d_j точке $(x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*)$. Исходя из такой интерпретации, наиболее предпочтительным прецедентом для разрешения наблюдаемой ПрС/С будет прецедент d_j^*, для которого

$$d_j^*(x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*) = \max_{1 \le j \le p} d_j(x_1^*,...,x_i^*,...,x_n^*).$$

В отличие от [10] в оперативно реализованном механизме вывода по прецеденту нет необ-

ходимости «принудительно» вводить метрику в алгоритм предпочтения прецедентов.

1.5. Иллюстративный пример

Пусть некоторая ПрС/С описывается ситуационным вектором SV(ПрС/С-решение) с координатами $\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$, представленными лингвистическими переменными:

x_1 - удельная энергия летательного аппарата;

x_2 - увеличение длины траектории при движении летательного аппарата только в горизонтальной плоскости;

x_3 - увеличение длины траектории при движении летательного аппарата только в вертикальной плоскости;

x_4 - степень достижения конечного результата.

Пусть для этого класса ПрС/С наблюдались два успешных прецедента d_1, d_2, каждый из которых применялся в двух (разных) случаях.

Лингвистические переменные принимают следующие унифицированные значения (термы):

x_i = {малая (мл.), средняя (ср.), высокая (выс.)}, i = 1, …, 4. (Рис.2).

Пусть каждый терм лингвистических переменных представлен унифицированным универсальным множеством (десятибалльная шкала) и унифицированными кусочно-линейными (треугольными) функциями принадлежности.

Матрица знаний для этой ПрС/С представлена в Табл.3.

Пусть наблюдается ПрС/С, описываемая координатами $x_1^* = 6,\ \ x_2^* = 8,\ \ x_3^* = 4,\ \ x_4^* = 2$. Тогда, согласно алгоритму выбора предпочтительного прецедента, получим решение в Табл.4.

Вывод: наиболее предпочтительным прецедентом для разрешения ПрС/С ($x_1^* = 6,\ \ x_2^* = 8,\ \ x_3^* = 4,\ \ x_4^* = 2$) является прецедент d_2.

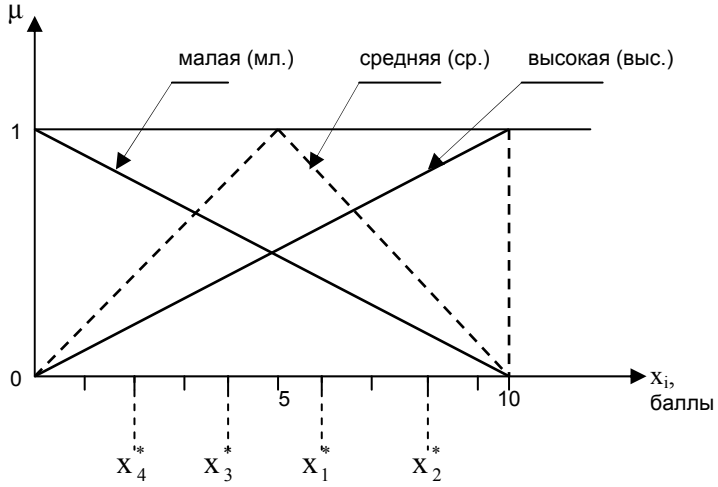


Рис. 2.

Табл. 3.

№ п.п.	Координаты ситуационного вектора				Прецеденты
	x_1	x_2	x_3	x_4	
1.1	выс.	выс.	выс.	выс.	
1.2	выс.	ср.	ср.	выс.	d_1
2.1	выс.	ср.	выс.	мл.	
2.2	ср.	выс.	ср.	ср.	d_2

Табл. 4.

№ п.п.	Координаты ситуационного вектора				min	max
	x_1	x_2	x_3	x_4		
1.1	0.6	0.8	0.4	0.2	0.2	0.2
1.2	0.6	0.4	0.6	0.2	0.2	
2.1	0.6	0.4	0.4	0.8	0.4	0.4
2.1	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4	

2. Алгоритмическая оболочка оперативного вывода по прецеденту

Выполнена программная реализация алгоритмической оболочки оперативного вывода по прецеденту. Оболочка реализована на языке C++ в среде Microsoft Visual Studio 2008 с использованием библиотеки QT под операционную систему Windows.

Полученный программный продукт позволяет смоделировать произвольную проблемную ситуацию (проблемную субситуацию), задавая ее ситуационным вектором SV(ПрС/С – решение) с полным описанием его координат (для каждой координаты вводится набор термов и относящаяся к каждому терму трапецевидная функция принадлежности и универсальное множество, на котором она определена) и матрицей знаний.

Любая конкретная реализация проблемной ситуации представляется этим же ситуационным вектором SV(ПрС/С – решение) с текущими количественными координатами.

Работу реализованной алгоритмической оболочки рассмотрим на примерах.

2.1. Примеры решения задач с использованием программной реализация алгоритмической оболочки оперативного вывода по прецеденту

Пример 1. Пусть рассматриваемая нами проблемная ситуация описывается следующим ситуационным вектором:

(ПрС/С – решение) = {ЛП1, ЛП2, ЛП3, ЛП4, ЛП5},

где ЛП1..ЛП5 – координаты ситуационного вектора (лингвистические переменные). Область значений лингвистических переменных определяются термами:

ЛП1 = {$Т1_{лп1}$, $Т2_{лп1}$, $Т3_{лп1}$, $Т4_{лп1}$, $Т5_{лп1}$}
ЛП2 = {$Т1_{лп2}$, $Т2_{лп2}$}
ЛП3 = {$Т1_{лп3}$, $Т2_{лп3}$, $Т3_{лп3}$}
ЛП4 = {$Т1_{лп4}$, $Т2_{лп4}$, $Т3_{лп4}$, $Т4_{лп4}$, $Т5_{лп4}$, $Т6_{лп4}$, $Т7_{лп4}$}
ЛП5 = {$Т1_{лп5}$, $Т2_{лп5}$, $Т3_{лп5}$}

Для каждой лингвистической переменной формируется ансамбль трапецевидных функции принадлежности, заданных на соответствующем универсальном множестве. Для ЛП4 они будут выглядеть следующим как на Рис.3. Для остальных лингвистических переменных – аналогично.

Формируется вектор возможных исходов

Пусть в матрицу знаний введены четыре прецедента (исхода):

И = {И1, И2, И3, И4}

Пусть с помощью экспертов сформирована матрица знаний (Табл.5).

Пусть на вход оперативного вывода по прецеденту подается текущий SV(ПрС/С – решение), значения координат которого указаны в Табл.6.

Для этого значения SV(ПрС/С – решение) матрица знаний преобразуется в количественную матрицу знаний (Табл.7).

В результате применения к матрице знаний алгоритмов логического вывода получаем рекомендации о предпочтительном прецеденте (исходе). Для данного количественного ситуационного вектора это прецедент И1.

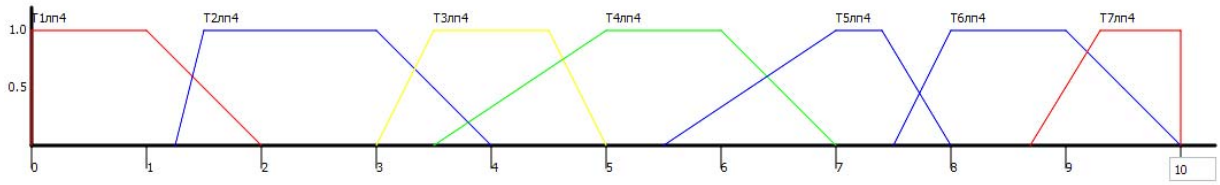


Рис. 3.

Табл. 5.

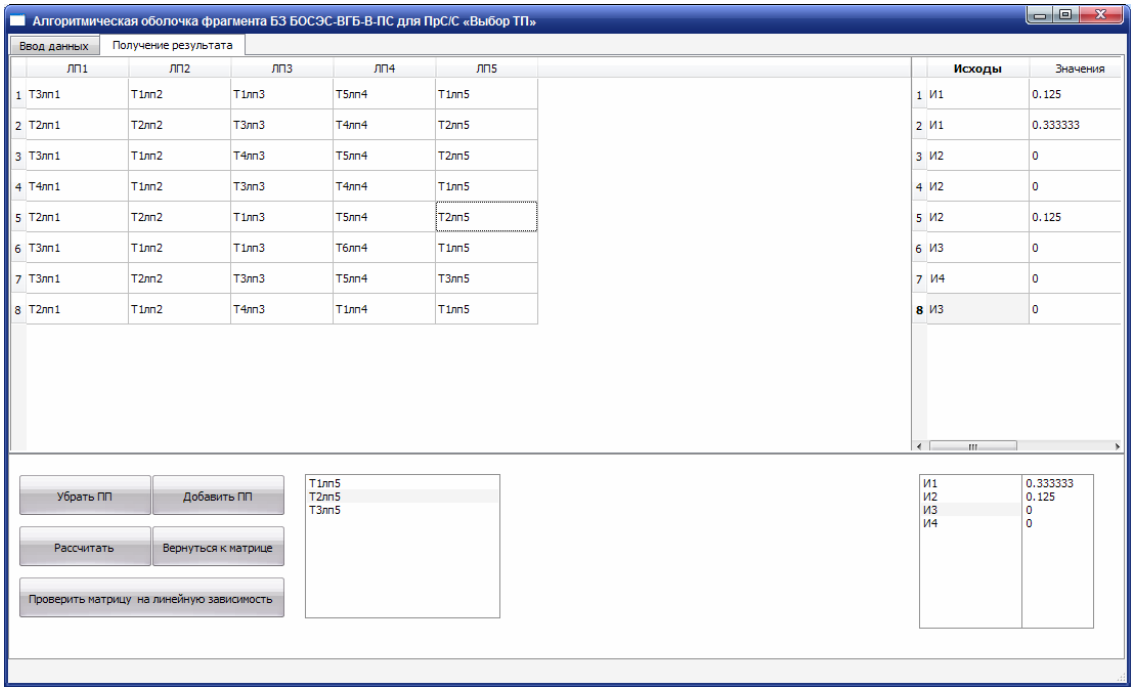


Табл. 6.

Текущий СВ		
ЛП1	3	3
ЛП2	5	5
ЛП3	6.5	6.5
ЛП4	6	6
ЛП5	4	4

В результате расчетов определяем предпочтительный прецедент И1 для разрешения конкретной реализации ПрС/С, определяемой показанной в Табл. 6 ситуационным вектором SV(ПрС/С – решение).

Пример №2. Решается проблема выбора тактики поведения пилота на основании ниже следующих данных:

Входная информация:

а) ситуационный вектор (численная реализация в данный момент времени) – в виде массива

array<float^>^ myNumSV,

Ситуационный вектор {1000.0 3.0 4000.0 1000.0 2.0 2.0 2.0 5.0 3.0f 7.0f};

б) ситуационный вектор и термы его координат– в виде массива

array <array<String^>^>^ mySV

Координата ситуационного вектора – термы ситуационного вектора

"Дальность до цели", = {"Оч.Малая", "Малая", "Средняя","Большая","Оч.Большая"};

"Видимость" = {"Нулевая", "Малая", "Средняя", "Большая","Отличная"};

"Высота" = {"Минимальная","Малая", "Средняя", "Большая","Максимальная"};

"Скорость" = {"Минимальная","Малая", "Средняя", "Большая","Максимальная"};

"Кол-во горючего" = {"Почти нет", "Мало", "Средне", "Достаточное","Полные баки"};

"Кол-во боеприпасов", = {"Почти нет", "Мало", "Средне","Достаточное","Полный боезапас"};

"Мастерство летчика" = {"Оч. низкое", "Низкое", "Среднее","Высокое","Оч. высокое"};

"Состояние ЛА" = {"Еле летит","Пока летит", "Без крит.повр","Хорошее","Очень хорошее"};

"Метеорол. усл-ия" = {"Оч плохие", "Плохие", "Нормальные","Хорошие","Отличные"};

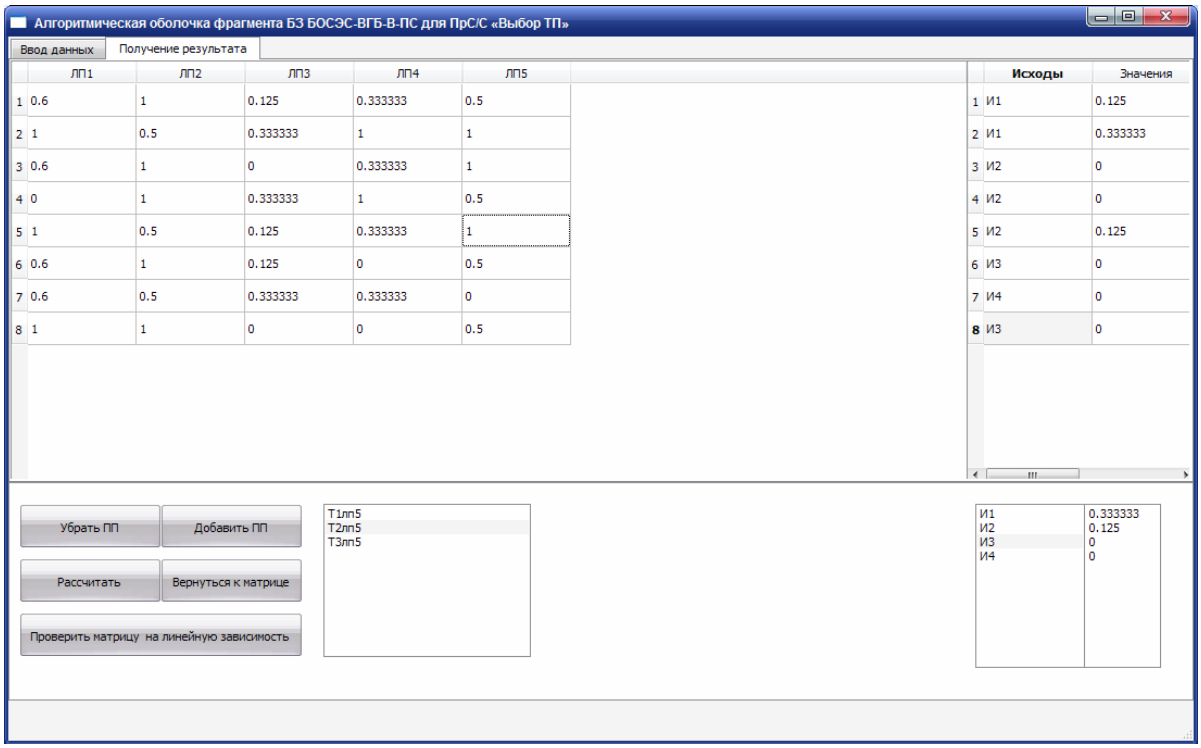
"Ветер" = {"Почти нет", "Слабый", "Средний", "Сильный","Оч.сильный"};

в) функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов – в виде массива

array <array<foat^>^>^ myFP

В фигурных скобках – узловые значения трапециевидных функций принадлежности координат ситуационного вектора.

Табл. 7.



```
{0.0f,0.0f,300.0f,4000.0f,0.0f,800.0f,
1700.0f,4000.0f,0.0f,1800.0f,2000.0f,
4000.0f,0.0f,2100.0f,3000.0f,4000.0f,
0.0f,3400.0f,4000.0f,4000.0f};
{0.0f,0.0f,1.0f,10.0f,0.0f,2.0f,3.0f,
10.0f,0.0f,4.0f,5.0f,10.0f,0.0f,6.0f,
7.0f,10.0f,0.0f,8.0f,10.0f,10.0f};
{0.0f,0.0f,2000.0f,20000.0f,0.0f,4000.
0f,6000.0f,20000.0f,0.0f,8000.0f,1000
0.0f,20000.0f,0.0f,12000.0f,14000.0f,
20000.0f,0.0f,16000.0f,20000.0f,20000.
0f};
{0.0f,0.0f,200.0f,2000.0f,0.0f,400.0f,
600.0f,2000.0f,0.0f,800.0f,1000.0f,
2000.0f,0.0f,1200.0f,1400.0f,2000.0f,
0.0f,1600.0f,2000.0f,2000.0f};
{0.0f,0.0f,1.0f,10.0f,0.0f,2.0f,3.0f,
10.0f,0.0f,4.0f,5.0f,10.0f,0.0f,6.0f,
7.0f,10.0f,0.0f,8.0f,10.0f,10.0f};
{0.0f,0.0f,1.0f,10.0f,
0.0f,2.0f,3.0f,10.0f,0.0f,4.0f,5.0f,
10.0f,0.0f,6.0f,7.0f,10.0f,0.0f,8.0f,
10.0f,10.0f};
{0.0f,0.0f,1.0f,10.0f,0.0f,2.0f,3.0f,
10.0f,0.0f,4.0f,5.0f,10.0f,0.0f,6.0f,
7.0f,10.0f,0.0f,8.0f,10.0f,10.0f};
{0.0f,0.0f,1.0f,10.0f,0.0f,2.0f,3.0f,
10.0f,0.0f,4.0f,5.0f,10.0f,0.0f,6.0f,
7.0f,10.0f,0.0f,8.0f,10.0f,10.0f};
{0.0f,0.0f,1.0f,10.0f,0.0f,2.0f,3.0f,
10.0f,0.0f,4.0f,5.0f,10.0f,0.0f,6.0f,
7.0f,10.0f,0.0f,8.0f,10.0f,10.0f};
{0.0f,0.0f,1.0f,10.0f,0.0f,2.0f,3.0f,
10.0f,0.0f,4.0f,5.0f,10.0f,0.0f,6.0f,
7.0f,10.0f,0.0f,8.0f,10.0f,10.0f};
```

г) прецеденты (исходы): "Сесть на ближайший аэродром";"Возвращаться на базу"; "Продолжить, быть готовым вернуться"; "Продолжить, соблюдать осторожность"; "Продолжить задание в штатном режиме"};

д) заполненная матрица знаний – в виде массива

array <array<int^>^>^ MatrixOfKnowedge

Строка данной матрицы соответствует продукционному правилу, столбец – координате ситуационного вектора, число – номер терма соответствующей координаты ситуационного вектора (нумерация термов начинается с 0)

{0,0,4,4,4,4,4,4,1,4};
{4,1,1,1,2,2,4,0,0,1};
{2,2,2,4,2,1,0,1,2,4};
{2,2,4,1,2,4,4,1,2,1};
{4,4,4,2,4,2,4,1,4,2};
{4,4,4,4,1,4,4,1,0,4};
{4,4,0,0,0,4,4,1,2,2};
{4,4,4,0,4,4,4,2,4,0};
{4,4,4,2,0,4,4,0,1,0};
{0,4,4,0,1,2,4,4,2,4};
{4,1,0,0,0,4,4,1,1,1};

Окно программы при вводе вышеуказанных данных примет вид Табл.8.

Для полученного количественного SV(ПрС/С – решение) количественная матрица знаний дана в Табл.9.

Таким образом, рекомендуемый прецедент – Сесть на ближайший аэродром.

Табл. 8.

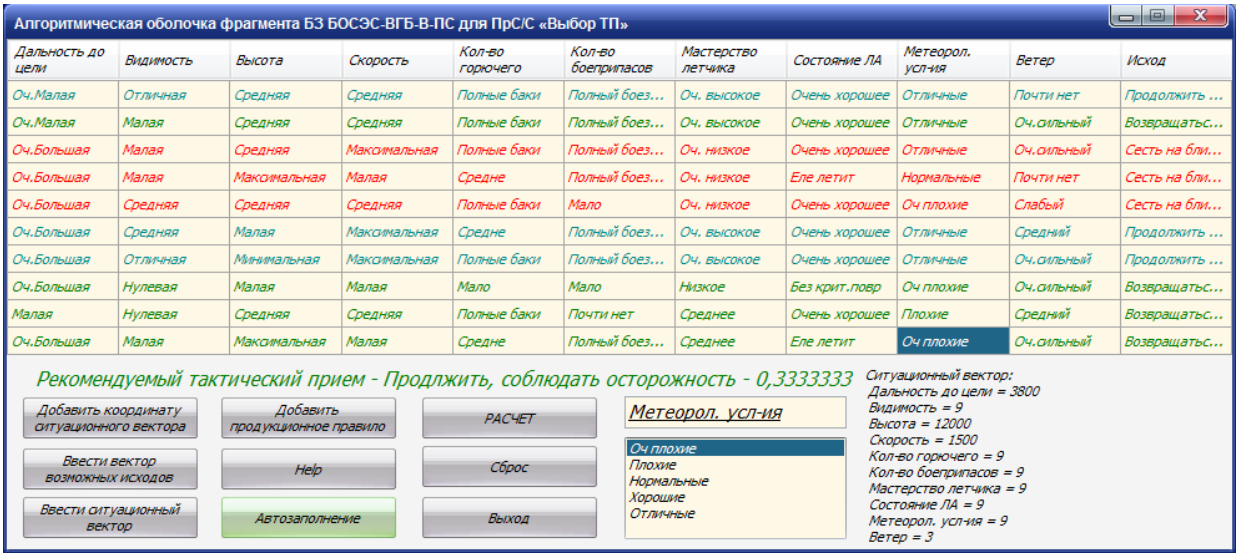


Табл. 9.

Алгоритмическая оболочка фрагмента БЗ БОСЭС-ВГБ-В-ПС для ПрС/С «Выбор ТП»

Дальность до цели	Видимость	Высота	Скорость	Кол-во горючего	Кол-во боеприпасов	Мастерство летчика	Состояние ЛА	Метеорол. усл-ия	Ветер	Исход
0,8108108	0,375	0,5	1	0,25	0,25	0,25	0,625	0,375	0,3333333	0,25
0,8108108	1	0,5	1	0,25	0,25	0,25	0,625	0,375	0,875	0,25
0,2941177	1	0,5	0,625	0,25	0,25	0,8888889	0,625	0,375	0,875	0,25
0,2941177	1	0,25	0,7142857	0,5	0,25	0,8888889	0,5555556	0,75	0,3333333	0,25
0,2941177	0,75	0,5	1	0,25	1	0,8888889	0,625	0,7777778	0,4285714	0,25
0,2941177	0,75	1	0,625	0,5	0,25	0,25	0,625	0,375	0,6	0,25
0,2941177	0,375	0,8888889	0,625	0,25	0,25	0,25	0,625	0,375	0,875	0,25
0,2941177	0,7777778	1	0,7142857	1	1	1	1	0,7777778	0,875	0,2941177
1	0,7777778	0,5	1	0,25	0,8888889	0,5	0,625	1	0,6	0,25
0,2941177	1	0,25	0,7142857	0,5	0,25	0,5	0,5555556	0,7777778	0,875	0,25

Рекомендуемый тактический прием - Сесть на ближайший аэродром - 0,2941177

Добавить координату ситуационного вектора | Добавить продукционное правило | РАСЧЕТ | Исход

Ввести вектор возможных исходов | Help | Сброс | Сесть на ближайший аэродром | Возвращаться на базу | Продолжить, быть готовым верн | Продлжить, соблюдать осторож | Продолжить задание в штатном р

Ввести ситуационный вектор | Автозаполнение | Выход

Ситуационный вектор:
Дальность до цели = 1000
Видимость = 3
Высота = 4000
Скорость = 1000
Кол-во горючего = 2
Кол-во боеприпасов = 2
Мастерство летчика = 2
Состояние ЛА = 5
Метеорол. усл-ия = 3
Ветер = 7

Табл. 10.

Ситуационный вектор:

Дальность до цели {0...4000}	3800
Видимость {0...10}	5
Высота {0...20000}	12000
Скорость {0...2000}	1500
Кол-во горючего {0...10}	9
Кол-во боеприпасов {0...10}	9
Мастерство летчика {0...10}	9
Состояние ЛА {0...10}	9
Метеорол. услния {0...10}	9
Ветер {0...10}	3

Принять | Отменить

Пример №3. Примем за основу входные данные предыдущего примера и внесем следующие изменения (Табл.10).

Изменим матрицу знаний (Табл.11).

Получим следующий результат

Количественная матрица знаний для ситуационного вектора, заданного в Табл. 10, показана в Табл. 12.

Таким образом, рекомендуемый прецедент – «Продолжить, соблюдать осторожность».

Заключение

Представлен оперативный вывод по прецеденту и программно реализованная алгоритмическая оболочка оперативного вывода.

Табл. 11.

Алгоритмическая оболочка фрагмента БЗ БОСЭС-ВГБ-В-ПС для ПрС/С «Выбор ТП»

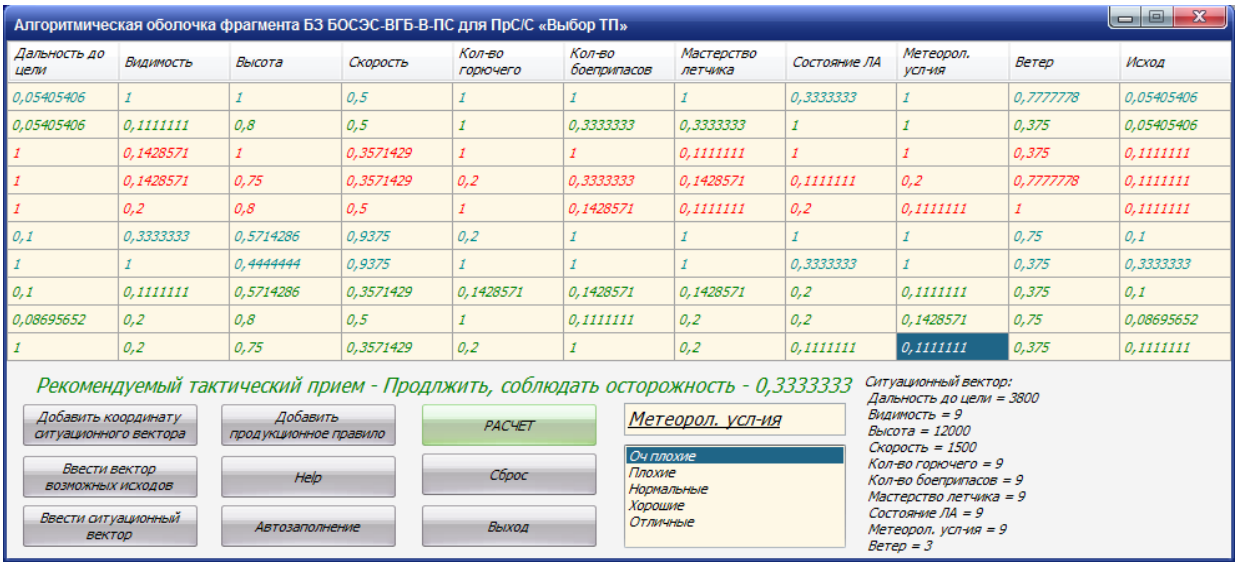
Дальность до цели	Видимость	Высота	Скорость	Кол-во горючего	Кол-во боеприпасов	Мастерство летчика	Состояние ЛА	Метеорол. усл-ия	Ветер	Исход
Большая	Отличная	Большая	Максимальная	Достаточное	Полный боез...	Оч. высокое	Очень хорошее	Отличные	Почти нет	Продолжить ...
Оч.Малая	Малая	Малая	Средняя	Полные баки	Достаточное	Оч. высокое	Очень хорошее	Отличные	Оч.сильный	Возвращатьс...
Оч.Большая	Малая	Малая	Большая	Достаточное	Достаточное	Оч. низкое	Очень хорошее	Отличные	Оч.сильный	Сесть на бли...
Средняя	Малая	Средняя	Малая	Средне	Полный боез...	Низкое	Еле летит	Нормальные	Почти нет	Сесть на бли...
Оч.Большая	Средняя	Средняя	Средняя	Полные баки	Мало	Низкое	Очень хорошее	Оч плохие	Слабый	Сесть на бли...
Средняя	Средняя	Средняя	Максимальная	Средне	Полный боез...	Оч. высокое	Очень хорошее	Отличные	Средний	Продолжить ...
Средняя	Отличная	Минимальная	Максимальная	Полные баки	Полный боез...	Оч. высокое	Очень хорошее	Отличные	Оч.сильный	Продолжить ...
Оч.Большая	Нулевая	Средняя	Малая	Мало	Достаточное	Низкое	Без крит.повр	Оч плохие	Оч.сильный	Возвращатьс...
Малая	Нулевая	Средняя	Средняя	Средне	Почти нет	Высокое	Очень хорошее	Плохие	Средний	Возвращатьс...
Оч.Большая	Малая	Большая	Малая	Средне	Полный боез...	Среднее	Еле летит	Оч плохие	Оч.сильный	Возвращатьс...

Добавить координату ситуационного вектора | Добавить продукционное правило | РАСЧЕТ | Ветер

Ввести вектор возможных исходов | Help | Сброс | Почти нет | Слабый | Средний | Сильный | Оч.сильный

Ввести ситуационный вектор | Автозаполнение | Выход

Табл. 12.



Алгоритмическая оболочка фрагмента БЗ БОСЭС-ВГБ-В-ПС для ПрС/С «Выбор ТП»

Дальность до цели	Видимость	Высота	Скорость	Кол-во горючего	Кол-во боеприпасов	Мастерство летчика	Состояние ЛА	Метеорол. усл-ия	Ветер	Исход
0,05405406	1	1	0,5	1	1	1	0,3333333	1	0,7777778	0,05405406
0,05405406	0,1111111	0,8	0,5	1	0,3333333	0,3333333	1	1	0,375	0,05405406
1	0,1428571	1	0,3571429	1	1	0,1111111	1	1	0,375	0,1111111
1	0,1428571	0,75	0,3571429	0,2	0,3333333	0,1428571	0,1111111	0,2	0,7777778	0,1111111
1	0,2	0,8	0,5	1	0,1428571	0,1111111	0,2	0,1111111	1	0,1111111
0,1	0,3333333	0,5714286	0,9375	0,2	1	1	1	1	0,75	0,1
1	1	0,4444444	0,9375	1	1	1	0,3333333	1	0,375	0,3333333
0,1	0,1111111	0,5714286	0,3571429	0,1428571	0,1428571	0,1428571	0,2	0,1111111	0,375	0,1
0,08695652	0,2	0,8	0,5	1	0,1111111	0,2	0,2	0,1428571	0,75	0,08695652
1	0,2	0,75	0,3571429	0,2	1	0,2	0,1111111	0,1111111	0,375	0,1111111

Программная реализация алгоритмической оболочки ориентирована как на автономное ее использование, так и на встраивание ее в базу знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем [11].

Представлены иллюстративные примеры применения оперативного вывода по прецеденту.

Литература

1. Федунов Б.Е.. Интеллектуальная поддержка экипажа на борту антропоцентрического объекта. – М., Мехатроника, автоматизация, управление. №2, 2010. с.62-70.
2. Системы управления вооружением истребителей: основы интеллекта многофункционального самолета. Под редакцией академ. РАН Е.А. Федосова. Российская академия ракетных и артиллерийских наук: М. Машиностроение. 1999 с.2005.
3. Федунов Б.Е. Проблемы разработки бортовых оперативно-советующих экспертных систем. // Изв. РАН. ТиСУ. 1996. № 5.
4. Грибков В.Ф., Федунов Б.Е. Бортовая информационная интеллектуальная система «Ситуационная осведомленность экипажа» для боевых самолетов». Труды ГосНИИАС, серия ВА, вып.1(18), 2010, с.5-16.
5. Федунов Б.Е. Конструктивная семантика для разработки алгоритмов бортового интеллекта антропоцентрических объектов. // Изв. РАН. ТиСУ. 1998. № 5.
6. Федунов Б.Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем. // Изв. РАН. ТиСУ. 2002. №4
7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Радио и связь, 1976.
8. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982.
9. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации. Винница: Универсум, 1999.
10. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. «Искусственный интеллект и принятие решений». №2. 2009. с. 45-57.
11. Федунов Б.Е., Шестопалов Е.В.. Оболочка бортовой оперативно советующей экспертной системы для типовой ситуации полета «Ввод группы в воздушный бой». – М., Изв. РАН, ТиСУ, 2010, №3, с.86 – 103.

Федунов Борис Евгеньевич. Начальник сектора Московского ФГУП ГосНИИ авиационных систем (НИИАС), профессор Московского Авиационного Института (МАИ). Окончил Московский авиационный институт им С.Орджоникидзе в 1960 году и Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова в 1965 году. Доктор технических наук. Автор более 250 работ, 6 монографий и учебных пособий. Область научных интересов: теория, технология и практическая реализация бортовых интеллектуальных систем технических антропоцентрических объектов (главным образом летательных аппаратов), теория и приложения оптимального управления динамическими объектами. E-mail: boris_fed@gosniias.ru.

Прохоров Михаил Дмитриевич. Инженер Московского ФГУП ГосНИИ авиационных систем (НИИАС). Область научных интересов: технология и практическая реализация бортовых интеллектуальных систем самолетов. E-mail: prokhorovmd@mail.ru.