

УДК 681.5.073

## МОДЕЛЬ «ЭТАП» ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОБЛИКА БОРТОВЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ АНТРОПОЦЕНТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**Б.Е. Федун**

*ФГУП ГосНИИАС, Московский Авиационный Институт (технический университет), г. Москва  
boris\_fed@gosniias.ru*

### Аннотация

Рассматриваются бортовые интеллектуальные системы системообразующего ядра антропоцентрического объекта (иллюстрируемые на примере самолета), поддерживающие процесс решения оператором (экипажем) задач первого и второго глобальных уровней управления: системы класса интеллектуальных информационных систем (для решения задач ситуационной осведомленности оператора) и бортовые оперативно советующие экспертные системы типовых ситуаций сеанса функционирования (для решения задач определения способа достижения оперативно поставленной цели).

*Ключевые слова:* глобальные уровни управления, классификация бортовых интеллектуальных систем, ситуационная осведомленность, механизмы вывода в базах знаний.

### Введение

Антропоцентрический объект (Антр/объект) – это вмонтированная в некоторую физическую оболочку совокупность бортовых измерительных (Б/Изм/Устройств) и бортовых исполнительных устройств (Б/Исп/Устройств), развитой бортовой цифровой вычислительной системы (БЦВС), экипажа и его кабины с современным информационно-управляющим полем (ИУП). На Антр/объекте решающую роль в назначении текущего этапа сеанса функционирования (ситуационная осведомленность) и в выборе способа достижения цели этого этапа принадлежит экипажу (рисунок 1).

При подготовке сеанса функционирования группы антропоцентрических объектов (вылета группы самолетов), в частном случае одного антропоцентрического объекта (Антр/объект)), перед группой ставится генеральная задача сеанса функционирования (ГЗВ) и назначаются роли (ранги) Антр/объектов (самолетов) в группе. В процессе выполнения сеанса функционирования (полета) в каждый текущий момент времени на любом Антр/объекте (самолете) группы с помощью алгоритмов деятельности экипажа (АДЭ) и бортовых БЦВМ-алгоритмов решаются задачи трех глобальных уровней управления:

- задачи оперативного целеполагания (I ГЛУУ - первый глобальный уровень управления),
- задачи определения рационального способа достижения оперативно поставленной цели (II ГЛУУ – второй глобальный уровень управления),
- задачи реализации принятого способа достижения оперативно поставленной цели (III ГЛУУ – третий глобальный уровень управления).

Решение задач I ГЛУУ на самолетах 4-го поколения (как и на любом современном Антр/объекте) осуществляется экипажем без какой-либо поддержки БЦВМ-алгоритмами. Для самолетов этого поколения разрабатывались БЦВМ-алгоритмы главным образом для решения задач III ГЛУУ. При этом использовалась концептуальная модель «Эпизод». Модель

содержит набор проблемных субситуаций (ПрСС), выделенных для каждого этапа полета (типовой ситуации (ТС) полета). По каждой такой ПрСС безотносительно к другим ПрСС этой ТС разрабатывается свое бортовое алгоритмическое и индикационное обеспечение (АиИО = АДЭ + БЦВМ-алгоритмы).

При использовании концептуальной модели «Эпизод» задачи I ГЛУУ и II ГЛУУ, так называемые «тактические задачи», исчезают из поля зрения конструкторов бортового АиИО.

При возникновении возможности [1] реализовать алгоритмическую поддержку процесса решения летчиком задач II ГЛУУ и частично задач I ГЛУУ возникла необходимость перехода к новой концептуальной модели Антр/объекта – модели «Этап».

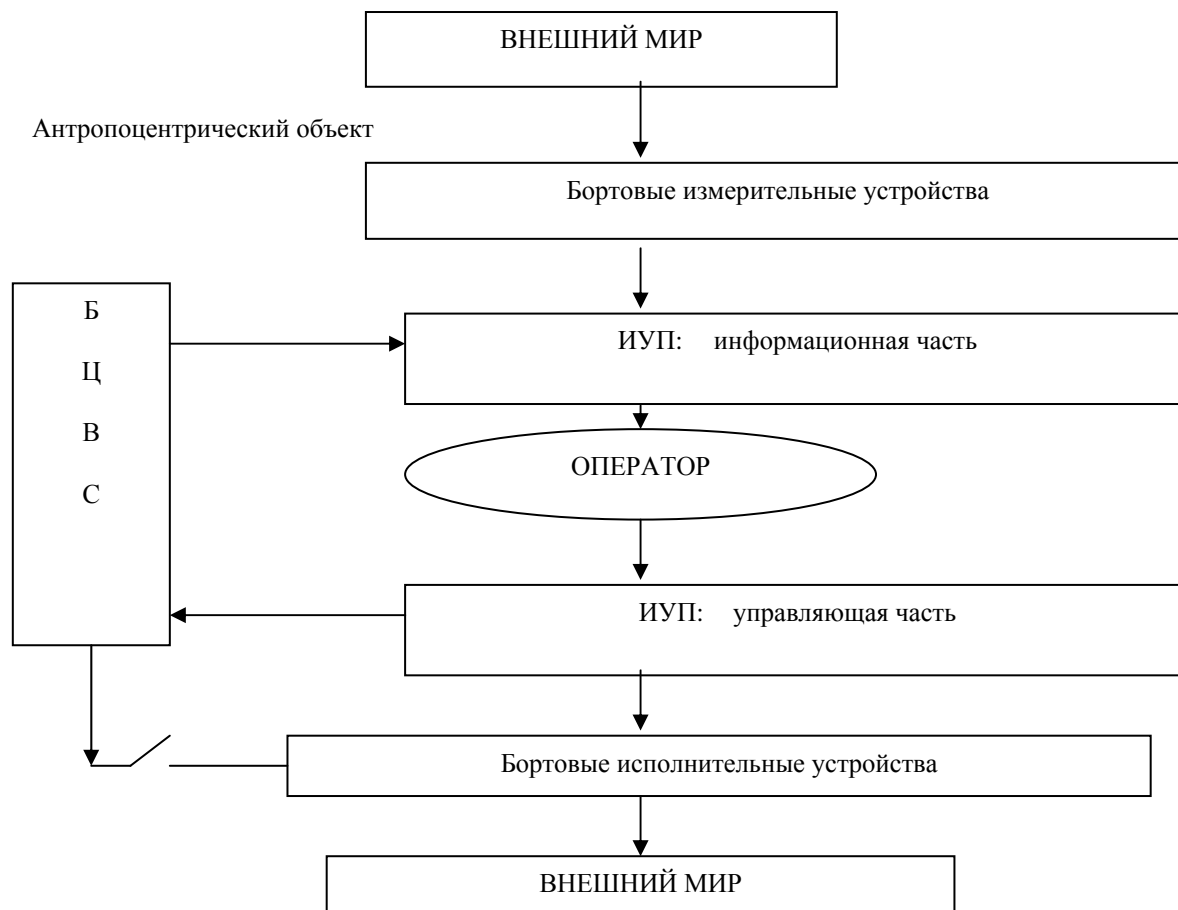


Рисунок 1 - Составляющие Антр/объекта

## 1 Модель «Этап»

Модель «Этап» (рисунок 2) для разработки БЦВМ-алгоритмов поддержки процесса решения летчиком задач II ГЛУУ и задач I ГЛУУ включает в себя: заданный Заказчиком набор ГЗВ, представление каждой ГЗВ через семантическую сеть ТС и представление каждой ТС через семантическую сеть ее ПрСС [2]. В модели «Этап» задача I ГЛУУ интерпретируется как задача назначения текущей ТС полета, а задача II ГЛУУ – как задача построения семантической сети ПрСС для этой назначенной ТС.

Как видим из этой модели в модели «Эпизод» конструкторами бортового АиИО используются только автономно рассматриваемые ПрСС.

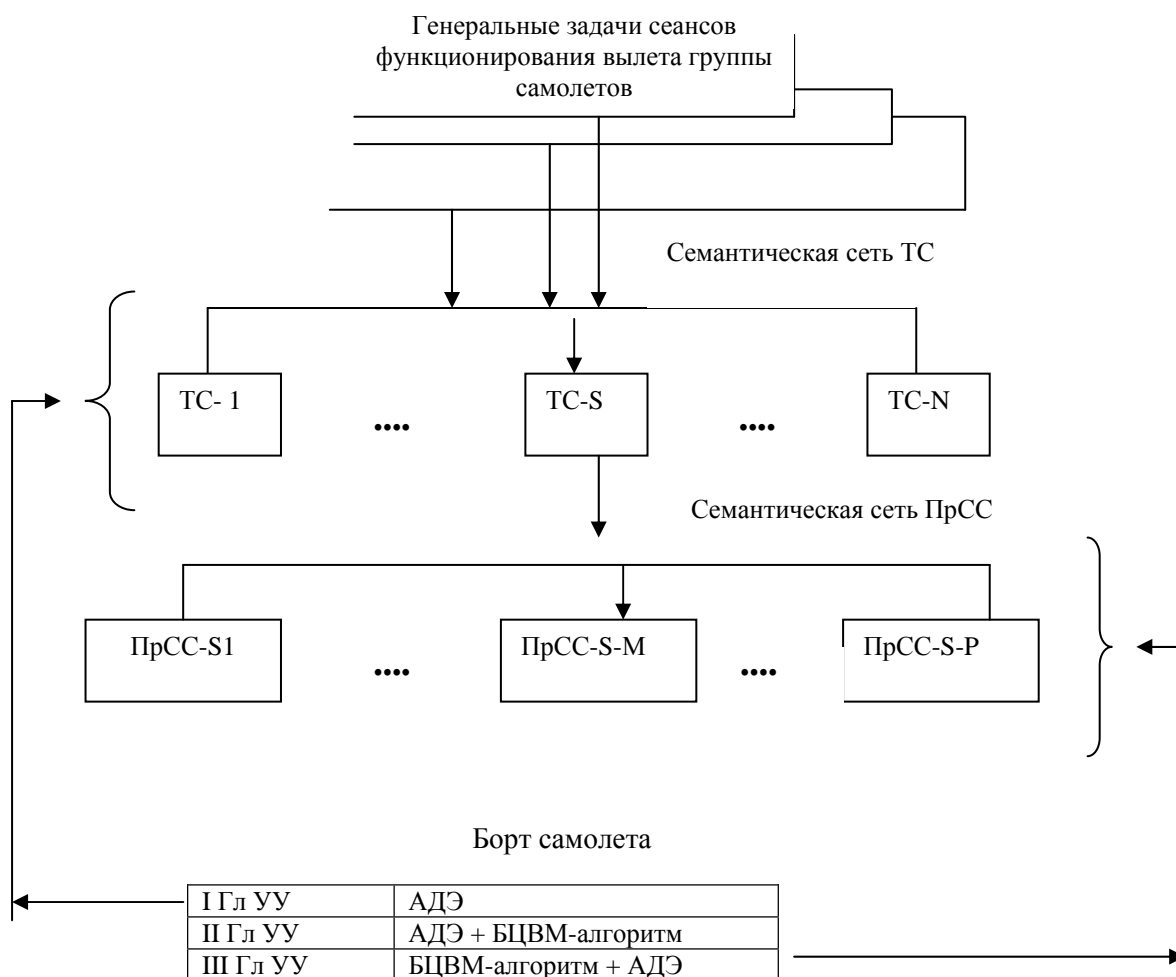


Рисунок 2 - Макромодель самолета «Этап»

## 2 Классификация бортовых интеллектуальных систем поддержку процесса решения оператором (летчиком) задач II ГЛУУ и задач I ГЛУУ

Для решения этих задач на борту Антр/объекта размещаются интеллектуальные системы двух классов:

- интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомленность экипажа» (ИИС СОЭ), работающая на всех этапах выполнения Антр/объектами ГЗВ и обеспечивающая экипаж для решения им задач I ГЛУУ информационной моделью внешней и внутрибортовой обстановки;
- бортовые оперативно советующие экспертные системы типовых ситуаций (БОСЭС ТС) сеанса функционирования (этапов полета самолета/группы самолетов), работающие каждая на своей ТС и рекомендуемые экипажу рациональный способ достижения цели этой ТС (II ГЛУУ – глобальный уровень управления).

## 2.1 Интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомленность экипажа»

Интеллектуальная информационная система «Ситуационная осведомленность экипажа» [3] относится к классу систем, не предполагающих использования диалоговых процедур с летчиком. Ее база знаний для Антр/объекта «Самолет» имеет одноуровневую семантическую структуру с набором продукционных правил, подключающих к выполнению в зависимости от текущей обстановки блоки БЦВМ-алгоритмов из следующего состава:

- выделение воздушных угроз;
- выделение наземных угроз;
- определение достаточности расходуемых ресурсов, необходимых для эффективного выполнения заданной генеральной задачи вылета;
- значимые (для выполняемой генеральной задачи вылета) отказы бортовой аппаратуры.

В процессе полета в систему ИИС СОЭ поступает текущая информация о внешней и внутрибортовой обстановке. Выходная информация системы предьявляется летчику на индикаторах информационно управляющего поля кабины и через бортовые речевые информаторы. Пример показа внешних наземных угроз на этапе полета «Маршрут» истребителя F-16 приведен на рисунке 3 [4].

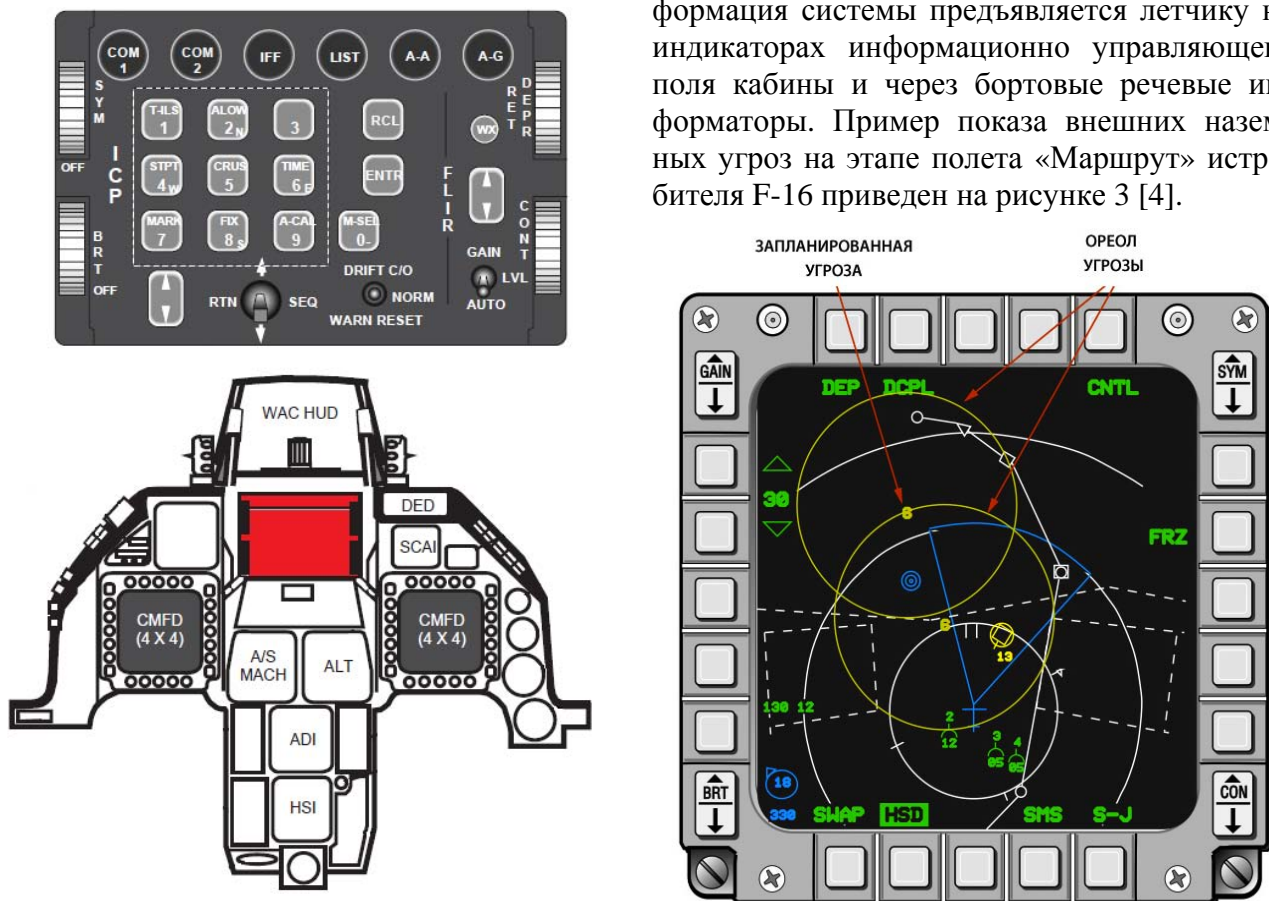


Рисунок 3 - Пример показа внешних угроз на этапе полета «Маршрут» истребителя F-16 (слева) и интегральная панель назначения ТС (справа) [4]

Ориентируясь на развернутую на информационно управляющем поле (ИУП) кабины информационную модель внешней и внутрибортовой обстановки, экипаж принимает решения (с учетом выполняемой ГЗВ и ранга самолета в группе) о назначении/подтверждении текущего этапа полета (назначение ТС в терминах модели «Этап»). Как правило, это эвристические решения. Факт принятия такого решения экипаж подтверждает ручной операцией. На

рисунке 3 на интегральной панели показаны две таких кнопки назначения ТС: «Атака воздушной цели» (кнопка А-А) и атака наземной цели (кнопка А-Г).

## 2.2 Бортовые оперативно советуемые экспертные системы типовых ситуаций сеанса функционирования Антр/объекта

БОСЭС ТС – программная реализация в БЦВС интеллектуальной системы [5, 6]. Ее основной функциональный блок – база знаний (БЗ), включающий в себя формализованные знания о ТС; задачи (проблемы), которые нужно решать в этой ТС; способы решения этих задач (механизмы вывода). В БЗ используется структура модели «Этап» - рассматриваемая ТС представляется в БЗ через семантическую сеть ее ПрСС.

БОСЭС ТС обеспечивает нахождение способа решения проблем той ТС, для которой она разрабатывалась. Найденный БОСЭС ТС способ предъявляется экипажу на информационно-управляющем поле кабины. Способ содержит всю информацию, необходимую для организации его автоматической реализации на III ГлуУ. Непосредственная автоматическая реализация способа наступает после поступления на III ГлуУ сигнала от экипажа, разрешающего его полную или частичную реализацию.

БЗ имеет два иерархических уровня. Первый иерархический уровень БЗ – формальное представление семантической сети ПрСС соответствующей ТС. На этом уровне БЗ, используя текущую информацию о внешней и внутрибортовой обстановки, реализуется выбор (активизация) одной из ПрСС этой сети. Механизм вывода – производственные правила.

Второй иерархический уровень БЗ – математическая постановка (представление) задач каждой ПрСС и адекватный способ (механизм) решения каждой из этих задач.

Для решения задач в каждой активизированной ПрСС используются соответствующие ей механизмы вывода (алгоритмы решения задач) из нижеследующего перечня [7]:

- производственные правила (прямое заимствование знаний экспертов без выявления структуры его модели мира);
- многокритериальный выбор альтернативы решения задачи. Для применения этого механизма задача, которую нужно решить, представляется:
  - набором альтернатив ее решения  $A_1, \dots, A_i, \dots, A_n$ ,
  - критериями предпочтения этих альтернатив  $K_1, \dots, K_j, \dots, K_s$ ,
  - атрицами парных сравнений альтернатив  $A_i, i = 1 - n$ , по каждому критерию  $K_j, j = 1 - s$ , («s» штук матриц),
  - матрицы парных сравнений критериев  $K_j, j = 1 - s$ , (одна матрица).

Пример использования этого механизма во фрагменте базы знаний БОСЭС ВГБ-В дан в работе [8];

- вывод по прецеденту. Эта простая формальная конструкция в базе знаний БОСЭС ТС [9] требует от профессионала-эксперта по предметной области тщательного конструирования ситуационного вектора  $SV$ (проблема – прецеденты ее разрешения), описывающего лингвистическими переменными (координаты  $SV$ ) решаемую задачу до глубины, позволяющей представлять использования каждого прецедента при различных реализациях проблемы.

Формальные элементы механизма:  $SV$ (проблема – прецеденты ее разрешения), матрица знаний (предыдущий успешный опыт использования прецедента), текущее представление координат  $SV$ (проблема – прецеденты ее разрешения) количественными значениями, описывающими оперативно реализовавшуюся задачу заданного типа.

В результате работы механизма вывода по прецеденту получаем ранжирование по приоритету прецедентов. Прецедент с наивысшим приоритетом будет рекомендован для



разрешения возникшей проблемы. Пример использования этого механизма во фрагменте базы знаний БОСЭС ВГБ-В дан в работе [8];

- оперативное решение проблемы численными методами оптимизации. Этот механизм требует тщательной математической постановки задачи и выставляет повышенные требования к бортовым вычислительным ресурсам. Пример использования механизма можно найти в [9].

Рекомендации БОСЭС должны быть постоянно согласованными с активизированной моделью поведения экипажа на концептуальном и оперативном уровнях.

База знаний БОСЭС относится к типу стационарных. Абсолютное время в ней реализуется:

- через событийную шкалу значимых событий, генерируемых математическими моделями (ММ) соответствующего типа;
- через смену правил выработки рекомендаций при смене ПрСС;
- через постоянное использование структур ситуационного управления.

Перед вылетом из системы подготовки к вылету группы самолетов (самолета) в базу знаний БОСЭС ТС загружается априорная информация. По каждой значимой для выполнения ТС проблемной субситуации БОСЭС ТС вырабатывает для экипажа рекомендации по ее разрешению с краткими пояснениями.

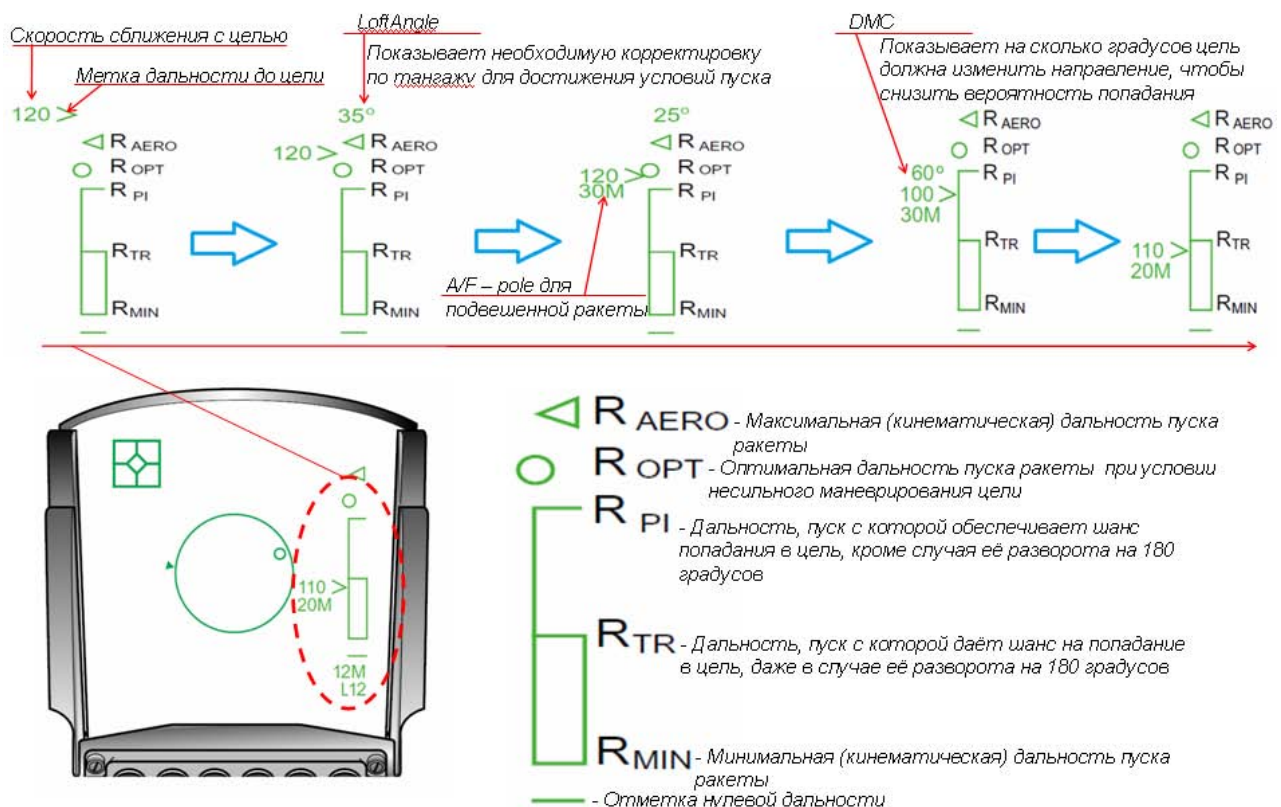


Рисунок 4 - Динамические дальности пуска ракеты AIM-120 в ТС ДБВ1х1 в ПрСС «Нападение» [4]

Рекомендации и пояснения к ним появляются на ИУП (информационная часть) кабины экипажа. Экипаж вправе не принять предложенную БОСЭС рекомендацию и разрешить возникшую ПрСС другим способом, ничего не сообщая об этом БОСЭС ТС. При этом следующую рекомендацию БОСЭС ТС должна будет уже выработать с учетом реализованного эки-

пажем решения. Любое игнорирование экипажем предложенной из БОСЭС ТС рекомендации фиксируется в бортовой системе объективного контроля и после окончания полета эта информация передается во внебортовую систему послеполетного анализа результатов.

Пример работы фрагмента такой базы знаний БОСЭС ДБВ1х1, реализованный в БЦВМ истребителя F-16 показан на рис.4

### **Заключение**

Для поддержки процесса принятия экипажем «тактических решений» на Антр/объекте должны быть реализованы интеллектуальные системы двух классов:

*Класс А) бортовой интеллектуальной информационно-управляющей системы «Ситуационная осведомленность экипажа» (ИИССОЭ) создающая экипажу на информационно управляющем поле его кабины информационную модель внешней и внутрибортовой обстановки для решения им задач оперативного целеполагания (по модели «Этап»: назначения текущей типовой ситуации сеанса функционирования), и*

*Класс Б) бортовых оперативно-советующих экспертных систем типовых ситуаций сеансов функционирования (БОСЭС ТС), оперативно предъявляющих экипажу способ решения задач назначенной ТС.*

«Глубина» рекомендаций БОСЭС ТС достаточна для рационального решения всех задач ТС в автоматическом режиме при наличии согласия оператора Антр/объекта на реализацию выработанных рекомендаций БОСЭС ТС.

### **Список источников**

- [1] Системы управления вооружением истребителей: основы интеллекта многофункционального самолета. /Под ред. акад. РАН Е.А. Федосова. Российская академия ракетных и артиллерийских Наук. - М.: Машиностроение, 2005.
- [2] Федунов Б.Е. Макромодель пилотируемых летательных аппаратов для разработки алгоритмов бортового интеллекта // Мехатроника, автоматизация, управление. №3. 2006. - Приложение «Управление и информатика в авиакосмических системах». - С.13-16.
- [3] Грибков В.Ф., Федунов Б.Е. Бортовая информационная интеллектуальная система «Ситуационная осведомленность экипажа» для боевых самолетов /В книге «Интеллектуальные системы управления». Под редакцией акад. РАН С.Н.Васильева. - М.: Машиностроение. 2010. - С.108-116
- [4] F-16 A/B Mid-Life Update Production Tape M3 The Pilot's Guide 2004 by Lockheed Martin Corporation. ([http://www.airwar.ru/other/bbl\\_r.html](http://www.airwar.ru/other/bbl_r.html))
- [5] Федунов Б.Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы тактических самолетов пятого поколения (обзор по материалам зарубежной печати). - М.: НИЦ ГосНИИАС, 2002.
- [6] Федунов Б.Е. Базовая алгоритмическая оболочка бортовых оперативно-советующих экспертных систем типовых ситуаций функционирования объекта //Изв. РАН, ТиСУ. 2009, №5. - С. 90-101.
- [7] Федунов Б.Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно-советующих экспертных систем // Изв. РАН. ТиСУ. 2002. №4
- [8] Федунов Б.Е., Шестопалов Е.В.. Оболочка бортовой оперативно-советующей экспертной системы для типовой ситуации полета «Ввод группы в воздушный бой» //Изв. РАН, ТиСУ, 2010, №3, - С.86–103
- [9] Демкин М.А., Тищенко Ю.Е., Федунов Б.Е. Базовая бортовая оперативно-советующая экспертные системы для дуэльной ситуации дальнего воздушного боя //Изв. РАН, ТиСУ. 2008, №4. - С.59-75.

### Сведения об авторе



**Федунов Борис Евгеньевич**, 1936 г. рождения. Окончил Московский Авиационный Институт (МАИ, 1960) и Московский Государственный Университет (МГУ, 1965), д.т.н. (1990), профессор (1994). Руководитель сектора фундаментальных научных исследований в ФГУП ГосНИИ авиационных системах, профессор кафедры «Системное проектирование авиационных комплексов» МАИ. Член Научного совета Российской ассоциации искусственного интеллекта. Автор более 250 работ, включая 6 монографий и учебных пособий в области теории, технологии и практической реализации бортовых интеллектуальных систем технических антропоцентрических объектов (главным образом летательные аппараты), теории и практической реализации оптимального управления динамическими объектами.

тропоцентрических объектов (главным образом летательные аппараты), теории и практической реализации оптимального управления динамическими объектами.

***Fedunov Boris Evgenievich***, (b.1936). The chief of the sector of the fundamental scientific studies in the Moscow FGUP GOSNII aircraft systems (NIAS), professor of the pulpit 703 Moscow Aircraft Institutes (MAI). He graduated from the Aircraft Institute in Moscow (1960) and Mechanical and Mathematical Department of the Moscow State University (1965). The doctor of the technical sciences, professor. The author of more than 250 works, including 6 monographs and teaching aids, are related to the areas of theory, technology and practical realization of the on-board intellectual systems of technical anthropocentral objects (mainly flying machines), theory and practical realization of the optimum management with the dynamic objects.