

УДК 355.354

## **Бортовая оперативно советуемая экспертная система дальнего воздушного боя один на один на борту маневренного самолета**

О.В. Архипова

### **Аннотация**

Базовая версия бортовой оперативно советуемой экспертной системы дальнего воздушного боя один на один построена на основе результатов математических исследований отдельных фрагментов дальнего воздушного боя. В данной работе описана база знаний экспертной системы и проведено моделирование дальнего воздушного боя для дуэльной ситуации при различных начальных условиях.

База знаний интеллектуальной системы построена по иерархическому принципу, с использованием продукционных правил и оперативно решаемых игровых задач. Она ориентирована на решение задач в дуэльной ситуации дальнего воздушного боя на встречных и встречно-пересекающихся курсах при однократном пуске ракет с каждого самолета, с использованием оптимальных пространственных наступательных и оборонительных маневров, выбора оптимальных моментов пуска ракет и моментов применения помех информационным системам противника.

Моделирование ряда типовых боевых ситуаций дает возможность составить игровую матрицу исходов боя, которая демонстрирует эффективность выбранной стратегии поведения истребителя в дальнем воздушном ракетном бою, а так же позволяет оптимизировать облик баз знаний интеллектуальной системы поддержки экипажа.

### **Ключевые слова**

интеллектуальная система поддержки; экспертная система; дальний воздушный бой; структура базы знаний; проблемная субситуация; рекомендации летчику; логика работы «летчик - бортовая аппаратура»;

Решаются задачи первого (оперативное целеполагание) и второго (определение рационального пути достижения оперативно назначенной цели) глобальных уровней управления.

Антр/объекты имеют на своем борту: бортовые измерительные устройства; экипаж, осуществляющий управление Антр/объектом в соответствии со своими алгоритмами деятельности через диалоговое общение с ИУП кабины Антр/объекта; БЦВМ-алгоритмы, реализованные в БЦВМ, объединенных в бортовую вычислительную сеть; бортовые исполнительные устройства. Подчеркнем: алгоритмы решения задач системообразующего ядра реализуются либо на БЦВМ, либо экипажем.

Функционирование Антр/объекта представляется как совокупность сеансов функционирования, к каждому из которых готовится как экипаж (изучение технической документации, инструктаж перед сеансом), так и Антр/объект (в БЦВМ-алгоритмы заносится априорная информация о предстоящем сеансе функционирования, настраиваются бортовые измерительные устройства). Все сеансы функционирования представляются через семантические сети типовых боевых ситуаций (ТБС) функционирования Антр/объекта. Упорядоченные по причинно-следственному отношению, типовые ситуации представляются через семантическую сеть проблемных субситуаций (ПрС/С). Множество типовых ситуаций – общее для всех сеансов функционирования.

Бортовые оперативно советующие экспертные системы типовых ситуаций функционирования Антр/объектов предназначены для решения так называемых «тактических задач» – задач, определяющих рациональные пути достижения текущей цели функционирования, оперативно предложенной экипажем. Для каждой ТБС создается своя БОСЭС ТБС. В Структуру базы знаний БОСЭС ТБС положена формальная модель предметной области, в которой генеральная задача сеанса функционирования, в свою очередь, представляется через семантическую сеть ПрС/С. В ТБС выделяется множество значимых событий, которые требуют либо немедленного разрешения, либо предварительно пространственно-временного прогноза их наступления, когда проблема будет требовать немедленного разрешения.

В данной работе рассматривается дальний воздушный бой нашего истребителя и истребителя противника в ПрС/С «Нападение» и «Защита с нападением». Для проведения необходимых исследований используется система имитационного моделирования и для получения наиболее точных результатов проводится серия экспериментов при различных начальных данных.

Цель работы – имитация функционирования экспертной системы (ЭС) на борту ЛА в ТБС дальний бой с воздушной целью при заданных условиях, которая заключается в исследовании возможных исходов воздушного боя, анализе полученных результатов и выработке рекомендаций экипажу для оптимального ведения воздушного боя.

### **Особенности бортовой оперативно советующей экспертной системы**

«Внешним миром», в котором будет работать БОСЭС, является бортовая информационная среда самолета. Она формируется выходной информацией бортовых измерительных устройств, «штатных» (не входящих в БОСЭС ДБВ) бортовых БЦВМ-алгоритмов и сигналов ИУП кабины экипажа. По результатам предполетной подготовки из интеллектуальной системы подготовки самолета к вылету в БОСЭС ДБВ загружается априорная информация по предстоящему полету.

По каждой значимой для выполнения ТБС проблемной субситуации БОСЭС вырабатывает для экипажа рекомендации по ее разрешению с краткими пояснениями, которые появляются на ИУП кабины экипажа и сопровождаются речевыми информаторами. Экипаж вправе не принять выработанную БОСЭС рекомендацию и разрешить возникшую ПрС/С другим способом, ничего не сообщая об этом БОСЭС. Следующую рекомендацию БОСЭС должна будет уже выработать с учетом реализованного экипажем способа. Любое игнорирование экипажем выработанной БОСЭС рекомендации фиксируется в бортовой системе объективного контроля и после окончания полета эта информация передается в интеллектуальную систему анализа результатов полета.

### **Общая структура системы**

Бортовая оперативно-советующая экспертная система дальнего воздушного боя, работающая в режиме 1х1, анализирует внешнюю обстановку, выбирает наиболее рациональные способы разрешения возникающих проблем и предъявляет летчику рекомендации по способу их разрешения.

БОСЭС работает в штатной информационной среде борта самолета со штатным составом информационных сигналов. Дополнительные сигналы, необходимые для формирования БЗ, БОСЭС вырабатывает в математических моделях, входящих в базу знаний. Из штатных информационных сигналов используются сигналы:

- об атакуемой цели (дальность, скорость, координаты, угловое положение и т.д.);
- о координатах собственного самолета (координаты, скорость и ее составляющие, угловое положение, перегрузки, предельные значения параметров полета);

- о состоянии оружия, о минимальной и максимальной дальностях пуска выбранных к применению ракет;
- о факте пуска ракеты противника, ее координатах и типе ракеты;
- о наличии на борту и количестве отстреливаемых пассивных помех.

В случае отсутствия на борту информации о типе пущенной ракеты противника она учитывается заранее назначаемым некоторым диапазоном обобщенного коэффициента сопротивления ракеты и построением зон применения маневра самолета с помощью аппроксимирующей математической модели (АММ) ракеты.

В БОСЭС содержится решение ряда оптимизационных и игровых задач: построения оптимальных маневров уклонения от ракеты противника и определения дальностей их начала, определения дальностей эффективного пуска и гарантированного пуска, решение задачи совместного применения активных помех и ракеты, оптимального применения пассивных помех, совместного применения маневров уклонения и ракеты. Экспертная система (ЭС) использует только один механизм вывода – вывод на основе продукционных правил.

Базовый образец бортовой оперативно советующей экспертной системы дальнего воздушного боя (БОСЭС ДБВ 1x1) в каждый момент времени предъявляет экипажу истребителя рекомендации: об оптимальном маневре, моменте пуска своей ракеты и моментам применения информационных помех. Этот образец может являться основой для макетирования бортовых интеллектуальных систем [2].

### База знаний

Первый иерархический уровень – активизация (выбор) ПрС/С. Правила сопоставления текущей внешней ситуации, представляемой ситуационным вектором SV(ТБС-ПрС/С), одной из ПрС/С приведены в табл. 1. В ней введены обозначения: И1 – истребитель, оснащенный БОСЭС ДБВ 1x1, И2 – истребитель противника.

Правила активизации в базе знаний БОСЭС проблемных субситуаций.

Таблица 1.

Координаты SV(ТБС- ПрС/С)  ПрС/С	атака ракеты противника	противник в нашей ЗВП	есть ли ракеты на нашем борту	наводим свою ракету на цель	наш самолет в оцененной ЗВП ракеты противника
--	-------------------------	-----------------------	-------------------------------	-----------------------------	---

ТВП	нет	нет	да	нет	нет
Защита	да	-	нет	нет	-
Нападение	нет	-	-	да	-
	нет	да	да	-	-
Защита с нападением	да	да	-	-	-
	да	нет	да	-	-
	да	-	-	да	-

В таб.1 знак «-» обозначает, что соответствующее условие для назначения ПрС/С не используется.

Игровая матрица  $N \times N$  составляется из значений критерия  $F$ , по которому оценивается исход боя. Для каждой пары виртуальных пусков ракет и применения станции активных помех (САП) происходит расчёт критерия  $F = P_2 - P_1$ , где  $P_i$  – вероятность поражения  $i$ -ого истребителя. Расчёт  $P_i$  различен в зависимости от типа попадания собственной ракеты. Всего возможно четыре типа попадания: упреждающее (УПоп), одновременное (ОПоп), запаздывающее (ЗПоп), непопадание (НПоп). Первые три понятия связываются с понятием автономного участка наведения ракеты, понимая под последним конечный участок наведения ракеты, когда успех наведения не зависит от судьбы самолета, с борта которого была пущена эта ракета [2].

#### Формулы вычисления вероятностей $P_i$ .

Для УПоп:

$$P_2 = P_P(I_1)[1 - P_{can}(I_2; I)]^{r_{can}(I_2; I)} \quad (1);$$

$$P_1 = [1 - P_2]P_P(I_2)[1 - P_{can}(I_1, I)]^{r_{can}(I_1, I)}[1 - P_{can}(I_1, II)]^{r_{can}(I_1, II)} \quad P_2 = P_P(I_1)[1 - P_{can}(I_2; I)]^{r_{can}(I_2; I)} \quad (2).$$

Для ОПоп:

$$P_2 = P_P(I_1)[1 - P_{can}(I_2, I)]^{r_{can}(I_2, I)}[1 - P_{can}(I_2, II)]^{r_{can}(I_2, II)} \quad (3);$$

$$P_1 = P_P(I_2)[1 - P_{can}(I_1, I)]^{r_{can}(I_1, I)}[1 - P_{can}(I_1, II)]^{r_{can}(I_1, II)} \quad (4).$$

Для ЗПоп:

$$P_2 = [1 - P_1]P_P(I_1)[1 - P_{can}(I_2, I)]^{r_{can}(I_2, I)}[1 - P_{can}(I_2, II)]^{r_{can}(I_2, II)} \quad (5);$$

$$P_1 = P_p(I_2) [1 - P_{can}(I_1, I)]^{r_{can}(I_1, I)} [1 - P_{can}(I_1, II)]^{r_{can}(I_1, II)} \quad (6).$$

Где  $P_p(I_j)$ - полигонная вероятность поражения цели ракетой  $I_j$ ,  $P_{can}(I_j)$ - вероятность срыва наведения атакующей ракеты, при наведении которой ей был поставлен один полный цикл помех с истребителя  $I_i$ ,  $r_{can}(I_i, I)$ - количество циклов помех, поставленных с  $I_i$  до пуска своей ракеты (ПХ первой очереди);  $r_{can}(I_i, II)$ - количество циклов помех, поставленных с  $I_i$  после окончания наведения своей ракеты (ПХ второй очереди).

### **Логика работы системы «летчик – бортовая аппаратура – самолет»**

Летчик, применяя рекомендации БОСЭС, работает со штатной аппаратурой борта. При этом в кабине должен быть предусмотрен орган, позволяющий летчику подтвердить свое согласие с выбранной интеллектуальной системой поддержки стратегией поведения истребителя в дуэльной ситуации дальнего воздушного боя. В Логике ДБВ используются такие органы управления ИУП кабины самолета, как:

- четырехпозиционный переключатель на ручке управления самолетом (ЧПП-РУС);
- многофункциональная кнопка (МФК) «принять рекомендацию»;
- МФК «Передача на борта ближайшего подчинения» (универсальная для всех этапов полета);
- МФК «Дуэль»;
- БК на РУС.

Бортовая оперативно советующая экспертная система ДБВ 1x1 включается МФК «ДУЭЛЬ». До включения БОСЭС на борту выполняется режим обнаружения воздушной цели (ВЦ) или режим атаки с представлением на индикатор тактической обстановки (ИТО) приоритетного ряда атакуемых целей, причем летчик имеет возможность менять их приоритеты вручную.

Экспертная система рекомендует траекторную стратегию. При согласии с предлагаемым тактическим приемом лётчик включает МФК «Принять рекомендацию». При этом на ИТО появляются признаки параметров тактического приёма, вырабатываемые БОСЭС ДБВ1x1. Также лётчику выдаются рекомендации по пуску своей ракеты, ожидаемую дальность пуска ракеты противника, оптимальные помехи противника. Если лётчик не принимает рекомендации, система продолжает работать и выдавать оптимальную дальность пуска на «реальный» момент времени в соответствии со складывающейся тактической обстановкой.

## Моделирование дальнего воздушного боя двух истребителей

В данной главе приводится моделирование воздушного боя двух истребителей, один из которых оснащён БОСЭС ДБВ 1x1 [3]. Для каждой пары траекторных стратегий нашего истребителя (И1) и самолета противника (И2) в базе знаний БОСЭС ДБВ1x1 проводятся виртуальные пуски ракет на различных дальностях между самолетами И1 и И2, имитируется работа станции активных помех (САП). Для более наглядной иллюстрации эффективного функционирования экспертной системы организуем два повторных моделирования ДБВ при идентичных начальных данных завязки боя, но при условии, что в первом случае на борту нашего истребителя нет интеллектуальной системы поддержки экипажа.

Целью данной главы является имитация дальнего ракетного боя, анализ полученных результатов и выбор оптимальной стратегии.

### Оборудование, установленное на противоборствующих истребителях.

Бортовое оборудование И1:

1. БРЛС;
2. Станция активных помех (САП):  $\tau(САП(И2))$ ,  $P(САП(И2))$ , где
  - $\tau(САП(И2))$  - длительность цикла помех
  - $P(САП(И2))$  - вероятность срыва наведения ракеты.
3. Пилотажно-навигационный комплекс (ПНК);
4. Оптический комплекс регистрации пусков (ОКРП).

Состав комплекса авиационного вооружения (КАВ): ракета класса «воздух-воздух» («В-В») R(И1), описываемая параметрами:  $P, t_a, T_a, T_p, T_{ia}, T_{ip}, P_{пол}, \tau_{авт}$ , где:

- $P$  - тяга двигателя ракеты на активном участке (постоянная величина);
- $t_a$  - время работы двигателя (продолжительность активного участка);
- $T_{ia}$  - коэффициент индуктивного сопротивления на активном участке;
- $T_{ip}$  - коэффициент индуктивного сопротивления на пассивном участке;
- $T_a$  - коэффициент лобового сопротивления ракеты на активном участке;
- $T_p$  - коэффициент лобового сопротивления ракеты на пассивном участке;
- $T$  - коэффициент лобового сопротивления ракеты, зависящий от условий пуска (описывается двумя постоянными величинами:  $T_a$  при  $t \leq t_a$ , и  $T_p$  при  $t > t_a$ );

- $T_i$  - коэффициент индуктивного сопротивления ракеты, зависящий от условий пуска (описывается двумя постоянными величинами:  $T_{ia}$  при  $t \leq t_a$ , и  $T_{ip}$  при  $t > t_a$ ).

Где:  $P_{пол}$  - полигонная вероятность попадания ракеты.

$\tau_{авт}$  - время работы энергоблока.

Алгоритмическое и индикационное обеспечение (АиИО) ТБС ДБВ 1x1 самолета И1:

1. БОСЭС ДБВ 1x1;
2. Кадры информации на индикаторах ИУП;
3. Речевые сообщения на самолете И1, которые вырабатываются в ТБС ДБВ 1x1.

Бортовое оборудование И2:

1. БРЛС;
2. Блок ситуационного управления (БСУ);
3. САП:  $\tau(САП(И2))$ ,  $P(САП(И2))$ ;
4. ПНК;
5. ОКРП.

Состав КАВ: ракета «В-В» R(И2), описываемая параметрами:

$P, t_a, T_a, T_p, T_{ia}, T_{ip}, P_{пол}, \tau_{авт}$ .

## Информационно-управляющее поле кабины И2

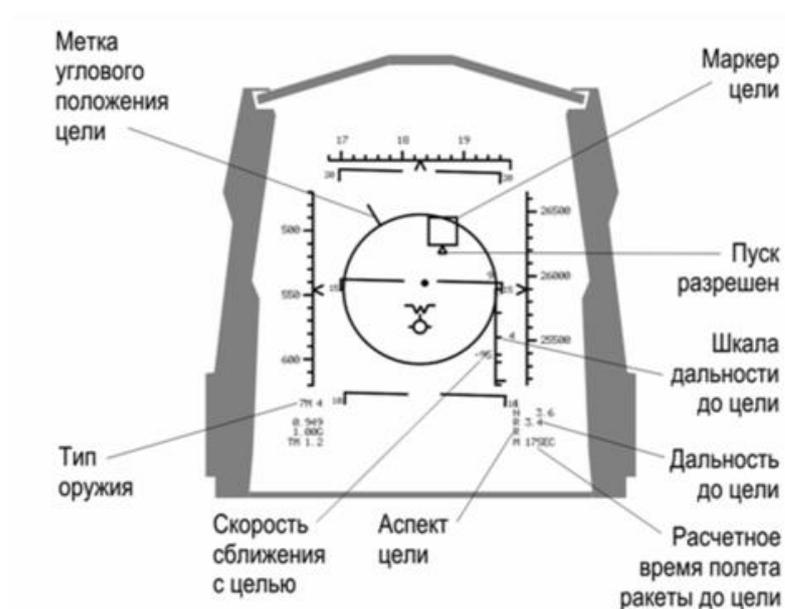


Рис. 1. Информационно управляющее поле кабины И2

## Индикация нашего истребителя в режиме ДБВ с поддержкой БОСЭС ДБВ1х1

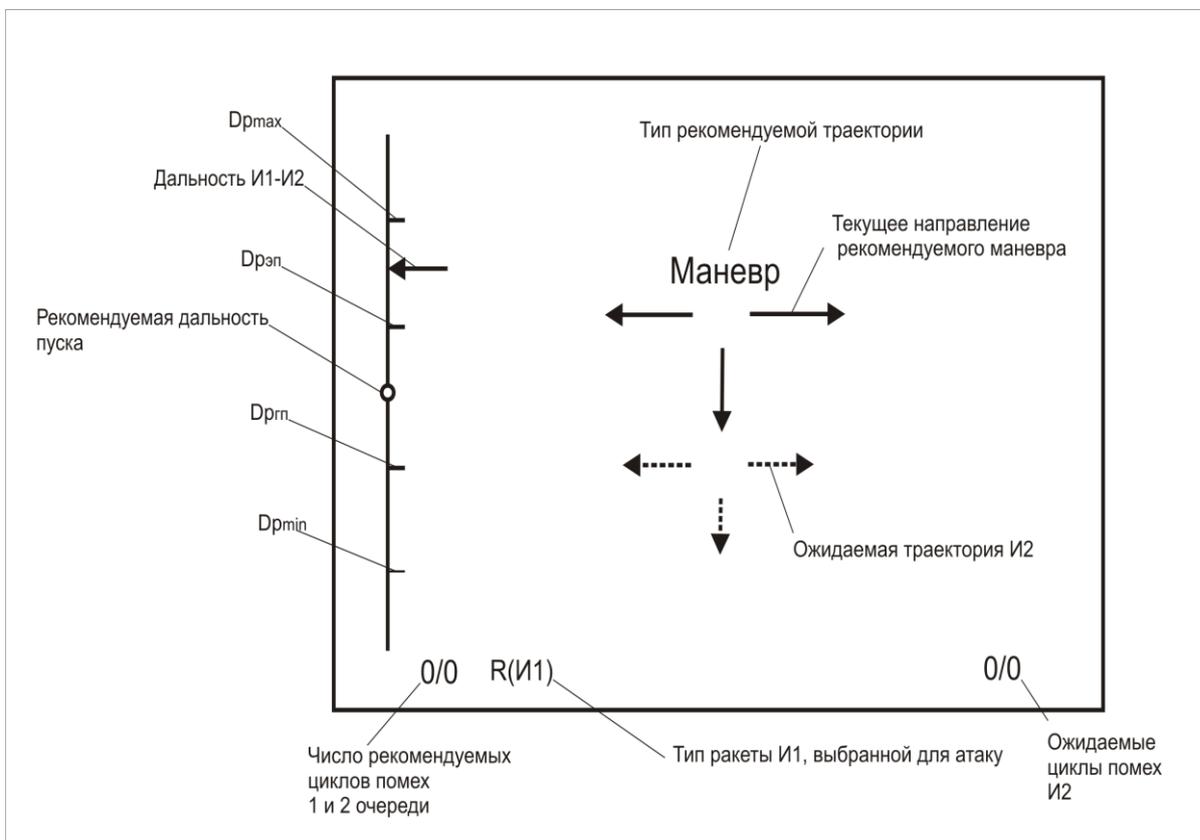


Рис. 2. Информационный кадр для ПрС/С «Нападение»

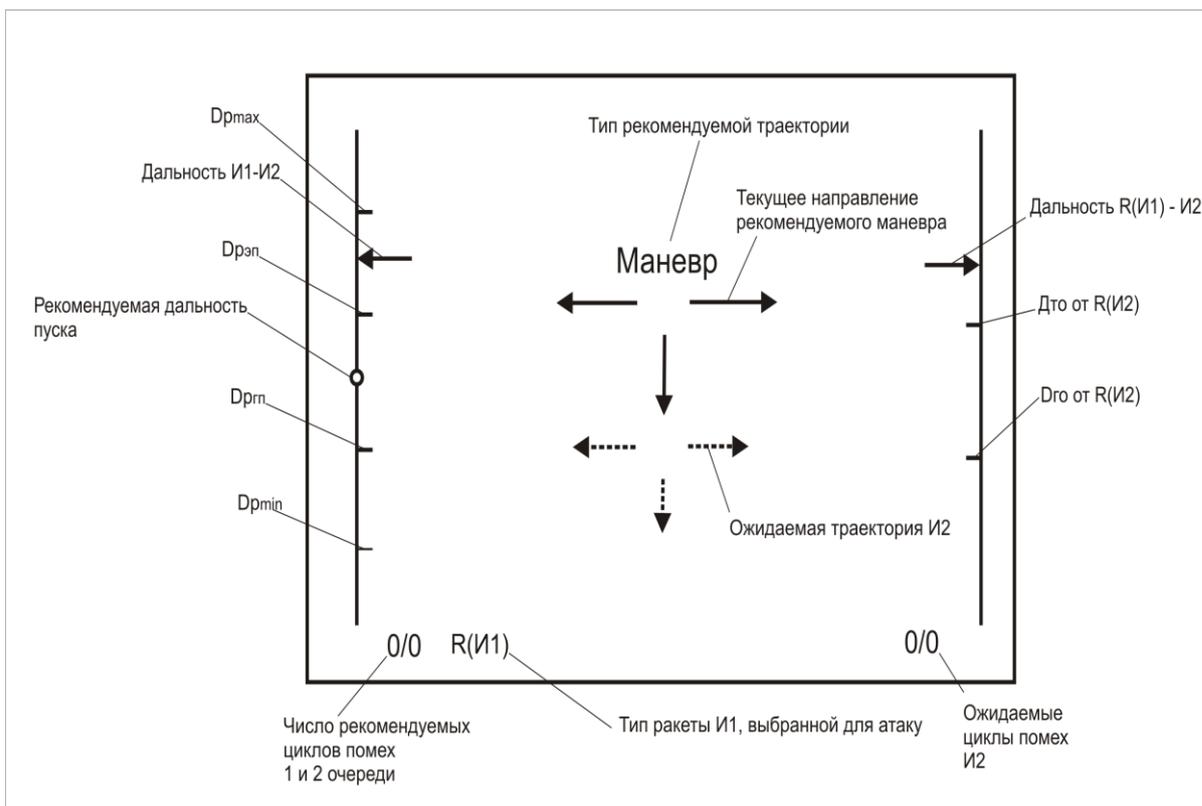


Рис 3. Информационный кадр для ПрС/С «Защита с нападением»

### Исходные данные

В базе знаний БОСЭС ДБВ1х1 есть блок генерирования гипотез движения противоборствующих истребителей (И1 и И2) [4].

Для виртуальной ПрС/С (И1) «Нападение».

#### траекторная стратегия И1:

- 1.КА + пуск + КА + ГО( $t_k$ );
- 2.КА + пуск + ТО (с момента пуска R(I1)) + ГО( $t_k$ ). Где:  $t_k$  - момент окончания наведения R(I1), КА – кривая атаки.

#### траекторные стратегии И2:

- 1.КА + пуск + КА + ГО( $t_k$ );
- 2.КА + ТО (в момент пуска R(I1)) + пуск (после реализации ТО (от И1)) + ГО( $t_k$ ).

Для виртуальной ПрС/С (И1) «Защита с нападением».

#### траекторная стратегия И1:

- 1.КА + ТО (в момент пуска R(I2)) + пуск (после реализации ТО (от И2)) + ГО( $t_k$ );
- 2.ТО + пуск + ГО( $t_k$ ).

#### траекторные стратегии И2:

1.КА + пуск + КА + ГО( $t_k$ );

2.КА + пуск + ТО (от И1 после своего пуска и до конца наведения своей ракеты) + ГО( $t_k$ ).

Визуально сочетание траекторных тактик для ПрС/С «Нападение» и ПрС/С «Защита с нападением» можно представить в виде таблицы:

Сочетание траекторных тактик.

Таблица 2.

Тактики	Первая для И2	Вторая для И2
Первая для И1	✓	
Вторая для И1		✓

Условия завязки боя.

Таблица 3.

Исходные данные	И1	И2
Высота полета, м	5000	5000
Скорость полета, м/с	400	400
Дальность между истребителями, м	30000	
Угол курса ( $\psi$ ), град	0	180
Полигонная эффективность ракеты	0,7	0,7
Пуск из ППС/ЗПС	ППС	ППС
Характеристики САП:		
Р (САП)	0,3	0,3
r (САП)	5	5

При вычислении вероятностей исходов боя, для упрощения расчетов и сведения поставленной задачи к исследованию оптимальности используемых тактических приемов, примем следующие допущения:

- с борта каждого истребителя производится пуск только одной ракеты;
- оба противника ставят помехи только второй и четвертой очереди: САП I и САП IV, с одинаковыми параметрами;
- самолет-истребитель будем считать сбитым, если значение промаха (конечная дальность между нашим самолетом и ракетой противника)  $h \leq 20$  м;
- при срыве наведения ракеты будем полагать ее полигонную эффективность поражения равной нулю.

САП I – применяется после обнаружения цели, воздействуя на неё с целью сорвать наведение ракеты противника (внесение погрешности при вычислении противником вектора дальности), при этом отсутствует пуск как нашей ракеты, так и ракеты противника.

САП IV – применяется при срабатывании ГСН ракеты противника (противодействие наведению ГСН). После окончания полета своей ракеты (до окончания полета ракеты противника).

Проведем расчет вероятностей исходов боя в имитируемом воздушном бою по следующим формулам, учитывающим все допущения:

$$P_1 = P_{\text{полиг}Pu2} \cdot (1 - P_{\text{САП}}(И1, I))^{r_{\text{САП}}(И1, I)} \quad (7),$$

$$P_2 = P_{\text{полиг}Pu1} \cdot (1 - P_{\text{САП}}(И2, I))^{r_{\text{САП}}(И2, I)} \quad (8),$$

где  $P_{\text{полиг}Pu_j}$  - полигонная вероятность ракеты  $I_j$ ,  $P_{\text{САП}}(И1, I)$  - вероятность срыва наведения атакующей ракеты, при наведении которой ей был поставлен один полный цикл помех с истребителя  $I_i$ ,  $r_{\text{САП}}_{ij}$  - количество циклов помех, поставленных с  $I_i$  до пуска своей ракеты.

Основной задачей дальнего воздушного боя является поражение самолета противника при условии сохранения своего самолета. Эта задача содержит в себе внутренние противоречия. С точки зрения «нападения» и «обороны» стратегия летчика должна быть различной, поэтому для выигрыша воздушного боя необходимо построить такую стратегию ведения боя, которая была бы чувствительна к меняющимся условиям боя [5].

Для обеспечения победы в ДБВ, для выработки оптимального поведения нашего самолета – необходима оценка эффективности ДБВ. Для любых начальных условий, а так же траекторных стратегий выдаваемых БОСЭС (для И1), рекомендуется определять значение критерия эффективности. По его величине можно будет судить об оптимальности выбранной стратегии и о необходимости изменения таких параметров, как выбор маневра, постановка помех и пр.

$$F(P_1, P_2) = P_2 - P_1 \quad (9)$$

Приведенное выше соотношение, равное разности вероятностей поражения истребителя противника (И2) и нашего истребителя (И1) соответственно, называется показателем эффективности. Для повышения эффективности ведения дальнего воздушного боя (1x1) необходимо максимизировать данный показатель по вероятности поражения  $P_2$ . Критерий оценки эффективности ДБВ 1x1:

$$\text{Max}_{P_2} \{F(P_1, P_2)\} \quad (10)$$

Выбор дальности пуска ракеты выбирается согласно критерию минимума-максимума. После того, как наш истребитель (И1) пустит свою ракету R(И1), истребитель противника (И2) сможет «выбрать» оптимальную дальность пуска своей ракеты R(И2). По строкам

данной таблицы (Таблица 4.) выбирается минимум. Это характеризует самое плохое для нас поведение противника (И2). А по последнему столбцу данной таблицы выбираем максимум – максимум вероятности нашей победы. Далее в таблице отыскивается значение дальности по соответствующим вероятностям и на широкоформатном коллиматорном авиационном индикаторе лётчика высвечивается оптимальная дальность пуска своей ракеты и предполагаемая дальность пуска ракеты противником.

Таблица критерия F для ПрС/С «Нападение».

Таблица 4.

D(I1)/D(I2)	34000	31000	28000	25000	22000	19000	16000	13000	10000	7000		
34000	0	0	0	0	-0,7	0	0	0	0	0	34000	-0,7
31000		0	0	0	0	-0,7	0	0	0	0	31000	-0,7
28000			0	0	0	0	0	0	0	0	28000	0
25000				0	0	0	0	0	0	0	25000	0
22000					0	0	0	0,7	0,7	0,7	22000	0
19000						0	0,7	0,18	0,7	0,7	19000	0
16000							0,7	0,7	0,14	0,7	16000	0,14
13000								0,16	0,23	0,02	13000	0,02
10000									0,1	0,14	10000	0,1
7000										0,03	7000	0,03
											10000	0,14

### Результаты моделирования

Общий результат моделирования дальнего воздушного боя противоборствующих ЛА, при условии отсутствия интеллектуальной системы поддержки экипажа на борту нашего истребителя, по всем сериям расчетов удобно представить в виде таблицы:

Результаты моделирования.

Таблица 5.

Сочетание траекторных стратегий	Пр С/С	«Нападение»		«Защита с нападением»	
	Начальная скорость И1/И2				
Первое	250	0,04	0,03	0	0
	400	0,02	0,03	0,01	0,01
Второе	250	0	0	0,01	0,01
	400	0,01	0,04	0	0

Ниже приводятся результаты повторного моделирования ДБВ 1х1 для случая, когда летчик нашего истребителя получает рекомендации БОСЭС и подтверждает их реализацию органами управления на ИУП кабины самолета.

Таблица №6 отражает предполагаемый исход воздушного боя противников, в котором истребитель И1 оказывается в проблемной субситуации «Нападение» и использует первое сочетание траекторных стратегий.

Результаты моделирования. Таблица 6.

Сочетание траекторных стратегий	Пр С/С	«Нападение»	
	Начальная скорость И1/И2		
Первое	250	0,17	0,22
	400	0,34	0,26

Моделируя различные ситуации развития дальнего воздушного боя, варьируя начальные параметры можно получить не только оптимизацию стратегии летчика в конкретной типовой боевой ситуации, но и добиться роста эффективности ДБВ в целом.

### Заключение

Процесс принятия решений летчиком требует быстрого качественно-количественного анализа большого объема имеющейся информации, которая часто оказывается неполной или неточной. При этом оператору необходимо время не только на выработку самого решения, а также на поиск и восприятие получаемой информации. Проведение такого анализа на достаточно глубоком уровне летчиком самостоятельно, без аппаратной поддержки, весьма проблематично в условиях работы, связанной с дефицитом времени и сверхэкстремальной психологической напряженностью. Система поддержки принятия решений помогает упростить задачу летчика, а так же способствует автоматизированию процесса управления авиационным комплексом.

Проведено моделирование, которое позволило оценить эффективность работы системы интеллектуальной поддержки. По итогам анализа результатов моделирования, установлено, что при выполнении летчиком рекомендаций, выдаваемых БОСЭС в ходе ведения ДБВ 1х1, вероятность выживания самолета значительно повышается.

Разработанные материалы будут использованы при формировании программного обеспечения информационно-управляющей системы (ИУС) современных истребителей, что позволит существенно повысить его эффективность в дальних воздушных боях.

## **Список используемых источников**

1. Стефанов В.А., Федунов Б.Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы (БОСЭС) типовых ситуаций функционирования антропоцентрических (технических) объектов. // Уч. пос. – М.: Изд-во МАИ, 2006.
2. Демкин М.А., Тищенко Ю.Е., Федунов Б.Е. Базовая бортовая оперативно советующая система для дуэльной ситуации дальнего воздушного боя // Известия РАН. Теория и системы управления, 2008, № 4.
3. Оркин Б.Д., Оркин С.Д., Прохоров И.А. Имитационное моделирование воздушного боя истребителей: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 340 с.:ил.
4. Васильев С.Н., Жерлов А.Л., Федосов Е.А., Федунов Б.Е., Интеллектуальное управление динамическими системами. – М: Физико-Математическая литература, 2000
5. Гришин А.П., Оркин С.Д., Пичкур Е.А. Эффективность действий самолетов. – М.: Изд-во МАИ, 1989. – 84с.:ил.

## **Сведения об авторах**

Архипова Ольга Владимировна, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета),  
тел.: 8(916)802-32-78, [archipovaolgane@rambler.ru](mailto:archipovaolgane@rambler.ru).