

## **Новое решение задачи индикационного обеспечения режима интеллектуальной поддержки летчика**

О.В. Архипова

### **Аннотация**

Целью исследования рассматриваемой работы стало формирование новой концепции отображения результатов функционирования интеллектуальной системы, а так же обоснование эффективности использования предложенного варианта индикационного обеспечения.

В работе приводится аналитический расчет временных затрат оператора и среднеквадратичное отклонение общего времени для трех сопоставляемых друг другу ситуаций, представляющих собой один и тот же фрагмент дальнего воздушного боя.

### **Ключевые слова**

интеллектуальная система поддержки; экспертная система; дальний воздушный бой; индикационное обеспечение; информационно управляющее поле; рекомендации летчику; логика работы «летчик - бортовая аппаратура»; граф решений оператора; расчет временных затрат

### **Введение**

На рубеже создания перспективных авиационных комплексов (АК), прохождения ими летных испытаний и наращивания комплексов бортового оборудования, в процессе перехода к полной автоматизации управления самолетом, работа в направлении интеллектуальной поддержки летчика становится как никогда актуальной не только в ближайшем будущем, но уже и на сегодняшний день. Речевые оповещения летчика, удобное в эксплуатации индикационное обеспечение режима поддержки, снижение временных затрат на анализ сложившейся боевой ситуации: восприятия необходимых сигналов, выработка решения и его последующая реализация, - все это способствует превосходству наших самолетов в воздухе.

В настоящее время бортовые экспертные системы (БЭС) проходят первый этап своего развития. Они достаточно широко представлены своими техническими проектами с фрагментарным макетированием на лабораторной вычислительной технике и

теоретическими исследованиями проблем соответствующих предметных областей. Сравнительно меньше серьезных прототипов, способных функционировать в реальной бортовой информационной среде приближенного к реальным условиям сценария изменения внешней обстановки. Единичные БЭС в виде прототипа доведены до натуральных испытаний.

Разработка бортового алгоритмического и индикационного обеспечения (АиИО) функционирования сложной человеко-машинной системы управления предполагает, что для решения каждой задачи применяется соответствующая структура бортовых алгоритмов [1]. Отыскание адекватных бортовых алгоритмов (и их структур), как правило, ведется через постановку и исследование соответствующих оптимизационных задач. Среди прочих нас интересуют игровые задачи выбора оптимальных «ответов» при функционировании динамических систем в недружественных (особенно конфликтных) средах с быстроменяющимися условиями.

### **Постановка задачи**

Программное и алгоритмическое обеспечение АК непрерывно совершенствуется. Активная обработка большого количества сигналов как полученная на собственном борту, так и извне, обеспечивает интеллектуальную систему (ИС) всеми необходимыми для ее работы данными. Но вместе с тем возникает вопрос о том, как оптимально использовать получаемые в экспертной системе (ЭС) данные, адекватно выдавая рекомендации экипажу в процессе всего времени функционирования антропоцентрического объекта. Эта проблема уже имеет, описанные в других источниках, пути решения [2].

В работе содержится предложение по индикационному обеспечению режима поддержки экипажа, заключающееся в отображении некоторых выходных параметров экспертной системы - рекомендаций ЭС, на многофункциональном индикаторе (МФИ), входящий в состав информационно управляющего поля (ИУП) кабины самолета. Помимо этого, часть рекомендаций, в зависимости от создавшейся напряженной обстановки в воздухе, будет дублироваться в виде речевых информаторов.

В интересах эффективности предложенного варианта индикационного обеспечения режима интеллектуальной поддержки летчика в работе был проведен аналитический расчет временных затрат оператора (летчика) на реализацию фрагмента дальнего воздушного боя (ДВБ) для трех различных вариантов оснащения истребителя в части ИУП кабины при идентичных начальных условиях завязки боя. Расчет производился, основываясь на «Методике оценки реализуемости графа решений оператора антропоцентрического объекта

при разработке алгоритмов бортового интеллекта», разработанной профессором д.т.н. Федуновым Б.Е.

Методика оценки фрагментов графа решений оператора (ГРО) ориентирована на использование ее на начальных этапах системного проектирования бортового алгоритмического и индикационного обеспечения функционирования антропоцентрического объекта (перспективного авиационного комплекса). На основе полученных данных можно судить об эффективности применения представленного в работе варианта индикации для интеллектуальной системы поддержки экипажа.

### Индикационное обеспечение режима интеллектуальной поддержки

Вопрос индикационного обеспечения режима интеллектуальной поддержки летчика находится в «ОКБ Сухого» на стадии разработки.



Рис. 1. Фрагмент многофункционального индикатора

На данном этапе, параметры, выдаваемые экспертной системой, инициализируются на ИЛС, который и без того перегружен информацией. При этом современные истребители имеют на своем борту многофункциональные индикаторы (МФИ), использующиеся для предоставления всей необходимой летчику информации. На МФИ, в частности, размещается кадр тактической обстановки, на котором было бы удобно размещать некоторые рекомендации ЭС в виде транспарантов с краткими сообщениями.

Ниже приводится фрагмент «Логике работы системы «летчик – бортовая аппаратура», касающийся непосредственно взаимодействия летчика с информационно-управляющим полем кабины истребителя. Диалоговые режимы реализовываются посредством оперативных органов управления (ООУ), через которые происходит: выбор режима функционирования ИС; анализ рекомендаций ИС; подтверждение согласия летчика на выполнение стратегии поведения истребителя, выбранной ИС, в сложившейся ситуации дальнего воздушного боя; после чего реализуются рекомендованные алгоритмы управления самолетом.

Летчик, применяя рекомендации ИС, работает со штатной аппаратурой борта. В Логике «летчик – бортовая аппаратура», разбираемой в интересах ДБВ, как базового режима применения АБК, используются такие органы управления ИУП кабины самолета, как:

- четырехпозиционный переключатель на ручке управления самолетом (ЧПП-РУС);

- многофункциональная кнопка (МФК) «принять рекомендацию» - МФК «РЕКЦ»;
- МФК «Передача на борт ближайшего подчинения» (универсальная для всех этапов полета) – МФК «ПББП»;
- МФК «ДУЭЛ» - для ситуации «Дуэль»;
- МФК «NхN», (формирование режима работы интеллектуальной системы поддержки);
- Боевая кнопка (БК) на РУС.

МФК «ДУЭЛ» и МФК «NхN» между собой функционируют в режиме «галетник», что логически обосновывается с точки зрения работы интеллектуальной системы в режиме «Дуэль», либо в одном из трех оставшихся режимах работы ИС: 1 наш истребитель против пары истребителей противника, 2 наших истребителя против одиночного истребителя противника и режим «2х2».

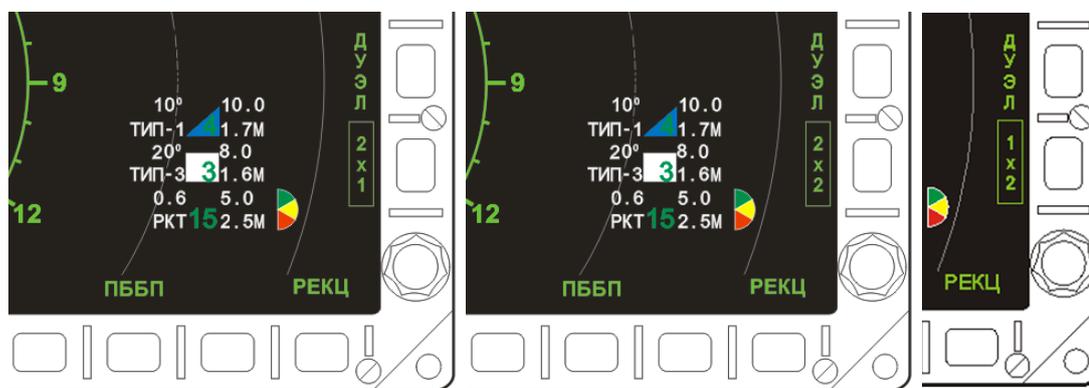


Рис. 2. Иллюстрации вариантов режима работы экспертной системы

Интеллектуальная система поддержки летчика в режиме боевого применения (БП) – ДБВ, для ситуации воздушного противоборства один на один включается МФК «ДУЭЛЬ». До включения ИС 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.

### Интеллектуальная поддержка летчика в режиме «Дуэль»

В случае, когда противник совершил пуск своей ракеты, в правом нижнем углу кадра ТО на МФИ напротив параметров ракеты появляется полукруг с тремя секторами разного цвета. Как говорилось выше, зеленый сектор соответствует наступательным маневрам летательного аппарата (ЛА). Желтый и красный – секторы режима обороны, и соответствуют маневрам уклонения от ракеты противника. При этом, когда ИС выдает рекомендацию с одним из этих отворотов, соответствующий ему сектор начинает мигать, а на коллиматорном

авиационном индикаторе (КАИ) выдается направление предложенного маневра. Если летчик соглашается с рекомендацией ИС, то индикатор указанного отворота начинает гореть устойчиво. Стоит так же заметить, что все три сектора инициализируются на кадре МФИ только в режиме «галетник».

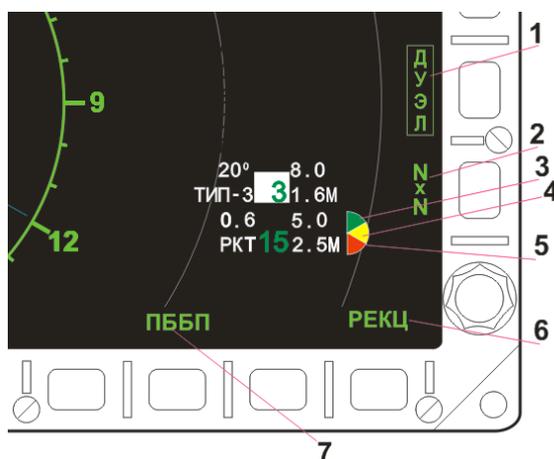


Рис. 3. Иллюстрация нового индикационного решения.

Где: 1 – МФК для ситуации «Дуэль»; 2 – МФК для выбора режима функционирования ИС; 3 – символ маневра, соответствующего наступательным действиям нашего истребителя, в частности кривой атаки; 4 – символ тактического отворота, маневра с сохранением информационного контакта с целью; 5 – символ гарантированного отворота, маневра без сохранения информационного контакта с целью; 6 – МФК «Принять рекомендацию»; 7 – МФК «Передача на борта ближайшего подчинения».

При согласии с предлагаемым тактическим приемом лётчик включает МФК «РЕКЦ» (Принять рекомендацию). При этом на ИТО появляются признаки параметров тактического приёма, вырабатываемые ИС. Также лётчику выдаются рекомендации по пуску своей ракеты, при этом в левом верхнем углу кадра тактической обстановки (ТО) на МФИ появляется рекомендация «Эффективный пуск ракеты», означающая, что летчик вошел в зону разрешенных пусков и может совершить пуск своей ракеты с эффективной дальности Дэф. Так же обязательным условием появления данной рекомендации является наличия символа «ПР» (пуск разрешен) на коллиматорном авиационном индикаторе.



Рис. 4. Пример рекомендации интеллектуальной системы

Где: 8 – рекомендация экспертной системы.

Если лётчик не принимает рекомендации, система продолжает работать и выдавать оптимальную дальность пуска на «реальный» момент времени в соответствии со складывающейся тактической обстановкой.

### Траекторное управление

До принятия решения экипажем траекторной рекомендации ИС на самолете реализуется траектория атаки («кривая атаки» и др.) по главной цели приоритетного ряда. По мере необходимости на КАИ появляются мигающие рекомендации на вид и направление рекомендуемого маневра:



Рис. 5. Возможные направления рекомендуемого маневра

Символ «МНВ» - заменяются видом предлагаемого ИС маневра: к примеру, кривая атаки, тактический или гарантированный отворот. Стрелками показывается направление выбранного маневра в горизонтальной или вертикальной плоскостях. В случае если на КАИ одновременно появятся горизонтальная и вертикальная составляющие маневра, то это будет означать фигуру, выполняемую в пространстве, в соответствующем обоим стрелкам аппроксимирующем направлении. Дополнительно, в левом верхнем углу кадра ТО на МФИ появляется текст рекомендации, аналогичный названию маневра, выводимого на КАИ.

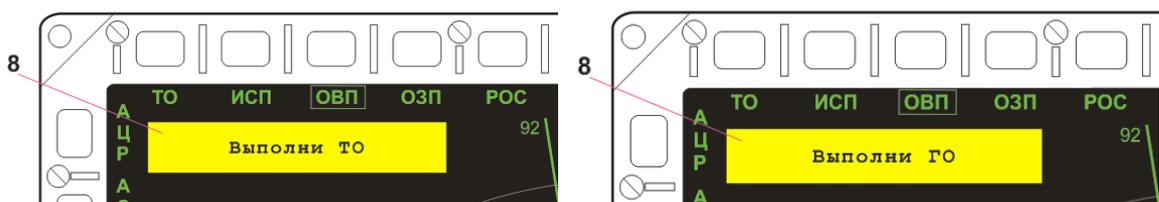


Рис. 6. Пример рекомендации, выдаваемой экспертной системой

Если лётчик согласен с рекомендациями ИС, он нажимает кнопку «РЕКЦ» – «Принять рекомендацию», расположенную на МФИ в правом нижнем углу кадра ТО. Принятая рекомендация, отображающаяся на КАИ, начинает гореть устойчиво. Реализуются рекомендованные алгоритмы управления самолетом.

## **Обоснование эффективности использования предложенного варианта индикационного обеспечения интеллектуальной поддержки режима БП - ДБВ**

В интересах эффективности предложенного варианта индикационного обеспечения режима интеллектуальной поддержки летчика, основываясь на «Методике оценки реализуемости графа решений оператора антропоцентрического объекта при разработке алгоритмов бортового интеллекта», проведем расчет временных затрат оператора на реализацию планируемой работы, которую он будет выполнять на борту перспективного истребителя.

### **Принятые в работе допущения и описание методики расчета**

Возьмем идентичные условия завязки дальнего воздушного боя и поставим перед собой задачу проанализировать временные затраты оператора для трех ситуаций, когда:

- на борту истребителя нет интеллектуальной системы,
- выходная информация ИС отображается на КАИ,
- выходная информация ИС отображается на МФИ.

Под условиями завязки боя будем понимать нахождения нашего истребителя в проблемной ситуации «нападение», характеризующейся отсутствием пуска ракеты противником и занятием тактически выгодного положения, позволяющее совершить упреждающий пуск своей ракеты [3]. В качестве авиационного комплекса, на борту которого нет интеллектуальной системы, рассмотрим информационно управляющее поле кабины истребителя F-16. При аналитическом расчете принято допущение, что летчик, взаимодействуя с ИУП кабины самолета, не получает речевых сообщений. Соответственно временные затраты на их восприятие и осмысления не учитываются.

Алгоритмы деятельности экипажа (АДЭ) при системном проектировании бортового интеллекта представляются в виде графа решений оператора (ГРО), вершины которого – принимаемые оператором решения, а дуги - причинно-следственное отношение вершин. Все решения ГРО относятся либо к классу перцептивно-опознавательных решений ( $\pi$ -решения), либо к классу речемыслительных решений ( $\rho$ -решений). Класс  $\pi$ -решений характеризуется только временем на поиск, восприятие и осмысление оператором необходимой информации. Процесс принятия решения происходит мгновенно. Общее время принятия  $\rho$ -решения (речемыслительного решения) является суммой времени на восприятие оператором необходимой информации, которое включает в себя собственно восприятие информации, осмысление информации и времени на выработку решения. При проектировании

деятельности оператора (ГРО) оно характеризуется через состав информации, на основании которой оператор должен принять это решение и через алгоритм принятия решения [4].

Алгоритм принятия решения записывается в форме, выделяющей элементарные акты выработки решения (ЭАВР), которыми могут быть: простейшие арифметические действия, упорядочение геометрических объектов по определённым признакам, сравнение нескольких цифровых формуляров. Процесс принятия решения начинается с этапа восприятия (собственно этапа восприятия и этапа осмысления) оператором необходимой информации, которому может предшествовать предварительный информационный поиск нужной оператору информации. Принятое решение оператор реализует выполнением  $n_{руч}$  ручных операций. Примем время выполнения одной ручной операции  $\tau_{руч} = 0,5$  с. Время затраченное оператором на выработку и реализацию  $i$ -го  $\pi$ -решения будет равно:

$$\bar{\tau}_i(\pi) = \bar{\tau}_i(\pi) + 0,5 * n_{руч} i \quad (1)$$

где:  $\tau$ - математическое ожидание времени выполнения с размерностью [с], индекс “ $i$ ” указывает на конкретику оцениваемого решения,  $n_{руч} i$  – число ручных операций, выполняемых оператором при реализации  $i$ -го решения. Общее время  $\tau(\rho)$ , затраченное оператором на принятие и реализацию  $\rho$ -решения, определяется в виде:

$$\tau(\rho) = \tau_p + \tau_{лп} + \sum_{i=1}^N \tau_{\phi i} + \sum_{i=1}^N \text{ЭАВР} + 0,5 * n_{руч} \quad (2)$$

$$\sigma(\rho) = \sqrt{\sum_j \sigma_j^2} \quad (3)$$

$$T_{фраг} = \sum \bar{\tau}_i + \tau_{отр \Sigma} + 3 \sqrt{\sum \sigma_i^2 + (0,3 * \tau_{отр \Sigma})^2} \quad (4)$$

Где:  $\sigma_j$  – среднеквадратическое отклонение каждого слагаемого (времени выполнения) вышеприведенной формулы для  $\tau(\rho)$  с размерностью [с];  $\tau_i$  – времена выполнения решений, входящих в исследуемый фрагмент;  $\tau_{отр \Sigma} = \Sigma(\tau_{отр.})$  – время, затраченное оператором на процессы слежения, которые оператор выполнял в этом фрагменте (при оптимальном расположении интервалов слежения);  $\sum \sigma_i^2$  – сумма квадратов среднеквадратических отклонений АДЭ, входящих в рассматриваемый фрагмент ГРО;  $0,3 \tau_{отр \Sigma}$  – среднеквадратическое отклонение суммарного времени слежения.

Граф решений  
оператора в случае  
отсутствия ИС на борту  
ЛА

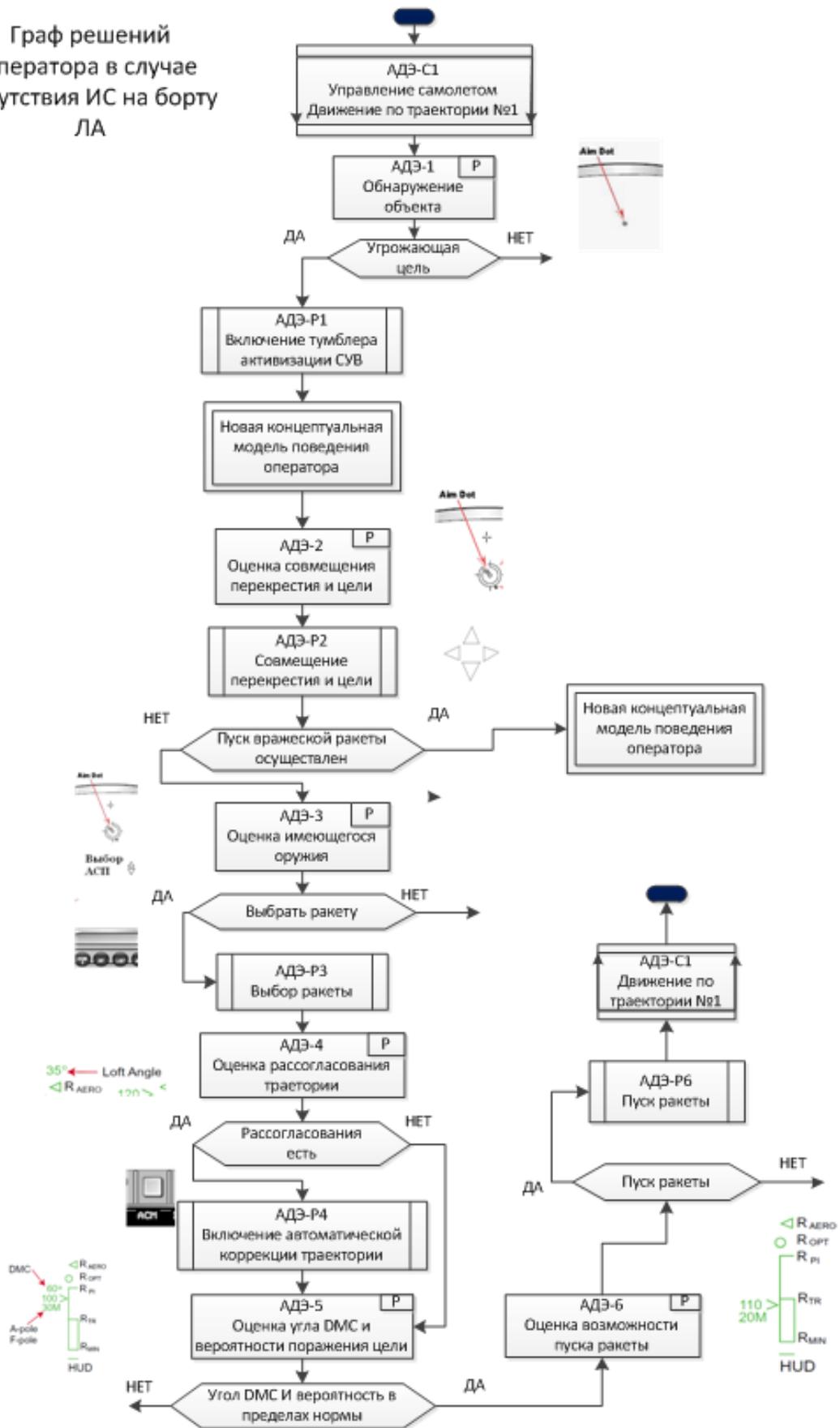


Рис. 7. Граф решений оператора для первой моделируемой ситуации

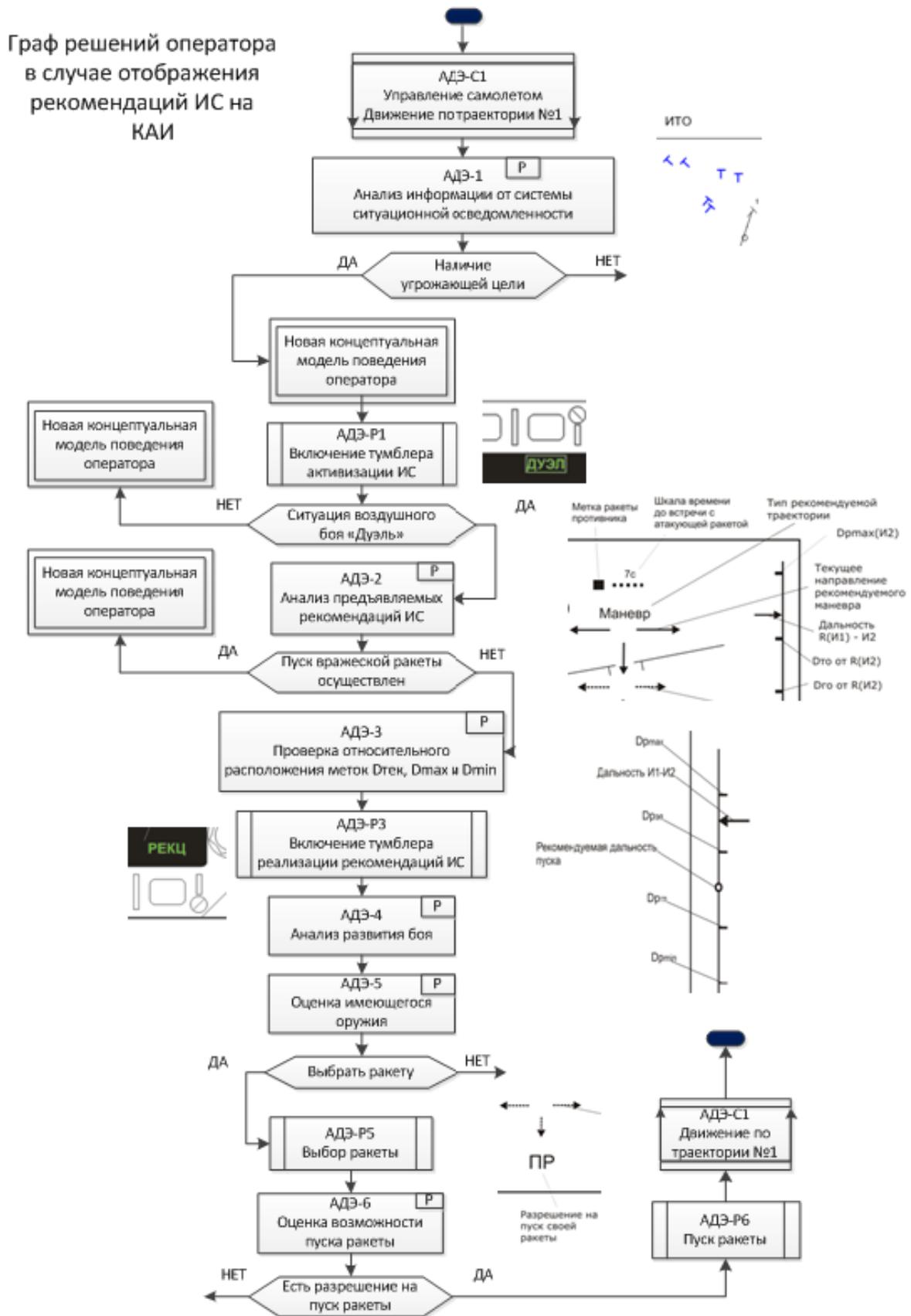


Рис. 8. Граф решений оператора для второй моделируемой ситуации

Граф решений оператора  
в случае отображения  
рекомендаций ИС на  
левом МФИ

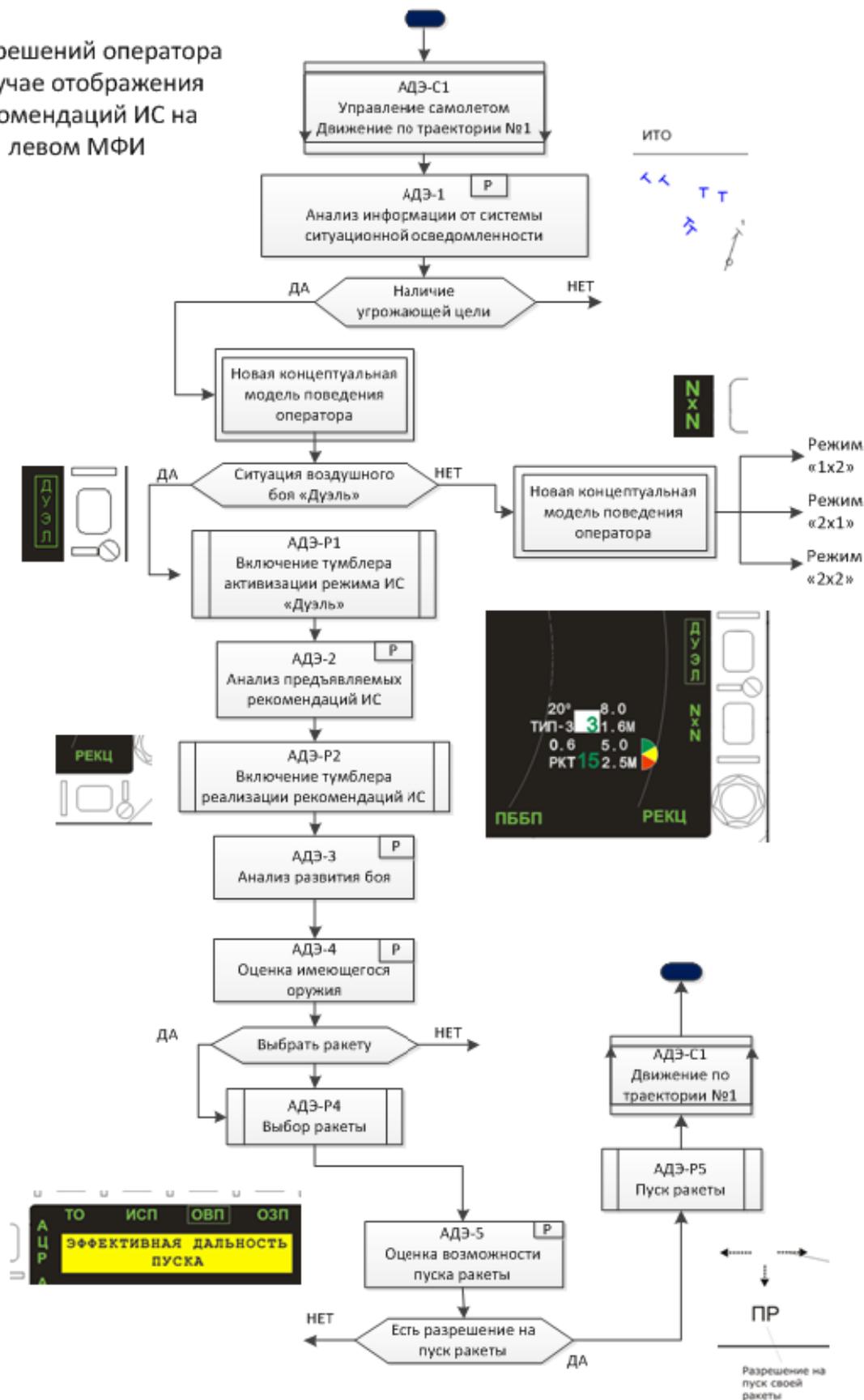


Рис. 9. Граф решений оператора для третьей моделируемой ситуации

## **Аналитический расчет временных затрат оператора для указанных выше ситуаций**

Для каждой было получено общее время, затраченное оператором на один и тот же фрагмент ГРО (в соответствии с условиями анализируемой ситуации) и среднее квадратичное отклонение общего времени.

Оценка ГРО для первой моделируемой ситуации, когда на борту истребителя нет интеллектуальной поддержки летчика в режиме БП

### АДЭ-1: Обнаружение объекта

Речемыслительный алгоритм (р - решение)

1. Этап обнаружения и восприятия необходимых сигналов. ОЕВ (оперативные единицы восприятия): наличие на индикаторе ИУП символа «Aim dot».

$t_p = 0,18\text{с}$ ,  $\sigma_p = 0,2$  - рефлекторные раздражения [5];

$t_{лп} = 0,1\text{с}$ ,  $\sigma_{лп} = 0,03$  (латентный период),  $t_{ф} = 0,3\text{с}$ ,  $\sigma_{ф} = 0,09$  - восприятие информации.

Общее время ( $\tau_{\text{обн-вос}}$ ) на весь процесс «обнаружение-восприятие»:

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$$

2. ЭАВР - решение комбинаторной логической задачи:  $\tau = 4\text{с}$ ,  $\sigma = 1,2$

Общее время ( $\tau_{\text{выр/р}}$ ) на выработку р-решения:

$$\tau_{\text{выр/р}} = 4 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (1,2^2)^{0,5} = 1,2$$

3. Этап реализации принятого решения:

Ручная операция: одна

Общее время на принятие решения  $\tau_{\text{АДЭ-1}}$  в АДЭ-1:

$$\tau_{\text{АДЭ-1}} = \tau_{\text{обн-восп}} + \tau_{\text{выр/р}} + 0,5 \cdot 1 = 0,58 + 4 + 0,5 = 5,08 \text{ с}$$

Среднеквадратическое отклонение  $\tau_{\text{АДЭ-1}}$ :

$$\sigma_{\text{АДЭ-1}} = (\sigma_{\text{обн-восп}}^2 + \sigma_{\text{выр/р}}^2)^{0,5} = (0,11^2 + 1,2^2)^{0,5} = (1,4521)^{0,5} = 1,21 \text{ с}$$

$$\tau_{\text{АДЭ-1 общ}} = 5,08 + 0,3 \cdot 1,21 = 5,443 \text{ с}$$

На активизацию новой концептуальной модели из долговременной памяти оператору в среднем нужно 1,2 с, при среднеквадратическом отклонении  $\sigma = 0,2 \text{ с}$

### АДЭ-2 : Оценка совмещения перекрестия и цели

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$$

$$\tau_{\text{выр/р}} = 0,7 + 0,66 = 1,36 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,1^2 + 0,21^2)^{0,5} = 0,23$$

Ручная операция: одна

Общее время на принятие решения в АДЭ-2:  $\tau_{\text{АДЭ-2}} = 2,44$  с

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-2}} = 0,25$  с

$$\tau_{\text{АДЭ-2 общ}} = 2,44 + 0,3 * 0,25 = 2,515 \text{ с}$$

#### АДЭ-3: Оценка имеющегося оружия

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$$

$$\tau_{\text{выр/р}} = 6 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,31^2)^{0,5} = 0,31$$

Ручная операция: одна

Общее время на принятие решения в АДЭ-3:  $\tau_{\text{АДЭ-3}} = 7,08$  с

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-3}} = 0,33$  с

$$\tau_{\text{АДЭ-3 общ}} = 7,08 + 0,3 * 0,33 = 7,18 \text{ с}$$

#### АДЭ-4: Оценка рассогласования траектории

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,2 = 0,48 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,07^2)^{0,5} = 0,09$$

$$\tau_{\text{выр/р}} = 0,38 \text{ с}$$

Ручная операция: одна

Общее время на принятие решения в АДЭ-4:  $\tau_{\text{АДЭ-4}} = 1,36$  с

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-4}} = 0,09$  с

$$\tau_{\text{АДЭ-4 общ}} = 1,36 + 0,3 * 0,09 = 1,387 \text{ с}$$

#### АДЭ-5: Оценка угла ДМС и вероятности поражения цели

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,2 + 0,2 = 0,68 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,07^2 + 0,07^2)^{0,5} = 0,12$$

$$\tau_{\text{выр/р}} = 0,66 + 0,38 + 0,38 = 1,42 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,21^2)^{0,5} = 0,21$$

Ручная операция: нет

Общее время на принятие решения в АДЭ-5:  $\tau_{\text{АДЭ-5}} = 2,1$  с

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-5}} = 0,24$  с

$$\tau_{\text{АДЭ-5 общ}} = 2,1 + 0,3 * 0,24 = 2,17 \text{ с}$$

#### АДЭ-6: Оценка возможности пуска ракеты

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$$

$$\tau_{\text{выр/р}} = 2,5 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,2^2)^{0,5} = 0,2$$

Ручная операция: одна

Общее время на принятие решения в АДЭ-6:  $\tau_{\text{АДЭ-6}} = 3,58 \text{ с}$

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-6}} = 0,23 \text{ с}$

$\tau_{\text{АДЭ-6 общ}} = 3,58 + 0,3 * 0,23 = 3,65 \text{ с}$

**Суммарное время, затрачиваемое оператором в первой моделируемой ситуации:**

$\tau_{\text{общ}} = 5,443 + 1,2 + 2,515 + 7,18 + 1,387 + 2,17 + 3,65 = 23,544 \text{ с}$

Оценка ГРО для второй моделируемой ситуации, когда рекомендации ИС отображаются на КАИ

АДЭ-1: Анализ информации от системы ситуационной осведомленности

$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$

$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$

$\tau_{\text{выр/р}} = 4 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (1,2^2)^{0,5} = 1,2$

Ручная операция: одна

Общее время на принятие решения в АДЭ-1:  $\tau_{\text{АДЭ-1}} = 5,08 \text{ с}$

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-1}} = 1,21 \text{ с}$

$\tau_{\text{АДЭ-1 общ}} = 5,08 + 0,3 * 1,21 = 5,443 \text{ с}$

На активизацию новой концептуальной модели из долговременной памяти оператору в среднем нужно 1,2 с, при среднеквадратическом отклонении  $\sigma = 0,2 \text{ с}$

АДЭ-2 : Анализ предъявляемых рекомендаций ИС

$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$

$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$

$\tau_{\text{выр/р}} = 0,66 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,21^2)^{0,5} = 0,21$

Ручных операций на реализации решения в АДЭ-2 нет

Общее время на принятие решения в АДЭ-2:  $\tau_{\text{АДЭ-2}} = 1,24 \text{ с}$

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-2}} = 0,237 \text{ с}$

$\tau_{\text{АДЭ-2 общ}} = 1,24 + 0,3 * 0,237 = 1,311 \text{ с}$

АДЭ-3: Проверка относительного расположения меток Dтек, Dmax и Dmin.

$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$

$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$

$\tau_{\text{выр/р}} = 0,29 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,11^2)^{0,5} = 0,11$

Ручная операция: одна

Общее время на принятие решения в АДЭ-3:  $\tau_{\text{АДЭ-3}} = 1,37 \text{ с}$

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-3}} = 0,156 \text{ с}$

$\tau_{\text{АДЭ-3 общ}} = 1,37 + 0,3 * 0,156 = 1,417 \text{ с}$

АДЭ-4: Анализ развития боя

$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$

$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$

$\tau_{\text{выр/р}} = 0,7 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,1^2)^{0,5} = 0,1$

Ручных операций на реализации решения в АДЭ-4 нет

Общее время на принятие решения в АДЭ-4:  $\tau_{\text{АДЭ-4}} = 1,28 \text{ с}$

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-4}} = 0,149 \text{ с}$

$\tau_{\text{АДЭ-4 общ}} = 1,28 + 0,3 * 0,149 = 1,325 \text{ с}$

АДЭ-5: Оценка имеющегося оружия

$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$

$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$

$\tau_{\text{выр/р}} = 6 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,31^2)^{0,5} = 0,31$

Ручная операция: одна

Общее время на принятие решения в АДЭ-5:  $\tau_{\text{АДЭ-5}} = 7,08 \text{ с}$

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-5}} = 0,33 \text{ с}$

$\tau_{\text{АДЭ-5 общ}} = 7,08 + 0,3 * 0,33 = 7,18 \text{ с}$

АДЭ-6: Оценка возможности пуска ракеты

$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$

$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$

$\tau_{\text{выр/р}} = 2,5 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,2^2)^{0,5} = 0,2$

Ручная операция: одна

Общее время на принятие решения в АДЭ-6:  $\tau_{\text{АДЭ-6}} = 3,58 \text{ с}$

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-6}} = 0,23 \text{ с}$

$\tau_{\text{АДЭ-6 общ}} = 3,58 + 0,3 * 0,23 = 3,65 \text{ с}$

***Суммарное время, затрачиваемое оператором во второй моделируемой ситуации:***

**$\tau_{\text{общ}} = 5,443 + 1,2 + 1,311 + 1,417 + 1,325 + 7,18 + 3,65 = 21,526 \text{ с}$**

Оценка ГРО для третьей моделируемой ситуации, когда рекомендации ИС отображаются на МФИ

АДЭ-1: Анализ информации от системы ситуационной осведомленности

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$$

$$\tau_{\text{выр/р}} = 4 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (1,2^2)^{0,5} = 1,2$$

Ручная операция: одна

$$\text{Общее время на принятие решения в АДЭ-1: } \tau_{\text{АДЭ-1}} = 5,08 \text{ с}$$

$$\text{Среднеквадратическое отклонение: } \sigma_{\text{АДЭ-1}} = 1,21 \text{ с}$$

$$\tau_{\text{АДЭ-1 общ}} = 5,08 + 0,3 * 1,21 = 5,443 \text{ с}$$

На активизацию новой концептуальной модели из долговременной памяти оператору в среднем нужно 1,2 с, при среднеквадратическом отклонении  $\sigma = 0,2 \text{ с}$

#### АДЭ-2 : Анализ предъявляемых рекомендаций ИС

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$$

$$\tau_{\text{выр/р}} = 0,66 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,21^2)^{0,5} = 0,21$$

Ручная операция: одна

$$\text{Общее время на принятие решения в АДЭ-2: } \tau_{\text{АДЭ-2}} = 1,74 \text{ с}$$

$$\text{Среднеквадратическое отклонение: } \sigma_{\text{АДЭ-2}} = 0,237 \text{ с}$$

$$\tau_{\text{АДЭ-2 общ}} = 1,74 + 0,3 * 0,237 = 1,811 \text{ с}$$

#### АДЭ-3: Анализ развития боя

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$$

$$\tau_{\text{выр/р}} = 0,7 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,1^2)^{0,5} = 0,1$$

Ручных операций на реализации решения в АДЭ-3 нет

$$\text{Общее время на принятие решения в АДЭ-3: } \tau_{\text{АДЭ-3}} = 1,28 \text{ с}$$

$$\text{Среднеквадратическое отклонение: } \sigma_{\text{АДЭ-3}} = 0,149 \text{ с}$$

$$\tau_{\text{АДЭ-3 общ}} = 1,28 + 0,3 * 0,149 = 1,325 \text{ с}$$

#### АДЭ-4: Оценка имеющегося оружия

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$$

$$\tau_{\text{выр/р}} = 6 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,31^2)^{0,5} = 0,31$$

Ручная операция: одна

$$\text{Общее время на принятие решения в АДЭ-4: } \tau_{\text{АДЭ-4}} = 7,08 \text{ с}$$

$$\text{Среднеквадратическое отклонение: } \sigma_{\text{АДЭ-4}} = 0,33 \text{ с}$$

$$\tau_{\text{АДЭ-4 общ}} = 7,08 + 0,3 * 0,33 = 7,18 \text{ с}$$

АДЭ-5: Оценка возможности пуска ракеты

$$\tau_{\text{обн-восп}} = 0,18 + 0,1 + 0,3 = 0,58 \text{ с}$$

$$\sigma_{\text{обн-восп}} = (0,05^2 + 0,03^2 + 0,09^2)^{0,5} = 0,11$$

$$\tau_{\text{выр/р}} = 2,5 \text{ с}, \sigma_{\text{выр/р}} = (0,2^2)^{0,5} = 0,2$$

Ручная операция: одна

Общее время на принятие решения в АДЭ-5:  $\tau_{\text{АДЭ-5}} = 3,58 \text{ с}$

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_{\text{АДЭ-5}} = 0,23 \text{ с}$

$$\tau_{\text{АДЭ-5 общ}} = 3,58 + 0,3 * 0,23 = 3,6 \text{ с}$$

**Суммарное время, затрачиваемое оператором в третьей моделируемой ситуации:**

$$\tau_{\text{общ}} = 5,443 + 1,2 + 1,811 + 1,325 + 7,18 + 3,65 = 20,609 \text{ с}$$

На основе полученных данных можно судить об эффективности применения представленного в работе варианта индикации для интеллектуальной системы поддержки экипажа.

Результат аналитического расчета временных затрат оператора.

Таблица 3.

ГРО построенный для разыгрываемой ситуации «нападение» на борту	F-16	Перспективный авиационный комплекс	Перспективный авиационный комплекс
Наличие на борту самолета ИС	-	+	+
Отображение информации ИС	-	КАИ	МФИ
Уменьшение временных затрат по сравнению с F-16, [с]	-	На 2 секунды	На 3 секунды

### Заключение

Поставленная в данной работе задача имеет прямую взаимосвязь с развитием научных исследований и разработок в области интеллектуальных систем, применяющихся в авиации. Набор информации и вычислительных мощностей на борту перспективного истребителя достаточен для работы бортовой оперативно-советующей экспертной системы. В настоящий момент программный модуль ИС успешно внедрен в программный комплекс средств проектирования и исследования имитационных моделей (СПМ) и находится на стадии

тестирования. Далее предполагается работа по отработке, корректировке и согласованию дальнейшего функционирования интеллектуальной системы на стенде с экспертами.

Представленный вариант решения задачи индикационного обеспечения позволит упростить задачу летчика, способствуя дальнейшему развитию интеллектуальных систем и расширению возможностей КБО. С внедрением в среду имитационного моделирования режима интеллектуальной поддержки вместе с разработанным вариантом индикационного обеспечения появится возможность исследования взаимодействия разработанной ФГУП «ГосНИИАС» интеллектуальной системы с КБО перспективного авиационного комплекса. Это, в свою очередь, позволит оценить ее качественно-количественные характеристики, а также провести анализ АиИО ИС в плане удобства в работе, легкости в анализе информации, быстрого адаптирования к интерфейсу кабины в реальной бортовой информационной среде приближенного к реальным условиям сценария изменения внешней обстановки. Доведение бортовой экспертной системы в виде прототипа до натурных испытаний – серьезная задача нашего поколения, которая должна быть решена в ближайшем будущем.

### **Библиографический список**

1. Федунцов Б.Е. Конструктивная семантика антропоцентрических систем для разработки и анализа спецификаций алгоритмов бортового интеллекта // Известия РАН. Теория и системы управления, 1998, №5.
2. Стефанов В.А., Федунцов Б.Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы (БОСЭС) типовых ситуаций функционирования антропоцентрических (технических) объектов. // Уч. пос. – М.: Изд-во МАИ, 2006.
3. Демкин М.А., Тищенко Ю.Е., Федунцов Б.Е. Базовая бортовая оперативно советующая система для дуэльной ситуации дальнего воздушного боя // Известия РАН. Теория и системы управления, 2008, № 4.
4. Федунцов Б.Е. Методика экспресс-оценки реализуемости графа решений оператора антропоцентрического объекта на этапе разработки спецификаций алгоритмов бортового интеллекта. – М., Изв. РАН, ТиСУ. №.3, 2002.
5. Ломова Б.Ф. Справочник по инженерной психологии. – М: Машиностроение, 1982.

### **Сведения об авторах**

Архипова Ольга Владимировна, аспирант Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

тел.: 8(916)802-32-78; e-mail: [archipovaolgane@rambler.ru](mailto:archipovaolgane@rambler.ru)