
Humans & AI

БАЗОВАЯ АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА БОРТОВЫХ ОПЕРАТИВНО СОВЕТУЮЩИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ТИПОВЫХ СИТУАЦИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АНТРОПОЦЕНТРИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Борис Федун

Аннотация. Базовая алгоритмическая оболочка для бортовых оперативно советующих экспертных систем типовых ситуаций функционирования (БОСЭС ТС) антропоцентрических объектов ориентирована на формальную модель предметной области, которая включает понятия: генеральные задачи функционирования антропоцентрического объекта (Антр/объекта), семантические сети типовых ситуаций (ТС) функционирования и проблемных субситуаций (ПрС/С) в них. БОСЭС ТС имеет в базе знаний два иерархических уровня. На первом производятся правила оперативно активизируют адекватную ПрС/С. На втором уровне решаются задачи активизированной ПрС/С с использованием динамических моделей развития ее фрагментов с помощью механизмов вывода: многокритериальный выбор альтернативы решения, решение по прецеденту, решение с помощью оптимизационной задачи, производные правила. При разработке БОСЭС ТС для конкретной ТС базовая оболочка наполняется знаниями по этой ТС с одновременным отсеиванием невостребованных фрагментов. При программной реализации наполненной знаниями алгоритмической оболочки ее адаптируют к бортовой информационной среде заданного типа Антр/объекта и вычислительным возможностям его бортовой вычислительной системы.

Ключевые слова: модель, база знаний, алгоритмическая оболочка..

Conference: The paper is selected from XVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2009, Varna, Bulgaria, June-July 2009

Введение

Антропоцентрическим объектом (Антр/объектом) называется совокупность измерительных и исполнительных устройств, *системообразующего ядра* (борт Антр/объекта), в котором главенствующая роль принадлежит команде операторов (экипажу) В названном ядре решаются задачи оперативного целеполагания и определения рационального пути достижения оперативно назначенной цели.

Алгоритмы решения задач *системообразующего ядра* реализуются БЦВМ-алгоритмами и экипажем (алгоритмы деятельности экипажа (АДЭ)). В современных Антр/объектах задачи оперативного целеполагания могут решаться только экипажем (АДЭ), которому для этого на информационно управляющем поле (ИУП) его рабочего места (кабины) создается (с помощью БЦВМ-алгоритмы) информационная модель внешней и внутри объектовой (бортовой) обстановки. Задачи определения рационального пути достижения оперативно назначенной цели решаются либо экипажем (АДЭ) либо *бортовыми оперативно советующими экспертными системами* (БОСЭС) - специфическими БЦВМ-алгоритмами- специфическим классом бортовых интеллектуальных систем [Стефанов и др., 2006, Fedunov, 2005].

В инженерной и научной практике принята следующая функциональная классификация бортовых интеллектуальных систем (БИС) Антр/объектов:

- БИС ситуационной осведомленности экипажа, обеспечивающая ему адекватное представление о внешней и внутри бортовой обстановке. Эти БИС представляют экипажу на информационно управляющем поле кабины когнитивную (в ряде случаев только интегрированную) информационную модель, позволяющую экипажу оперативно назначать текущую цель сеанса функционирования в соответствии с выполняемой генеральной задачей сеанса, рангом Антр/объекта в группе и сложившейся обстановкой.

БИС ситуационной осведомленности относятся к классу информационных интеллектуальных систем.

- БИС решения «тактических» задач, вырабатывающих рекомендации экипажу по решению «тактических задач» текущего этапа сеанса функционирования (способу достижения оперативно назначенной цели сеанса).

БИС решения тактических задач относятся к классу бортовых оперативно советующих экспертных систем (БОСЭС ТС).

- БИС, обеспечивающие эффективную работу комплексов бортовой аппаратуры Антр/объекта.

Эти БИС непосредственно не работают с экипажем. Структура их баз знаний определяется задачами и обликом соответствующих комплексов бортовой аппаратуры Антр/объекта.

Бортовая интеллектуальная система ситуационной осведомленности и бортовые интеллектуальные системы класса БОСЭС ТС, являющиеся вместе с алгоритмами деятельности экипажем интеллектуальной составляющей системообразующего ядра Антр/объекта. БОСЭС ТС обеспечивают интеллектуальную поддержку экипажу при решении им тактических задач на соответствующем этапе сеанса функционирования Антр/объекта.

Для разработки таких систем потребовался переход от разработки бортового алгоритмического и индикационного обеспечения (АиИО) для отдельных эпизодов сеанса функционирования Антр/объекта (эта разработка обслуживалась моделью «Эпизод») к разработке АиИО типовых ситуаций сеанса (модель «Ген/задача – ГЛУУ»).

1. Математическая модель антропоцентрического объекта «Ген/задача – ГЛУУ» для разработки его алгоритмического и индикационного обеспечения

Модель антропоцентрического объекта «Ген/задача – ГЛУУ», используемая для проектирования бортового алгоритмического и индикационного обеспечения (АиИО), имеет три составляющие [Стефанов и др.]:

- описание иерархии управления в антропоцентрическом объекте (модель собственно Антр/объекта),
- описание процесса функционирования Антр/объекта во внешней среде (модель процесса функционирования),
- описание функционирования группы Антр/объектов.

Модель собственно Антр/объекта (рис.1) описывает три оперативных глобальных уровня управления (ГЛУУ)

- первый глобальный уровень управления (IГЛУУ) – назначение текущей цели полета (уровень целеполагания),
- второй глобальный уровень управления (IIГЛУУ) – выбор рационального способа достижения оперативно назначенной цели,
- третий глобальный уровень управления IIIГЛУУ – реализация выбранного способа.

Модель процесса функционирования Антр/объекта (рис.1) содержит набор назначенных к алгоритмизации генеральных задач процесса функционирования Антр/объекта; представление каждой генеральной задачи через дерево (семантическую сеть) типовых ситуаций (ТС) сеанса функционирования, в свою очередь представление каждой ТС через дерево (семантическую сеть) проблемных субситуаций (ПрС/С).

Задачи ИГЛУУ и ИИГЛУУ решаются в системообразующем ядре Антр/объекта.

Модель группы Антр/объектов.

Для разработки бортового алгоритмического и индикационного обеспечения работы группы Антр/объектов принята многоуровневая иерархия группы.

На современном уровне развития теории и практики создания бортового алгоритмического и индикационного обеспечения (АиИО) решение всех задач ИГЛУУ доступно только экипажу (алгоритмы деятельности экипажа – АДЭ). Инженеры проектировщики АиИО для обеспечения решения экипажем этих задач должны создать легко воспринимаемую экипажем информационную модель внешней и внутри бортовой обстановки, обеспечивающую экипажу *ситуационную осведомленность*. Эта модель, реализуется бортовыми БЦВМ-алгоритмами и предьявляется экипажу на *информационно управляющем поле* (ИУП) кабины экипажа.

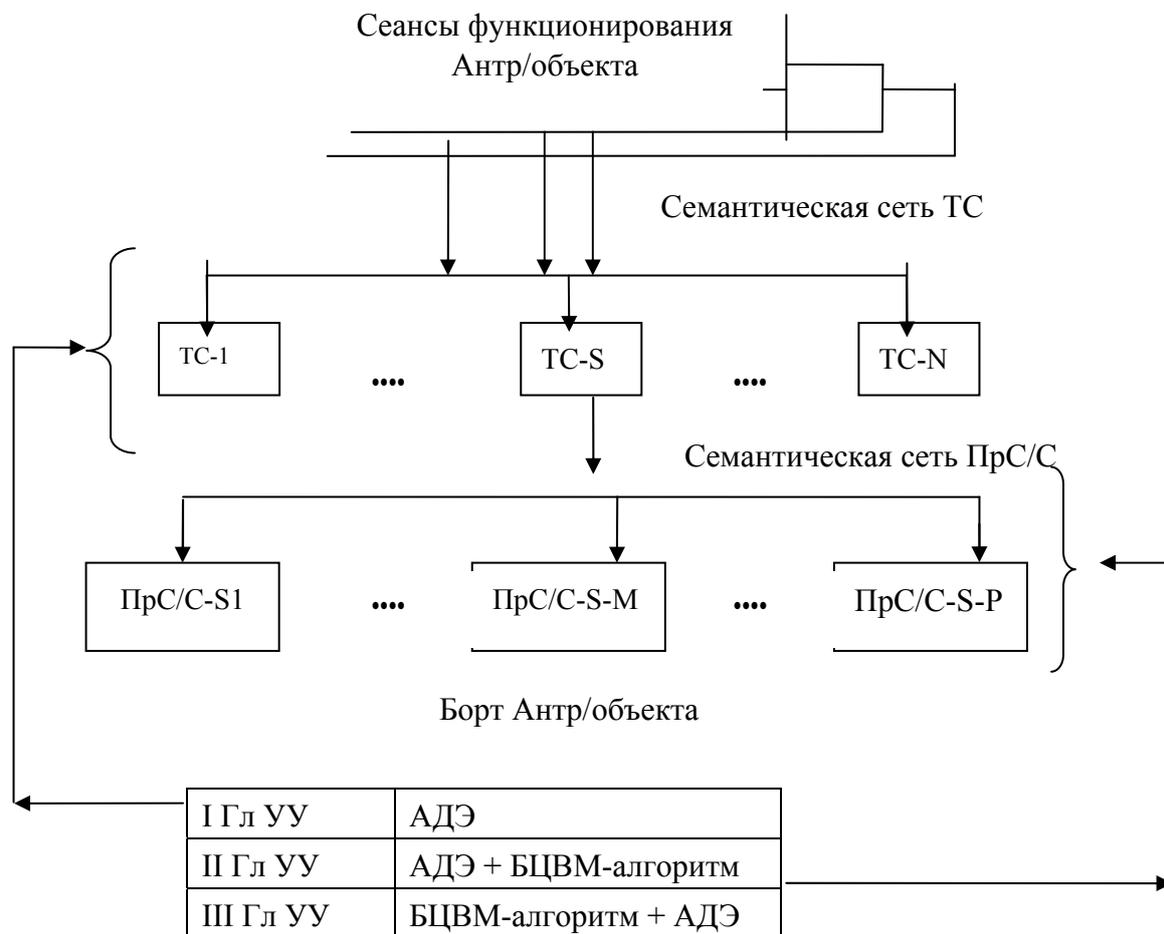


Рис.1. Модель Антр/объекта для проектирования АиИО

Задачи второго глобального уровня могут решать создаваемые в настоящее время бортовые оперативно советующие экспертные системы типовых ситуаций сеанса функционирования Антр/объекта.

Вырабатываемые бортовыми оперативно советующими экспертными системами типовых ситуаций сеанса (БОСЭС ТС) решения предъясняются в качестве рекомендаций на информационно управляющее поле кабины экипажа. Рекомендации анализируются им и санкционируются на исполнение.

При одновременном функционировании иерархически упорядоченной группы Антр/объектов, оснащенных БОСЭС одной и той же типовой ситуации, возникает задача обеспечения совместной работы всех БОСЭС ТС группы (коалиции БОСЭС), с учетом результатов подготовки Антр/объектов к предстоящему сеансу функционирования и текущей информации, получаемой через бортовые измерительные устройства каждым объектов взаимодействующей группы.

В отличие от рассмотренной модели «Ген/задача – ГЛУУ» в ранее использованной модели для разработки бортового АиИО «Эпизод» не рассматриваются сеансы функционирования, генеральные задачи и типовые ситуации в них. В модели предъясняется набор не связанных друг с другом эпизодов сеансов функционирования. Для каждого из них автономно разрабатывается свое АиИО.

2. Бортовые оперативно советующие экспертные системы типовых ситуаций (БОСЭС ТС) сеансов функционирования Антр/объекта

Для предметных областей, которые можно адекватно описать моделью «Ген/задача-ГЛУУ» создаются БОСЭС ТС, предназначенные для решения задач второго глобального уровня управления [Fedunov, 2005].

Для адекватного представления знаний ТС в БОСЭС ТС найдены математические формы их полного представления. Совокупность этих форм назовем алгоритмической оболочкой БОСЭС ТС. Эти математические формы затем наполняются конкретными знаниями определенной ТС.

В базе знаний БОСЭС используется:

а) априорная информация о генеральной задаче сеанса функционирования Антр/объекта и ожидаемых условиях его выполнения, подготовленная во вне бортовой системе подготовки сеанса функционирования;

б) текущая качественная и количественная информация, поступающая от бортовых измерительных устройств, из ИУП кабины (от экипажа) и из других БЦВМ-алгоритмов.

БОСЭС ТС в каждый текущий момент времени реализуемого сеанса функционирования Антр/объекта вырабатывает рекомендации экипажу по способу решения проблемы, возникшей перед Антр/объектом.

В базу знаний БОСЭС ТС входят: а) двухуровневая (по семантике) иерархическая база механизмов вывода; б) база математических моделей; в) блок формирования рекомендаций экипажу и комментариев к ним; г) блок регистрации отказов экипажа от предложенных рекомендаций.

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 ПрС/С; через постоянное использование структур ситуационного управления.

3. Двухуровневая иерархическая база механизмов вывода [Федунов, 2002]

Первый иерархический уровень базы механизмов вывода. По текущей информации от бортовых измерительных устройств, «штатных» бортовых БЦВМ – алгоритмов, сигналов с информационно-управляющего поля (ИУП) кабины экипажа в базе знаний БОСЭС ТС формируется ситуационный вектор SV(ТС - ПрС/С), описывающий состояние внешней и внутри бортовой обстановки для назначения (или идентификации) текущей ПрС/С. Механизм такого назначения назовём механизмом вывода на множестве

ПрС/С. Конструируют его на базе материалов работы с экспертами, являющимися специалистами в рассматриваемой предметной области.

В БОСЭС ТС эти механизмы реализуются в форме правил «если..., то..., иначе...», полнота и непротиворечивость которых достигается отработкой БОСЭС ТС на системах имитационного моделирования совместно с экспертами.

Второй иерархический уровень базы механизмов вывода. Для активизированной на первом иерархическом уровне ПрС/С находится рациональный способ ее решения. Используемые при этом механизмы вывода (нахождения) представляются четырьмя типами механизмов.

Первый тип механизмов - механизм идентичный упомянутому выше механизму назначения ПрС/С. Однако, конструируют его для разрешения ПрС/С в базе знаний БОСЭС не столько на базе материалов работы с экспертами, сколько и, прежде всего, по результатам математических исследований оптимизационных задач, адекватных рассматриваемым ПрС/С. Специфика ПрС/С в этом случае превалирует над эвристическими методами её рассмотрения.

Второй тип механизмов вывода, построен на базе метода многокритериального выбора альтернативы, разработанного американским учёным Т. Саати. Частный пример использования такого механизма описан в [Мусарев и др. 2001].

Механизмы вывода третьего типа, вывод по прецеденту, использует своеобразную матрицу знаний и описание ПрС/С через ситуационный вектор $SV(\text{ПрС/С-решение})$, координатами которого являются лингвистические переменные [Fedunov, 2006].

Механизм вывода четвертого типа - так называемый «оптимизационный вывод». В этом случае проблема и ее решение формализуется в виде оптимизационной задачи, оптимальное решение которой отыскивается в реальном времени численными методами. Частный пример использования такого механизма описан в [Демкин и др., 2008].

4. База математических моделей

Конкретика знаний по предметной области (модель мира ТС) в базах знаний БОСЭС ТС представляется: ситуационными векторами $SV(\text{ТС} - \text{ПрС/С})$; семантической сетью ПрС/С ТВ ТС, значимыми событиями в ТС, альтернативами решения проблем, критериями выбора предпочтительной альтернативы, матрицами парных сравнений, матрицами знаний по прецедентам, математическими моделями (ММ).

В отечественных и зарубежных разработках БОСЭС использованы в моделях мира следующие типы математических моделей (ММ).

ММ первого типа - имитационная ММ пространственно - временного прогноза развития ПрС/С.

Модель включает: дифференциальные уравнения с ограничениями на фазовые координаты и управление, блок генерирования допустимых управлений, условия окончания интегрирования.

Пример использования такой модели дан в [Демкин и др., 2008]

ММ второго типа – модель генерирования и ранжирования альтернатив решения ПрС/С.

Модель включает: блок генерирования множества альтернатив по заданным их типам, дифференциальные уравнения имитации развития ПрС/С по каждой альтернативе с оценкой значений критериев предпочтения альтернатив, априорно задаваемую и оперативно корректируемую матрицу парных сравнений критериев, алгоритм расчета глобальных приоритетов альтернатив.

Пример использования такой модели дан в [Мусарев и др.2001]

ММ третьего типа – ММ оптимизационного выбора решения ПрС/С.

Модель включает: дифференциальные уравнения с ограничениями на фазовые координаты и управление, блок генерирования допустимых управлений, процедуры оптимизации (max, min; maxmin, minmax).

Пример использования такой модели дан в [Демкин и др., 2008]

ММ четвертого типа – математические модели определения координат ситуационных векторов SV(ТС – ПрС/С), SV(ТС – ПрС/С).

Структура модели определяется бортовой информационной средой конкретного Антр/объекта и семантикой координаты ситуационного вектора, которую нужно определить.

5. Состав алгоритмической оболочки для разработки БОСЭС ТС

Оболочка определяет общую структуру базы знаний БОСЭС ТС, выделяя необходимые для любой БОСЭС ТС предметно независимые и предметно зависимые следующие составляющие:

- двухуровневая иерархическая структура базы знаний,
- выделенные для каждого уровня механизмы вывода:
- для первого иерархического уровня - продукционные правила с ситуационных векторов SV(ТС – ПрС/С) для активизации конкретной ПрС/С,
- для второго иерархического уровня в зависимости от специфики ПрС/С предлагаются апробированные на практике механизмы вывода:
 - o многокритериальный выбор альтернативы решения ПрС/С,
 - o решение ПрС/С по прецеденту,
 - o оптимизационный выбор,
 - o продукционные правила;
- различного типа математические модели (ММ):
 - o пространственно временного прогноза развития ПрС/С,
 - o генерирования альтернатив решения ПрС/С,
 - o для оптимизационного выбора,

Из перечисленного выделим предметно независимые составляющие оболочки, по которым целесообразно разработать программные оболочки:

- двухуровневая иерархическая структура базы знаний с продукционными правилами,
- набор механизмов вывода для второго иерархического уровня:
 - o многокритериальный выбор альтернативы решения ПрС/С,
 - o решение ПрС/С по прецеденту;
 - o продукционные правила,
 - o оптимизационный вывод.

Состав алгоритмической оболочки (алгоритмический сценарий) представлен в табл.1.

Таблица 1. Алгоритмический инструментарий для баз знаний БОСЭС ТС

Механизмы вывода	Структуры моделей мира	ММ, используемые в моделях мира	Корректировка-1	Корректировка-2
Продукционные правила	SV; альтернативы решения проблемы	Тип I Тип IV	Нет	Нет

Многокритериальный выбор	Типы альтернатив, критерии, матрицы парных сравнений	Тип II: генерирование альтернатив по заданному типу	Допустимые типы альтернатив	Корректировка матриц парных сравнений
Вывод по прецеденту	Матрица знаний, включающую в себя SV, множество прецедентов	Тип I Тип IV	Нет	Нет
Оптимальный поиск	Оптимизационная задача: объект, допустимые управления, критерий выбора, процедура	Тип III	Да	Нет

6. Использование алгоритмической оболочки в технологических этапах разработки баз знаний БОСЭС ТС.

В инженерной практике [Козловских и др. 1995; Федунов, 2002; Рыбина 2008] сложились следующие технологические этапы разработки баз знаний БОСЭС ТС:

1. Изучение и формализация типовой ситуации с целью выявления семантической сети проблемных субситуаций (ПрС/С) и конструирования ситуационных векторов SV(ТС) и SV(ТС-ПрС/С), позволяющих идентифицировать соответственно ТС и ПрС/С в ней (конструирование первого иерархического уровня БЗ БОСЭС ТС).
2. Формирование множества значимых событий в ТС и поиск оптимальных (рациональных) способов решения каждой задачи в каждой проблемной субситуации
3. Формирование для каждой ПрС/С фрагмента алгоритмической оболочки БОСЭС ТС с адекватными ТС моделями мира и механизмами вывода (фрагменты второго иерархического уровня БЗ БОСЭС ТС). Формирование для всей ТС алгоритмической оболочки базы знаний БОСЭС ТС (интеграция первого и второго иерархического уровня БЗ БОСЭС ТС, формирование спецификаций априорных и оперативных входных сигналов в БЗ БОСЭС ТС и спецификаций выходных сигналов (рекомендаций экипажу на ИУП кабины)).
4. Создание базового образца БОСЭС ТС (наполнение знаниями алгоритмической оболочки БОСЭС с отсечением не востребуемых фрагментов) и системы имитационного моделирования (СИМ) для отработки фрагментов (по ПрС/С) базы знаний БОСЭС ТС.
5. Адаптация базового образца БОСЭС ТС к бортовой информационной среде выбранного класса Антр/объектов.

Исходным документом для разработки БЗ БОСЭС ТС является естественно языковое описание функционирования Антр/объекта «Логика работы системы «экипаж – бортовая аппаратура»». Описание структурируется согласно описанной выше ММ «Ген/задача – ГлуУ» и имеет следующие рубрики:

- по сеансам функционирования,
- по ТС в них.

Вербальное описание ТС ХХХ в сеансе функционирования ХХХ для разработки интеллектуальной системы БОСЭС ТС имеет следующие рубрики.

Для каждого Антр/объекта группы:

1. Условия возникновения (активизации) ТС. Предлагаемая форма предъявления информации на ИУП (информационные кадры, речевые сообщения) для принятия оператором этого решения.
2. Состав и причинно следственные связи ПрС/С в рассматриваемой ТС.
3. По каждой ПрС/С:
 - а) условия наступления ПрС/С,
 - б) состав и описание решаемых экипажем задач, требующих интеллектуальной поддержки экипажа,
 - в) примеры решения экипажем этих задач в настоящее время:
 - информация для решения каждой из этих задач (бортовая текущая, от Антр/объектов своей группы, от вне групповых источников; априорная (из системы подготовки сеанса функционирования), «интуитивная»),
 - структура решения,
 - способ реализации принятого решения (оценка ожидаемого числа ручных операций экипажа),
4. Интегральный индикационный кадр на ИУП кабины экипажа с рекомендациями БОСЭС ТС. Желаемое место и форма предъявления рекомендаций.
5. Состав и содержание желаемых речевых сообщений.

Для группы Антр/объектов как единого целого (если ТС ХХХ выполняется группой Антр/объектов):

- состав группы Антр/объектов и иерархии управления в группе, на каждом Антр/объекте которой должна работать разрабатываемая БОСЭС ТС,
- информационное и управленческое взаимодействие в группе.

Заключение

1. Базовая алгоритмическая оболочка БОСЭС ТС разработана как универсальная структура для наполнения знаниями по любой типовой ситуации (ТС) функционирования антропоцентрического объекта с одновременным отсечением фрагментов, не востребуемых для этой ТС. На ее основе возможна разработка программной оболочки БОСЭС ТС.
2. Оболочка ориентирована на формальную модель предметной области «Ген/задача-ГЛУУ».
3. Алгоритмическая оболочка БОСЭС ТС имеет в базе знаний два иерархических уровня. На первом продукционные правила оперативно активизируют адекватную ПрС/С. На втором уровне решаются задачи активизированной ПрС/С с помощью механизмов вывода: многокритериальный выбор альтернативы решения, решение по прецеденту, решение с помощью оптимизационной задачи, продукционные правила.
4. Базовая алгоритмическая оболочка адаптируется к соответствующей ТС: определяются координаты ситуационный векторов для первого иерархического уровня БЗ SV(ТС-ПрС/С); потребные механизмы вывода и типы ММ для второго иерархического уровня БЗ.

Адаптированная к соответствующей ТС базовая алгоритмическая оболочка наполняется знаниями по этой ТС, превращаясь в базовую БОСЭС ТС.

При программной реализации ее адаптируют к бортовой информационной среде и бортовым вычислительным возможностям заданного типа Антр/объекта.

Литература

- [Демкин и др., 2008] Демкин М.А., Тищенко Ю.Е., Федунов Б.Е. Базовая бортовая оперативно советующая экспертные системы для дуэльной ситуации дальнего воздушного боя. – М., Изв. РАН, ТиСУ. №4 2008. стр.59-75.
- [Козловских и др. 1995]. Козловских Б.Д., Федунов Б.Е.. Нормативно - техническая документация при разработке БОСЭС //Стандартизация и унификация АТ. Вопросы авиационной науки и техники. Журнал НИИСУ. 1995. Вып. 1-2.
- [Мусарев и др. 2001]. Мусарев Л.М., Федунов Б.Е. Структура бортовых алгоритмов целераспределения на борту группы самолетов //Изв. РАН, ТиСУ, 2001.№6.
- [Рыбина, 2008] Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем. Москва. Изд. Научтехлитиздат. 2008. 482 стр.
- [Стефанов и др., 2006] Стефанов В.А., Федунов Б.Е. Бортовые оперативно – советующие экспертные системы (БОСЭС) типовых ситуаций функционирования антропоцентрических (технических) объектов. Москва. Издательство МАИ. 2006.191 стр.
- [Федунов, 2002]. Федунув Б.Е. Бортовые оперативно советующие экспертные системы тактических самолетов пятого поколения (обзор по материалам зарубежной печати). –М., НИЦ ГосНИИАС, 2002.
- [Федунов,2002].Федунов Б.Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем. // Изв. РАН. ТиСУ. 2002. №4
- [Fedunov, 2005].Fedunov Boris. The on-board operative advisory expert systems for anthropocentric object. International journal information theories & applications. ITHEA. 2005. vol.12. Number 4. pp.308 – 316.
- [Fedunov, 2006].В. Е. Fedunov Inference technique based on precedents in knowledge bases of intelligence systems. *Proc. of 8th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2006)*, Vol. 1. USATU, Ufa, Russia, 2006

Информация об авторе

Борис Федунув – ФГУП Научно исследовательский институт авиационных систем (ГосНИИАС), Москва, Россия, e-mail: boris.fed@gosniias.ru