

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ В БАЗАХ ЗНАНИЙ БОРТОВЫХ  
ОПЕРАТИВНО СОВЕТУЮЩИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМАХ  
ТИПОВЫХ СИТУАЦИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
АНТРОПОЦЕНТРИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

© 2019 г. Б. Е. Федун

ФГУП “ГосНИИАС”, Москва, Россия

e-mail: boris\_fed@gosniias.ru

Поступила в редакцию 05.03.2019 г.

После доработки 06.03.2019 г.

Принята к публикации 25.03.2019 г.

При разработке систем интеллектуальной поддержки экипажей антропоцентрических объектов, которые рекомендуют экипажу способ решения возникшей тактической задачи (оперативное целеполагание + конструирование способа достижения оперативно назначенной цели функционирования) крайне важно достаточно адекватно представлять предметную область в базе знаний таких систем. Одним из способов это сделать является использование в базе знаний динамических фрагментов проблемных субситуаций с включением в них интеллектуальных агентов. С позиции концептуальной модели антропоцентрического объекта “Этап” дается общая структура интеллектуальных агентов, используемых в базах знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем типовых ситуаций функционирования антропоцентрических объектов. В примере представлены конкретные интеллектуальные агенты и их использования в базе знаний конкретной бортовой оперативно советующей экспертной системы типовой ситуации функционирования антропоцентрических объектов.

DOI: 10.1134/S000233881904005X

**Введение.** Антропоцентрический объект (Антр/объект: летательный аппарат (ЛА); подводный или надводный аппарат, транспортное средство и т.п.) – это упорядоченная информационно связанная совокупность (борт Антр/объекта):

бортовых измерительных систем (Б/Изм/Системы),

бортовых исполнительных систем (Б/Исп/Системы),

бортовой цифровой вычислительной системы (БЦВС), с входящими в нее бортовыми цифровыми вычислительными машинами (БЦВМ), где реализуются соответствующие алгоритмы (БЦВМ-алгоритмы);

– экипажа и его кабины с информационно-управляющим полем (ИУП) кабины, помещенная (совокупность) в некоторую физическую оболочку (рис. 1, оболочка – пунктирное окаймление).

При разработке системы БЦВМ-алгоритмов для современных Антр/объектов полезно представлять их концептуальной моделью “Этап”.

Модель “Этап” формализует сферу деятельности Антр/объекта и классифицирует задачи, которые решаются на борту Антр/объекта [1].

Формализация сферы деятельности Антр/объекта в модели “Этап” включает в себя концептуальную модель процесса функционирования Антр/объекта (верхняя часть рис. 2).

Модель содержит набор назначенных (в техническом задании на разработку Антр/объекта) к алгоритмизации сеансов функционирования. Каждый сеанс функционирования включает: описание генеральной задачи функционирования (ГЗФ); представление каждого сеанса через семантическую сеть типовых ситуаций (ТС) и представление каждой ТС в свою очередь через семантическую сеть проблемных субситуаций (ПрС/С). Семантические сети строятся по причинно-следственному отношению.

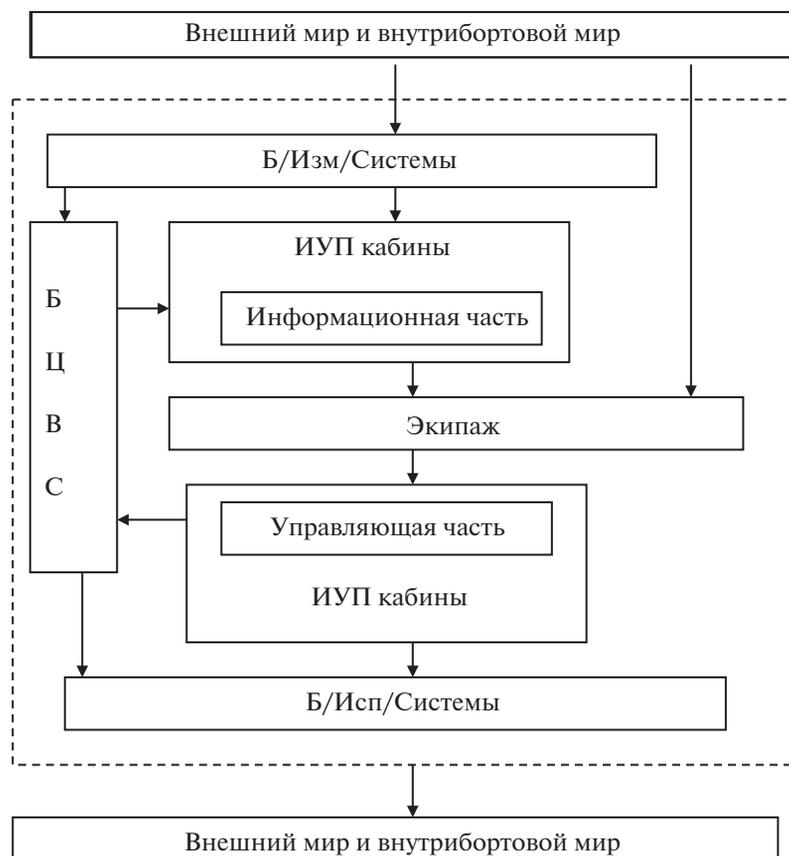


Рис. 1. Составляющие антропоцентрического объекта

К описанию каждого сеанса функционирования, как правило, присоединяются ожидаемые в нем внешние и внутрибортовые угрозы, которые оформляются как множество {ТС-угроза}.

Следует отметить, что описание каждой ТС содержит конечную цель ТС и способ ее достижения, детализированный по ее ПрС/С.

Классификация задач, решаемых на борту Антр/объекта, включает в себя выделение трех глобальных уровней управления (ГЛУУ). На каждом ГЛУУ определяется ведущая роль в решении соответствующих задач алгоритмов деятельности экипажа (АДЭ) или БЦВМ-алгоритмов (нижняя часть рис. 2).

В модели “Этап” представлена общая структура решения задачи на каждом ГЛУУ.

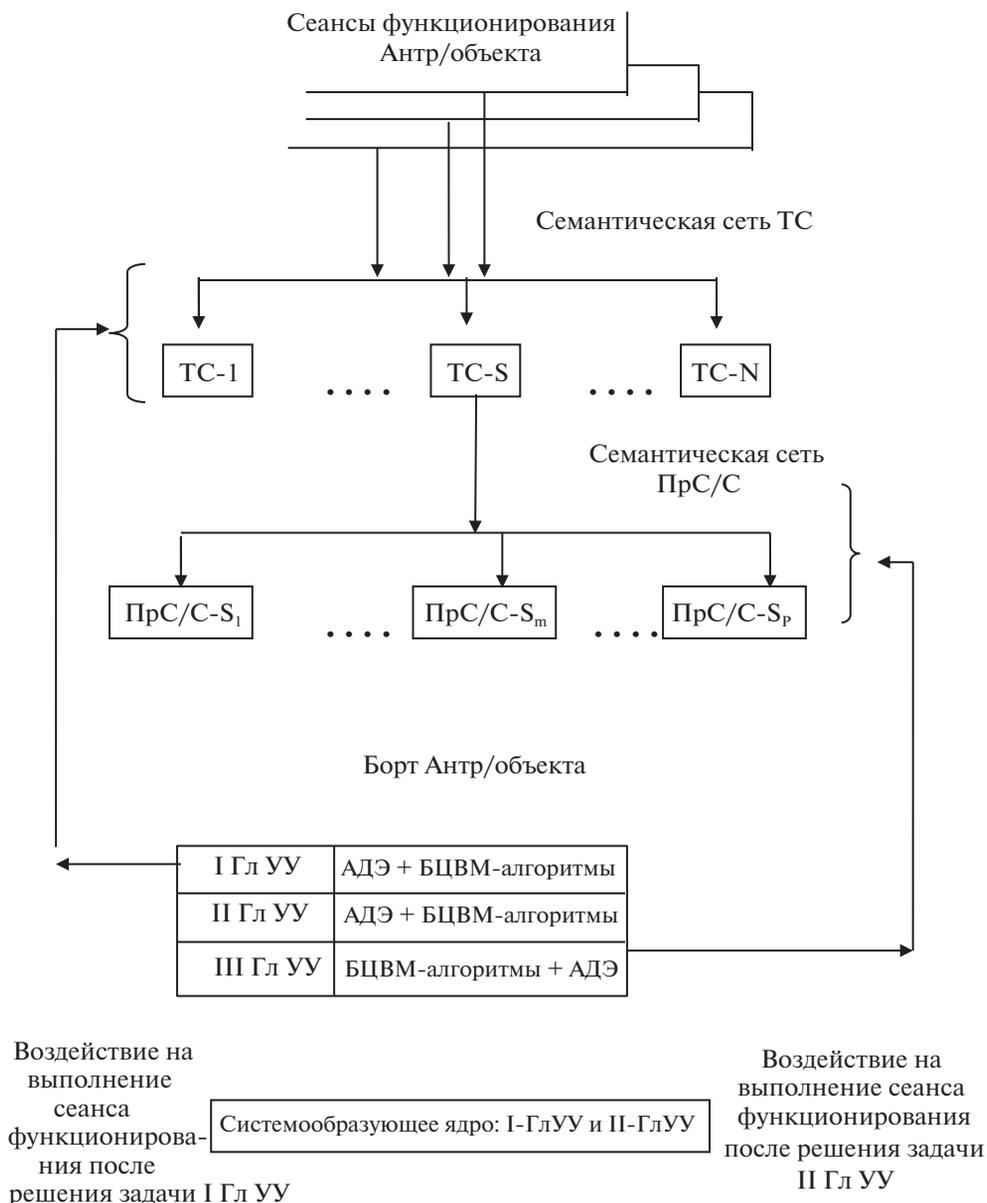
Первый ГЛУУ – уровень оперативного целеполагания (I-ГЛУУ). В терминах модели “Этап” результатом решения этой задачи является назначение текущей ТС. На рис. 2 это показано в виде “обратной связи” от I-ГЛУУ к строке ТС.

Второй ГЛУУ – уровень конструирования рационального способа достижения цели ТС (II-ГЛУУ), назначенной на I-ГЛУУ. В терминах модели “Этап” задача II-ГЛУУ интерпретируется как оперативное построение конкретного фрагмента семантической сети ПрС/С назначенной ТС. На рис. 2 это показано в виде “обратной связи” от II-ГЛУУ к строке ПрС/С упомянутой ТС.

Третий ГЛУУ – уровень реализации способа достижения цели (III-ГЛУУ), сконструированный на II-ГЛУУ.

Задачи I-ГЛУУ и II-ГЛУУ решаются в системообразующем ядре Антр/объекта. Задачи этих уровней принято называть тактическими.

В модели “Этап” устанавливается, что в решении задач I-ГЛУУ и II-ГЛУУ обязательно участвует экипаж. На рис. 2 это указано аббревиатурой АДЭ. При этом процесс решения экипажем задач этих ГЛУУ поддерживается в той или иной степени БЦВМ-алгоритмами. Полная поддержка этого процесса возможна только при размещении на борту Антр/объекта бортовых интеллекту-



**Рис. 2.** Модель Антр/объекта “Этап” для проектирования бортового алгоритмического и индикационного обеспечения системообразующего ядра Антр/объекта

альных систем тактического уровня (БИС-ТУ), которые должны решать соответствующие задачи и предъявлять экипажу рекомендуемый способ их решения [2]. Реализация рекомендаций бортовыми Б/Исп/Системами наступает только после согласия экипажа. В силу этого такие БИС-ТУ относят к классу оперативно советующих систем.

Модель иерархически упорядоченной группы Антр/объектов. В группе командуют:

командир первого ранга в группе (К-I), он один в группе;

командиры второго ранга в группе (К-II), подчиненные К-I, их насчитывается до четырех в группе;

командиры третьего ранга в группе (К-III), подчиненные командирам К-II.

В группе действуют два информационных потока: поток управления (команд) сверху вниз (К-I ⇒ К-II ⇒ К-III) и поток текущей информации (поток оповещения) снизу вверх (К-I ⇐ ⇐ К-II ⇐ К-III и К-I ⇐ К-III).

**Таблица 1.** Конкретизация понятий модели “Этап” для пилотируемого ЛА

Любой Антр/объект	Антр/объект – пилотируемый ЛА
Сеанс функционирования	Вылет группы ЛА/одного ЛА
ГЗФ	ГЗВ
Семантическая сеть ТС	Семантическая сеть ТС и ТБС
Семантическая сеть ПрС/С для каждой ТС	Семантическая сеть ПрС/С для каждой ТС/ТБС
Задание на выполнение ГЗФ	Полетное задание на вылет ЛА

Антр/объект готовится к каждому сеансу функционирования, получая на борт ГЗФ, детализируемую последовательностью планируемых этапов выполнения сеанса и ожидаемыми в них угрозами. Эта информация заносится в БЦВМ-миссии (иногда называемую БЦВМ “верхнего уровня”), которая входит в БЦВС.

Ниже мы обратимся к одному классу Антр/объектов – пилотируемым ЛА. Проследим соответствие понятий модели “Этап”, которые применяются к произвольному Антр/объекту, аналогичным понятиям, применяемым к пилотируемым ЛА (в частности: для ЛА вместо ГЗФ используется аббревиатура ГЗВ – генеральная задача вылета). Представим это в табл. 1.

В работе мы остановимся на одном типе БИС-ТУ – на бортовых оперативно советующих экспертных системах типовых ситуаций функционирования (БОСЭС ТС).

**1. БОСЭС ТС функционирования Антр/объектов.** Эти системы конструируют и рекомендуют экипажу конструктивный способ достижения цели оперативно назначенной ТС. Их рекомендации предъявляются экипажу на индикаторах ИУП кабины Антр/объекта [2].

“Внешним миром”, в котором работает активизированная БОСЭС ТС, является бортовая информационная среда Антр/объекта, формируемая заданием Антр/объекту на сеанс функционирования (априорная информация), текущей выходной информацией Б/Изм/Систем, “штатных” (не входящих в базу знаний БОСЭС ТС) БЦВМ-алгоритмов и сигналов с ИУП кабины экипажа (рис. 3).

При подготовке Антр/объекта к сеансу функционирования из системы подготовки сеанса функционирования в базу знаний БОСЭС ТС загружается априорная информация: сеть ТС-задания с семантической сетью их ПрС/С.

В процессе выполнения сеанса функционирования активизируется БОСЭС ТС, соответствующая текущей ТС сеанса. По каждой значимой для выполнения текущей ТС проблемной ситуации БОСЭС ТС вырабатывает для экипажа рекомендации по способу ее разрешения, дополняемому краткими пояснениями.

Рекомендации и пояснения к ним появляются на ИУП кабины экипажа (рис. 3, блок “ИУП: информационная часть”) и фиксируются в системе объективного контроля (СОК).

Ориентированная на концептуальную модель “Этап” база знаний БОСЭС ТС имеет два иерархических уровня [2].

На первом иерархическом уровне базы знаний по текущей и априорной информации активизируется определенная ПрС/С этой ТС. На втором иерархическом уровне базы знаний по текущей и априорной информации конструируется способ достижения цели активизированной ПрС/С.

В базе знаний БОСЭС ТС типовая ситуация представляется:

семантической сетью ее ПрС/С,

каждая ПрС/С описывается: а) составом объектов, которые действуют/функционируют в ней; б) критерием/критериями оценки качества выполнения ПрС/С.

Рассмотрим второй иерархический уровень базы знаний БОСЭС ТС для случая использования в нем интеллектуальных агентов (Интел/агентов) [3, 4]. Он будет содержать следующие блоки (рис. 3).

1. База математических моделей (ММ) предметной области.
2. Генерирование способов достижения цели активизированной ПрС/С.
3. Интел/агенты.
4. Прогнозное моделирование взаимодействия Интел/агентов в процессе развития активизированной ПрС/С.

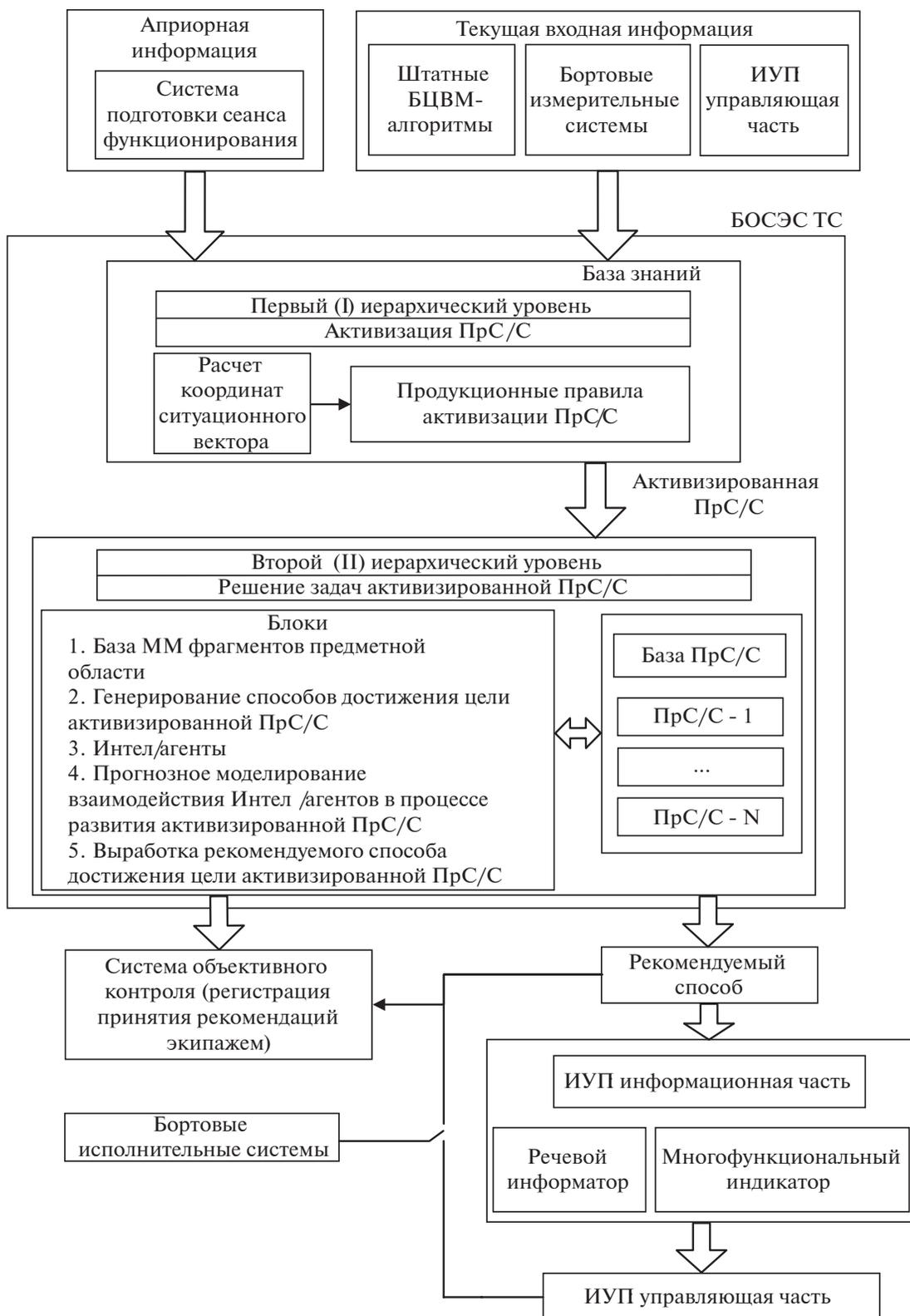


Рис. 3. Структура базы знаний БОСЭС ТС и ее взаимодействие с бортовой информационной средой Антр/объекта

Моделирование ведется для каждого способа достижения цели (см. блок 2) активизированной ПрС/С.

5. Выработка рекомендуемого способа достижения цели активизированной ПрС/С.

**Таблица 2.** Характеристика налета самолетов противника (УС + ИС) и положение группы ИП

Тип самолета	$X$ , км	$Z$ , км	$V/V_{\max}$ , м/с	$D_{\text{обн}}$ , км	$H$ , км	$V_{p0}$ , м/с	$T$
ИП(звено)	140	60	600/600	80	5	2000	0.6616
ИС(пара)	100	100	200/600	80		2000	0.6616
ИС(пара)	50	100	200/600	80		2000	0.6616
ИС(пара)	5	5	200/600	80		2000	0.6616
УС	15	10.5	200/200	—		—	—
УС	21	13	200/200	—		—	—
УС	25	9	200/200	—		—	—
УС	22	27.5	200/200	—		—	—
УС	28	30	200/200	—		—	—
УС	32	26	200/200	—		—	—

Примечания. 1. В столбце  $D_{\text{обн}}$ , км, дана дальность обнаружения самолета противника соответствующим истребителем.

2. В двух последних столбцах таблицы приведены параметры ММ ракет “Воздух–Воздух” (Интел/агент ракеты), размещаемых на ИП и на ИС.

**2. Облик Интел/агентов в базе знаний БОСЭС ТС, размещаемых на борту Антр/объектов.** Для конструирования способа достижения текущей цели функционирования Антр/объекта в назначенной ТС, рекомендацию по которому (способу) вырабатывает БОСЭС ТС, в базе знаний необходимо иметь достаточно адекватные ММ фрагментов ПрС/С этой ТС. Эти фрагменты строятся на базе Интел/агентов, которые действуют в этих ММ. Интел/агенты представляют в базе знаний объекты реального мира (“реальные объекты”) и имитируют те функциональные возможности “реальных объектов”, которые востребованы от них в этой ПрС/С.

Структура Интел/агента идентична структуре “реального объекта”, которого Интел/агент представляет в базе знаний БОСЭС ТС. Она содержит:

а) ММ Б/Изм/Систем, имитирующие состав и содержание информации о внешнем мире, которая доступна на борту “реального объекта” в этой ПрС/С;

б) алгоритмы решения задачи оперативного целеполагания (модель “Этап”: задача I-ГЛУУ), которые функционально идентичны таковым на “реальном объекте”,

в) алгоритмы решения задач конструирования способа достижения оперативно назначенной текущей цели (модель “Этап”: задача II-ГЛУУ), которые функционально идентичны таковым на “реальном объекте”,

г) алгоритмы взаимодействия в группе Интел/агентов, функционально идентичны таковым в группах “реальных объектов”,

д) ММ Б/Исп/Систем, имитирующие состав и возможности “реальных” Б/Исп/Систем на “реальных объектах” реализовать решения, принятые в п. б)–г).

В БОСЭС ТС для части Интел/агентов обязательно ставится задача конструирования способа достижения цели ПрС/С этой ТС.

Одним из вариантов конструирования искомого способа является решение в базе знаний БОСЭС ТС соответствующей оптимизационной задачи. При этом критерий оптимальности определен в ТС.

**Примечание.** Для экономии использования вычислительных ресурсов БЦВС Антр/объекта в Интел/агентах ММ Б/Изм/Систем, ММ Б/Изм/Систем и названные выше алгоритмы всегда ориентируются только на те функциональные возможности “реальных объектов”, которые будут востребованы от них в ПрС/С.

**3. Иллюстративный пример. Использование Интел/агентов в базе знаний БОСЭС ТС “Ввод группы истребителей в воздушный бой”.** Иерархически упорядоченная группа истребителей перехватчиков (ИП) выполняет генеральную задачу вылета “Отражение воздушного налета”. Рассматривается звено ИП: командир звена К(ИП)-I, командиры подчиненных ему пар К(ИП)-II.

В налете противника участвуют ударные самолеты (УС) и сопровождающие их истребители сопровождения (ИС). Рассматривается налет УС+ИС: шесть УС, три пары ИС, строй УС – тройки. Во главе первой тройки стоит командир К(УС)-I, во главе второй тройки – командир К(УС)-II (табл. 2).

Группа ИП обнаружила самолеты противника. Командир К(ИП)-I принял решение ввести всю группу ИП в воздушный бой с самолетами противника (результат решения задачи оперативного целеполагания: назначение К(ИП)-I типовой боевой ситуации “Ввод группы в воздушный бой” (ТБС(К(ИП)-I) ВГБ-В). Для реализации этого решения он должен решить следующие задачи:

обозначить приоритеты уничтожения самолетов противника: самолет К(УС)-I получает первый приоритет (I), его ведомые УС – третий приоритет (III); самолет К(УС)-II – второй приоритет (II), его ведомые УС – четвертый приоритет (IV); истребители сопровождения (ИС) – пятый приоритет (V);

назначить тактический прием ввода группы ИП в воздушный бой с самолетами противника (ПрС/С(К(ИП)-I) “Выбор тактического приема”),

распределить самолеты ИП по наблюдаемым самолетам противника (ПрС/С(К(ИП)-I) “Целераспределение”).

Интеллектуальную поддержку К(ИП)-I в решении этих ПрС/С оказывает БОСЭС(К(ИП)-I) – ТБС ВГБ-В.

3.1. База знаний БОСЭС(К(ИП)-I) – ТБС ВГБ-В, ориентированная на командира группы ИП, выполняющих генеральную задачу вылета “Отражение воздушного налета”. БОСЭС(К(ИП)-I) – ТБС ВГБ-В активизируется после поступления с ИУП соответствующего сигнала (рис. 4: ИУП – управляющая часть).

В базу знаний БОСЭС(К(ИП)-I) – ТБС ВГБ-В перед полетом заносится априорная информация о ГЗВ группы; информация о тактических приемах ввода группы в воздушный бой, которые освоены готовящейся к полету группой ИП; типы вариантов целераспределения (I – всей группой ИП атаковать ударный самолет, II – каждая пара ИП атакует заданный ей УС).

Рассмотрим иерархические уровни базы знаний БОСЭС(К(ИП)-I) – ТБС ВГБ-В (рис. 4).

*Первый иерархический уровень базы знаний БОСЭС(К(ИП)-I) – ТБС ВГБ-В в ГЗВ “Отражение воздушного налета” содержит ПрС/С(К(ИП)-I):*

ПрС/С(К(ИП)-I) “Выбор тактического приема” активизируется сразу же по сигналу ТБС ВГБ-В и реализуется до появления с ИУП сигнала “Передать целераспределение на подчиненные борта”;

ПрС/С(К(ИП)-I) “Целераспределение” активизируется признаком “Исполняемый тактический прием” [2].

На первом иерархическом уровне базы знаний с помощью продукционных правил, использующих текущую информацию, происходит активизация соответствующей ПрС/С. Признак активизированной ПрС/С передается на ИУП и на второй иерархический уровень базы знаний.

Далее рассмотрим случай, когда активизировалась ПрС/С “Целераспределение”.

*Второй иерархический уровень базы знаний БОСЭС(К(ИП)-I) – ТБС ВГБ-В в части ПрС/С(К(ИП)-I) “Целераспределение”.* В этом фрагменте базы знаний содержатся следующие блоки.

*Блок 1 “Бортовые измерительные системы”.* В блоке имеются ММ бортовых измерительных систем, которые находятся на борту самолетов истребителей (ИП, ИС) и УС и которые используются в этой ПрС/С. Для конкретного истребителя/ударного самолета эти ММ параметрически настраиваются на его бортовые измерительные системы. Перечислим их.

1. Бортовая радиолокационная станция (БРЛС) характеризуется: сектором обнаружения и дальностью обнаружения воздушных объектов  $D_{обн}$  (см. табл. 2) БРЛС имеет два режима работы:

“обнаружение” (обнаруживаются и идентифицируются все воздушные объекты, которые попали в сектор обнаружения),

“сопровождения” (сопровождается выделенный воздушный объект, по которому намечено применить оружие).

2. Устройство определения пуска ракет (УОПР) противником выдает информацию:

момент пуска ракеты,

пеленг на точку пуска (не знаем дальность, но знаем направление).

В примере вместо ММ УОПР имитируется только факт наличия такой информации на борту ИС и ИП.

3. Телекодовая линия связи между самолетами (ТКС). В примере вместо ММ ТКС имитирует факт знания о противнике (что видит один, то видят все) в группах ИП и ИС + УС.

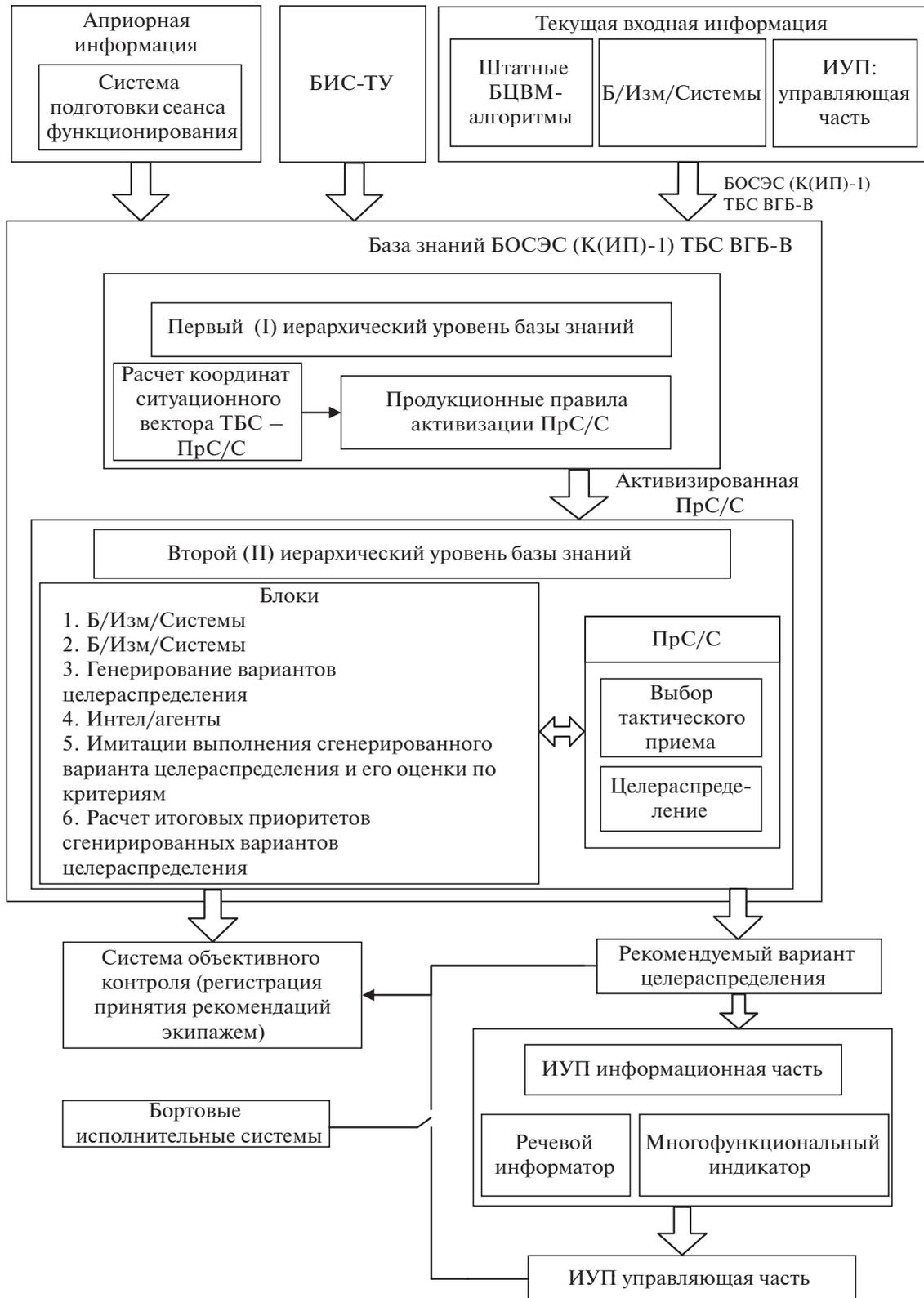


Рис. 4. Структура базы знаний БОСЭС(К(ИП)-1) ТБС ВГБ-В: активизирована ПрС/С “Целераспределение”

Для конкретного ИП/УС ММ параметрически настраиваются на возможности его бортовых измерительных систем.

Блок 2 “Бортовые исполнительные системы”. В блоке содержатся ММ бортовых исполнительных систем, которые находятся на борту ИП, ИС и УС. Для конкретного ИП/ИС и УС ММ па-

раметрически настраиваются на возможности его бортовых исполнительных систем. Перечислим некоторые из них.

1. Наличие на борту ИП, ИС, УС системы автоматического управления (САУ) имитируется автоматической реализацией задаваемой траектории.

2. Ракеты “Воздух–Воздух”. Их ММ параметрически настраиваемая на ракеты ИП (R(ИП)) и ИС (R(ИС)). Их параметры: скорость ракеты в конце активного участка  $V_{p0}$ , обобщенный коэффициент вредного сопротивления  $T$  (см. табл. 2). В этих ММ рассчитываются: а) максимальные дальности пуска ракеты с ИП по УС  $Dp_{max}$  (ИП – УС) и по ИС  $Dp_{max}$  (ИП – ИС), б) максимальные дальности пуска ракеты с ИС по ИП  $Dp_{max}$  (ИС – ИП), в) дальность  $D(ГО)$ : дальность срыва наведения атакующей ракеты противоракетным маневром цели “Гарантированный отворот” (ГО).

*Блок 3 “Генерирование вариантов целераспределения”.* В блоке для каждого заданного в полетном задании типа целераспределения генерируются соответствующие ему варианты:

I – “Вся группа ИП атакует один УС” (генерируется шесть вариантов),

II – “Каждая пара ИП атакует заданный УС” (15 вариантов).

*Блок 4. “Интеллектуальные агенты”.* В блоке содержатся:

Интел/агенты ИП: Интел/агент К(ИП)-I, Интел/агент К(ИП)-II; Интел/агенты ракет Интел/агента ИП: Интел/агенты R(ИП – УС), атакующие Интел/агентов УС; Интел/агенты ИП R(ИП – ИС), атакующие Интел/агенты К(ИС)-II;

Интел/агенты ИС: Интел/агент К(ИС)-I, Интел/агенты К(ИС)-II, Интел/агенты ракет Интел/агента ИС: Интел/агенты R(ИС – ИП), атакующие Интел/агентов К(ИП)-II;

Интел/агенты УС.

Интел/агенты ракет К(ИП)-II и Интел/агенты ракет К(ИС)-II конструируются на базе [5].

Часть перечисленных выше Интел/агентов представим ниже.

*Интел/агент К(ИП)-I* имеет следующие составляющие.

1. ММ Б/Изм/Систем, запрашиваемые из блока “Бортовые измерительные системы” (рис. 4), параметрически настроенные на системы, которые находятся на борту самолета К(ИП)-I.

2. ММ Б/Исп/Систем, запрашиваемые из блока “Бортовые исполнительные системы” (рис. 4), параметрически настроенные на системы, которые находятся на борту самолета К(ИП)-I.

3. Алгоритмы решения задачи оперативного целеполагания (задача I-ГЛУУ), генерируют в блоке 3 варианты целераспределения.

Реализация варианта целераспределения (передать по ТКС всем Интел/агентам К(ИП)-II):

а) на ближайший иерархический уровень в группе (Интел/агентам К(ИП)-II и себе) передать сгенерированный вариант целераспределения (временное целеполагание для Интел/агентов К(ИП)-II: атаковать назначенный Интел/агент УС);

б) Интел/агенту К(ИП)-I (т.е. себе) сменить свой ранг на ранг Интел/агент К(ИП)-II;

в) при прохождении Интел/агентов К(ИП)-II боевых порядков налета Интел/агенты К(ИС)-II + Интел/агенты УС назначить всем Интел/агентам К(ИП)-II ТС “Полет Интел/агента К(ИП)-II к точке сбора Интел/агентов К(ИП)-II”.

*Интел/агент К(ИП)-II* имеет следующие составляющие.

1. ММ Б/Изм/Систем, запрошенные из блока “Бортовые измерительные системы” (рис. 4) и параметрически настроенные на системы, которые находятся на борту самолета К(ИП)-II.

2. ММ Б/Исп/Систем, запрошенные из блока “Бортовые исполнительные системы” (рис. 4) и параметрически настроенные на системы, которые находятся на борту самолета К(ИП)-II.

3. Алгоритмы решения задачи I-ГЛУУ:

принять (бортовая система ТКС) на реализацию полученное от Интел/агента К(ИП)-I временное целеполагание (атаковать заданный Интел/агент УС),

при прохождении Интел/агентов К(ИП)-II боевых порядков налета Интел/агентов ИС + Интел/агенты УС, назначить ТС “Полет Интел/агента К(ИП)-II к точке сбора Интел/агентов К(ИП)-II”.

4. Алгоритмы решение задачи II-ГЛУУ: ТБС (Интел/агента К(ИП)-II) “Атака заданного Интел/агента УС”.

Проблемные субситуации ПрС/С(Интел/агента К(ИП)-II) этой ТБС(Интел/агента К(ИП)-II):

ПрС/С(Интел/агента К(ИП)-II) “Организация пуска и пуск Интел/агента R(ИП-УС) по заданному Интел/агенту УС”.

Возможные варианты реализации этой ПрС/С в базе знаний БОСЭС:

ПрС/С(Интел/агента К(ИП)-II)-1. При полете Интел/агента К(ИП)-II по траектории атаки (Б/Исп/Система САУ) на заданный Интел/агент УС (самолет противника) Интел/агент К(ИП)-II обнаружил (Б/Изм/Система БРЛС) несколько Интел/агентов УС и все они взяты на обслуживание другими Интел/агентами К(ИП)-II.

Решение: продолжить наведение на заданный Интел/агент УС.

Реализация решения: движение Интел/агента К(ИП)-II (Б/Исп/Система САУ) по траектории атаки на заданный Интел/агент УС.

Сблизившись с этим Интел/агентом УС на  $D_{p_{max}}$  (ИП – УС), пустить Интел/агент R(ИП – УС).

Появился новый Интел/агент – Интел/агент R(ИП – УС)!

ПрС/С(Интел/агента К(ИП)-II)-2. При полете Интел/агента К(ИП)-II по траектории атаки (Б/Исп/Система САУ) на заданный Интел/агент УС Интел/агент К(ИП)-II обнаружил (Б/Изм/Система БРЛС) несколько Интел/агентов УС и не все они взяты на обслуживание другими Интел/агентами К(ИП)-II.

Решение: среди необслуженных Интел/агентов УС выбрать на атаку ближайший и атаковать его.

Реализация решения: движение Интел/агента К(ИП)-II (Б/Исп/Система САУ) по траектории атаки на выбранный Интел/агент УС. Сблизиться с этим Интел/агентом УС на  $D_{p_{max}}$  (ИП – УС) и пустить Интел/агента R(ИП – УС).

Появился новый Интел/агент – Интел/агент R(ИП – УС)!

ПрС/С(К(ИП)-II)-3. При обнаружении (Б/Изм/Система УОПР) пуска Интел/агента R(ИС – ИП) с Интел/агента К(ИС-II) по Интел/агенту К(ИП)-II в условиях наведения им своего Интел/агента R(ИП – УС) продолжить полет по траектории атаки. В момент попадания своего Интел/агента R(ИП – УС) в Интел/агент УС определить/сравнить текущую дальность атакующего Интел/агента R(ИС – ИП) до атакуемого им Интел/агента К(ИП-II) с дальностью  $D(ГО)$ .

Если на момент попадания Интел/агента R(ИП – УС) дальность Интел/агента R(ИС – ИП) до Интел/агента К(ИП)-II будет больше дальности  $D(ГО)$ , фиксировать поражение Интел/агента УС и передать факт “ГО” в блок “Расчет итоговых приоритетов сгенерированных вариантов целераспределения” (см. ниже).

Если на момент попадания Интел/агента R(ИП – УС) дальность Интел/агента R(ИС – ИП) до Интел/агента К(ИП)-II будет меньше  $D(ГО)$ , фиксировать факт непоражения Интел/агента УС и выработать рекомендацию “Для этого ИС нужно выделить блокирующую пару ИП” и передать факт “Блок” в блок “Расчет итоговых приоритетов сгенерированных вариантов целераспределения” (см. ниже).

*Интел/агент К(ИС)-I* имеет следующие составляющие.

1. ММ Б/Изм/Систем, запрошенные из блока “Бортовые измерительные системы” (рис. 4) и параметрически настроенные на системы, которые находятся на борту самолета К(ИС)-I.

2. ММ Б/Исп/Систем, запрошенные из блока “Бортовые исполнительные системы” (рис. 4) и параметрически настроенные на системы, которые находятся на борту самолета К(ИС)-I.

3. Алгоритмы решения задачи оперативного целеполагания (задача I-ГЛУУ: вмененное целеполагание для К(ИС-II)):

а) всем Интел/агентам К(ИС)-II атаковать ближайший Интел/агент К(ИП)-II, который находится на траектории атаки на Интел/агент УС,

б) после завершения атаки Интел/агента К(ИП)-II освободившемуся Интел/агенту К(ИС)-II продолжать полет с курсом Интел/агентов УС,

в) до обнаружения атаки Интел/агента К(ИП)-II на Интел/агент УС продолжать полет с курсом Интел/агентов УС,

г) Интел/агенту К(ИС)-I (т.е. себе) сменить свой ранг на ранг Интел/агент К(ИС)-II.

Реализация решения: передача по ТКС принятые решения всем Интел/агентам К(ИС)-II.

*Интел/агент К(ИС)-II* имеет следующие составляющие.

1. ММ Б/Изм/Систем, запрошенные из блока “Бортовые измерительные системы” (рис. 4) и параметрически настроенные на системы, которые находятся на борту самолета К(ИС)-II.

**Таблица 3.** Перевод критерия  $Kp1$  в численное значение на основе экспертных оценок

Приоритеты уничтоженных Интел/агентов УС и заблокированного Интел/агента ИС	I	II	III	IV	V
Эквивалентное количество Интел/агентов ИС (Интел/агенты приоритета V)	3	2	1.8	1.25	1

2. ММ Б/Исп/Систем, запрошенные из блока “Бортовые измерительные системы” (рис. 4) и параметрически настроенные на системы, которые находятся на борту самолета К(ИС)-II.

3. Алгоритмы решения задачи оперативного целеполагания (I-ГЛУУ):

вмененное целеполагание от Интел/агента К(ИС)-I: обнаруженный ближайший атакующий Интел/агент К(ИП-II) атаковать,

если после завершения атаки Интел/агента К(ИП)-II (попадание Интел/агента ракета R(ИП – УС) в Интел/агента УС), атака Интел/агента R(ИС – ИП) может быть сорвана противоракетным маневром ГО атакуемого Интел/агента К(ИП)-II, Интел/агенту К(ИС)-II совершать полет курсом Интел/агентов УС.

4. Алгоритмы решения задачи II-ГЛУУ. В активизированной ТБС(Интел/агент К(ИП)-II) “Атака обнаруженного атакующего Интел/агента К(ИП)-II” возникают следующие проблемные субситуации ПрС/С.

ПрС/С(Интел/агента К(ИС)-II). На борту Интел/агента К(ИС)-II есть Интел/агенты R(ИС – ИП). Среди обнаруженных Интел/агентов К(ИП)-II, которые атакуют Интел/агенты УС, есть необслуживаемые Интел/агенты К(ИП)-II другими Интел/агентами К(ИС)-II.

Решение:

атаковать ближайший необслуживаемый Интел/агент К(ИП)-II: назначить траекторию атаки; сблизившись с Интел/агентом К(ИП)-II на  $Dp_{max}$  (ИС – ИП), пустить Интел/агента R(ИС – ИП).

Реализация решения: движение Интел/агента К(ИС)-II (Б/Исп/Система САУ) по траектории атаки на Интел/агент К(ИП)-II. Пуск Интел/агента R(ИС – ИП) по Интел/агенту К(ИП)-II.

Появился новый Интел/агент R(ИС – ИП)!

При возможном применении атакованным Интел/агентом К(ИП)-II противоракетного маневра ГО, зафиксировать факт его применения и передать факт “ГО” в блок “Расчет итоговых приоритетов сгенерированных вариантов целераспределения” (см. ниже). В противном случае факт “Интел/агент К(ИП)-II поражен” передать в названный блок.

По Интел/агенту К(ИС)-II, который произвел результативную атаку, следует выделить Интел/агент К(ИП)-II, блокирующий Интел/агента К(ИС)-II. В блок “Расчет итоговых приоритетов сгенерированных вариантов целераспределения” передать факт “Блок”.

Блок 5. “Имитация выполнения сгенерированного варианта целераспределения и его оценки по критериям”. В блоке имитируется взаимодействие Интел/агентов в базе знаний БОЭС ТБС(К(ИП)-I)-ВГБ-В для каждого сгенерированного варианта целераспределения. Оценка производится по критериям [2]:

$Kp1$  – учет приоритетов и количества атакованных/уничтоженных Интел/агентов УС и Интел/агентов К(ИС)-II (чем выше приоритет и больше самолетов этого приоритета, тем лучше (табл. 3));

$Kp2$  – количество атакованных/уничтоженных Интел/агентов УС и заблокированных Интел/агентов К(ИС)-II (чем больше, тем лучше);

$Kp3$  – количество обстрелов Интел/агентов К(ИП)-II со стороны Интел/агентов К(ИС)-II (предпочтителен вариант без обстрела; затем вариант с обстрелом, когда не нужно выделять Интел/агента К(ИП)-II на блокировку Интел/агентов К(ИС)-II (отражение возможной атаки Интел/агента К(ИС)-II); следующий вариант – с выделением Интел/агентов К(ИП)-II на блокировку Интел/агентов К(ИС)-II).

Перевод критерия  $Kp3$  в численное значение на основе экспертных оценок показан в табл. 4.

В результате моделирования взаимодействия названных Интел/агентов в процессе развития ТБС(Интел/агента К(ИП)-I)-ВГБ-В определяются количественные значения критериев  $Kp1$ ,  $Kp2$ ,  $Kp3$  конкретного варианта целераспределения. Эти значения передаются в блок “Расчет итоговых приоритетов сгенерированных вариантов целераспределения” (см. ниже).

Блок 6. “Расчет итоговых приоритетов сгенерированных вариантов целераспределения”. При расчете приоритетов (итоговых приоритетов) вариантов целераспределения использован механизм вывода: многокритериальный выбор альтернативы [6]. Результат его применения представлен в табл. 5.

Во втором столбце таблицы перечислены сгенерированные варианты целераспределения (альтернативы). В столбцах “Критерии” даны оценки каждого варианта целераспределения (со-

**Таблица 4.** Перевод критерия Кр3 в численное значение на основе экспертных оценок

Качественная характеристика варианта целераспределения	Обстрелов Интел/агентов К(ИП)-II со стороны Интел/агентов К(ИС)-II нет	ГО	ГО+ГО	Блок	Блок+ГО	Блок+ +Блок
Численное значение Кр3 (баллы)	11	9	7	5	3	1

Обозначения: ГО – в группе Интел/агентов К(ИП)-II использован один ГО, ГО+ГО – в группе Интел/агентов К(ИП)-II использовано два ГО, Блок – выделен Интел/агент К(ИП)-II для блокировки Интел/агента К(ИС)-II, Блок+ГО – в группе Интел/агентов К(ИП)-II выделен блокирующий Интел/агент К(ИП)-II + один из Интел/агентов К(ИП)-II использовал маневр ГО, Блок+Блок – в группе Интел/агентов К(ИП)-II выделены два блокирующих Интел/агента К(ИП)-II).

**Таблица 5.** Таблица приоритетов вариантов целераспределения

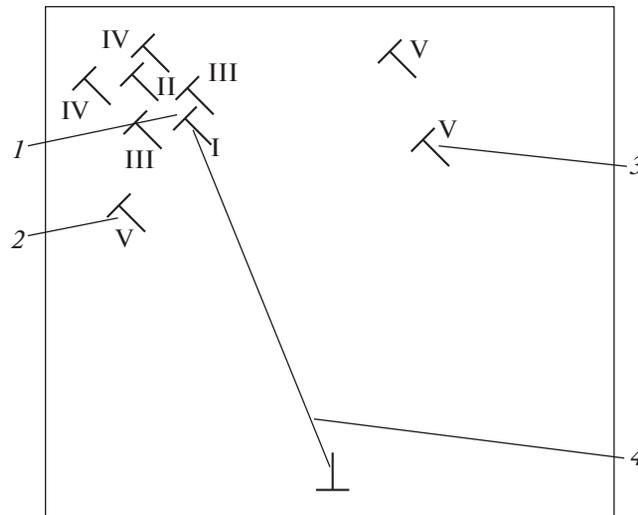
Варианты целераспределения (альтернативы)		Критерии			Приоритеты			Итоговый приоритет
		Кр1	Кр2	Кр3	Кр1	Кр2	Кр3	
Первый тип	A1	9.1	5	9	0.0497	0.0526	0.0486	0.0512
	A2	9.1	5	9	0.0497	0.0526	0.0486	0.0512
	A3	9.1	5	9	0.0497	0.0526	0.0486	0.0512
	A4	9.1	4	9	0.0497	0.0421	0.0486	0.0444
	A5	9.1	3	9	0.036	0.0316	0.027	0.0326
	A6	9.1	4	9	0.0497	0.0421	0.0486	0.0444
Второй тип	A7	9.1	5	9	0.0497	0.0526	0.0486	0.0512
	A8	9.1	5	9	0.0479	0.0526	0.0486	0.0512
	A9	9.1	5	9	0.0479	0.0526	0.0486	0.0512
	A10	9.1	5	9	0.0479	0.0526	0.0486	0.0512
	A11	9.1	5	9	0.0479	0.0526	0.0486	0.0512
	A12	9.3	5	9	0.05	0.0526	0.0486	0.0516
	A13	9.3	5	9	0.05	0.0526	0.0486	0.0516
	A14	9.3	5	9	0.05	0.0526	0.0486	0.0516
	A15	9.3	5	9	0.05	0.0526	0.0486	0.0516
	A16	7.85	4	9	0.0429	0.0421	0.0486	0.0431
	A17	7.85	4	9	0.0429	0.0421	0.0486	0.0431
	A18	7.85	4	9	0.0429	0.0421	0.0486	0.0431
	A19	8.6	4	9	0.047	0.0421	0.0486	0.444
	A20	8.6	4	9	0.047	0.421	0.0486	0.0444
	A21	8.6	4	9	0.047	0.0421	0.0486	0.0444
Контроль					$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

ответствующая строка таблицы) через значения критериев Кр1, Кр2, Кр3, полученных при моделировании в блоке “Имитации выполнения сгенерированного варианта целераспределения и его оценки по критериям”.

В столбцах “Приоритеты” показаны значения критериев альтернатив, нормированные на единицу (аналог собственных векторов матриц парных сравнений Т. Саати [6]). Это матрица приоритетов альтернатив по каждому критерию. Умножая эту матрицу справа на вектор приоритетов критериев, заданный в полетном задании, получим столбец “Итоговый приоритет”. Он содержит итоговый приоритет каждой альтернативы (каждого варианта целераспределения).

В табл. 5 отмечены лучшие варианты целеполагания – А12-А15, один из которых БОСЭС(К(ИП)-I) – ТБС ВГБ-В рекомендует командиру К(ИП)-I.

Время реализации всех процедур, выполняемых в ПрС/С “Целераспределение”, на машине с процессором Pentium – 133 составило около 6 с.



**Рис. 5.** МФИ: форма предъявления рекомендуемого целераспределения (римскими цифрами показаны назначенные приоритеты атаки воздушных целей): 1 – главная цель наведения (показан тип целераспределения: всем звеном атаковать один УС); 2 – пара ИС, на которую необходимо выделение блокирующей пары при данном варианте целераспределения; 3 – пара ИС, от которой нужно будет уходить противоракетным маневром ГО после доведения своей ракеты до УС при данном варианте целераспределения; 4 – линия дальности “ИП – главная цель наведения”

3.2. Форма предъявления на многофункциональном индикаторе кабины командиру группы истребителей перехватчиков К(ИП)-I рекомендуемого варианта целераспределения. Командиру К(ИП)-I предъявляется на многофункциональном индикаторе (МФИ) ИУП рекомендуемый вариант целераспределения в виде, показанном на рис. 5.

**Заключение.** БОСЭС ТС Антр/объекта (в частности, пилотируемого ЛА) вырабатывает и рекомендует экипажу способ достижения цели ТС.

Для выработки конструктивных рекомендаций экипажу в базах знаний БОСЭС ТС используются ММ ПрС/С этой ТС. Они содержат Интел/агенты, представляющие реальные объекты, которые действуют в ПрС/С. Интел/агенты отражают фактические функциональные возможности реальных объектов, востребованные от них в этой ПрС/С.

Структура Интел/агента полностью идентична структуре реального объекта, которого Интел/объект представляет, и соотносена с концептуальной моделью “Этап”. Особенностью применения Интел/агентов в базе знаний БОСЭС ТС является использование их в процедуре поиска оптимального варианта способа достижения цели этой ТС. Критерий выбора эффективного способа формулируется в описании ТС.

На примере проблемной субситуации “Целераспределение”, которая решается в базе знаний БОСЭС(К(ИП)-I) ТС “Ввод группы в воздушный бой” для командира группы истребителей перехватчиков К(ИП)-I, представлены Интел/агенты противоборствующих сторон и процедура выбора оптимального варианта целераспределения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федун Б.Е. Модель “Этап” для разработки облика бортовых интеллектуальных систем антропоцентрических объектов // *Онтология проектирования*. 2012. № 2 (4). С. 36–43.
2. Федун Б.Е. Бортовые интеллектуальные системы тактического уровня для антропоцентрических объектов (примеры для пилотируемых летательных аппаратов). М.: Де Либри, 2018. 246 с.
3. Городецкий В.И. Самоорганизующая сеть агентов – базовая модель группового и кооперативного поведения автономных объектов // *Сб. докл. конф. “Искусственный интеллект: проблемы и пути решения”*. М., 2018. С. 9–16.
4. Андреев В.В., Братищев С.В., Виттих В.А. и др. Методы и средства создания открытых мультиагентных систем для поддержки процессов принятия решений // *Изв. РАН. ТиСУ*. 2003. № 1. С. 126–137.
5. Дёмкин М.А., Панкратов О.Н., Федун Б.Е. Аппроксимирующая математическая модель ракеты “В-В” для расчета в реальном времени характерных дальностей ее полета // *Мехатроника*. 2001. № 9. С. 30–36.
6. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991.