

The topic of the article is the problem of applicability of the developed robust algorithms for an automatic recognition of the speech commands to the other languages in order to improve the interface of the onboard equipment of modern aircraft and other technical systems. Resistance to acoustic noise is one of the most important requirements to the on-board equipment of the voice control system. This paper describes the algorithms of parameterization of the speech signal, a method for formation of a pattern and algorithm for recognition of the individual words by comparison with the standards of words. Also, a noise resistance algorithm is described, which is based on a linear regression and application of an additional microphone, and intended to improve the acoustic noise resistance of the automatic speech command recognition. In this algorithm the mix of portraits of the recognized words and noises are compared simultaneously with the patterns and the signals from an additional microphone. The additional microphone is positioned at a distance of 0,3–0,7 m from a speaker in order to fix predominantly the acoustic noises in the cockpit. The report presents the results of several experiments for the Russian, Kazakh and Tajik languages, showing a high probability of recognition of the commands for the on-board equipment control in the conditions of additional noises with the level of 80–90 dB, which corresponds to the maximal admissible noise values in the cockpit of a modern long-range aircraft. The results also prove that the described algorithms can work well and do not require any changes for recognition of words in other languages.

**Keywords:** automatic speech recognition; noise-resistant algorithms of speech recognition; voice control of the aircraft equipment, algorithm invariant to languages

**Acknowledgements:** This work was supported by a grant from the Russian Foundation for Basic Research, project No. 12-08-00670-a.

For citation:

**Korsun O. N., Gabdrakhmanov A. Sh., Mihajlov E. I., Nahaev M. Z., Tulekbaeva A. K.** Algorithm for an Automatic Recognition of the Speech Commands, Invariant to Languages, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 9, pp. 599–604.

DOI: 10.17587/mau.16.599-604

#### References

1. **GOST 20296—81.** *Samolety i vertolety grazhdanskoi aviatsii. Dopustimye urovni shuma v salonakh i kabinakh ekipazha i metody izmeneniya shuma* (Aircraft and helicopter of civil aviation. Acceptable noise levels in flight decks and in salons and methods of noise measurement), Moscow, State Committee for Standards of the Soviet Union, 1981, 9 p.

2. **Rabiner L. R.** *Skrytye markovskie modeli i ikh primeneniye v izbrannykh prilozheniyakh pri raspoznavanii rechi* (Hidden markov models and their application in selected applications in speech recognition), *Trudy Instituta Inzhenerov po Elektrotekhnike i Radioelektronike* (TIER), 1989, 77 (2), pp. 86–120.

3. **Swietlicka I., Kuniszyk-J'ozkowiak W., Smolka E.** Artificial neural networks in the disabled speech analysis, *Proceedings of Computer Recognition System* 3, 2009, vol. 57, pp. 347–354.

4. **Korsun O. N., Gabdrakhmanov A. Sh.** *Pomekhozashchishchennyi algoritm rechevogo upravleniya bortovym oborudovaniem samoleta* (Noise resistant algorithm of voice control of aircraft equipment), *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2014, no. 4, pp. 3–7.

5. **Peinado A. M., Segura J. C.** *Speech Recognition over Digital Channels: Robustness and Standards*, NJ, John Wiley & Sons, 2006, 274 p.

6. **Rabiner L., Juang B. H.** *Fundamentals of Speech Recognition*, Prentice-Hall International, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1993, 507 p.

7. **Wisniewski M., Kuniszyk-J'ozkowiak W., Smolka E., Suszynski W.** Automatic detection of disorders in a continuous speech with the hidden Markov models approach, *Proceedings of Computer Recognition Systems* 2, 2008, vol. 15, pp. 445–453.

8. **O. Chia Ai, Hariharan M., Yaacob S., Sin Chee L.** Classification of speech dysfluencies with MFCC and LPCC features, *Expert Systems with Applications*, 2012, vol. 39, pp. 2157–2165.

УДК 004.8(075.8)

DOI: 10.17587/mau.16.604-616

**А. В. Смеюха**, студент, annatutta@gmail.com,

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),

**Б. Е. Федунов**, д-р техн. наук, проф, нач. сектора, boris\_fed@gosniias.ru,

ГосНИИАС, Москва

## Математическое моделирование процесса решения тактических задач экипажем антропоцентрического объекта

Показана возможность создания математической модели работы оператора в типовых быстрых ситуациях (ТБС) функционирования антропоцентрических объектов (пилотируемых летательных аппаратов, транспортных средств и других технических систем с операторами). Модель оператора разрабатывается для каждой ТБС и состоит из двух блоков: блока имитации бортовых алгоритмов (ИБА), поставляющих информацию на информационно-управляющее поле (ИУП) в этой ТБС, и блока ситуационного управления (БСУ), имитирующего алгоритмы деятельности оператора при имеющейся текущей информации на ИУП и с имеющимися там органами управления.

Описывается процедура совместной разработки графа решений оператора и схемы бортовых алгоритмов в ТБС, необходимых для создания упомянутой математической модели работы оператора в ТБС. Также представлена совместная разработка ИБА и БСУ.

На примере антропоцентрического объекта "Истребитель F-16М3" демонстрируется работоспособность предлагаемого подхода.

**Ключевые слова:** типовые быстрые ситуации, информационно управляющее поле, бортовое алгоритмическое и индикационное обеспечение, граф решений оператора, блок ситуационного управления, блок имитации бортовых алгоритмов

## Введение

Антропоцентрический объект (Антр/объект) — это некоторая физическая оболочка, содержащая: бортовые измерительные системы (Б/Изм/Системы), бортовые исполнительные системы (Б/Исп/Системы); развитую бортовую цифровую вычислительную систему (БЦВС) с реализованными в ней БЦВМ-алгоритмами; экипаж и его кабину с современным информационно-управляющим полем (ИУП), которое включает в себя информационное поле (многофункциональные индикаторы, речевые информаторы) и управляющее поле (органы управления и взаимодействия экипажа с самим Антр/объектом, с его Б/Изм/Системами и Б/Исп/Системами) [1]. Экипаж Антр/объекта может состоять из одного человека или нескольких людей. В последнем случае всегда выделен один главный член экипажа, называемый командиром экипажа. Он принимает окончательные решения задач системообразующего ядра Антр/объекта. Именно его мы имеем в виду, употребляя дальше термин "экипаж" или "оператор". Экипаж является главным системообразующим элементом Антр/объекта и реализует алгоритмы деятельности экипажа (АДЭ). Именно он решает задачи оперативного целеполагания и конструирования способа достижения оперативной назначенной цели функционирования Антр/объекта. Такие задачи называются тактическими. Разработка бортового алгоритмического и индикационного обеспечения (АиИО) Антр/объекта проходит следующие этапы:

а) создание текстовых технических документов "Логика работы системы экипаж — бортовая аппаратура", описывающих работу экипажа и работу бортовых систем Антр/объекта при его функционировании;

б) создание графов решений оператора (ГРО) и соответствующих им схем бортовых алгоритмов (СБА) [1];

в) разработка БЦВМ-алгоритмов бортового АиИО;  
г) отработка АиИО на математических моделях;  
д) отработка АиИО на стендах полунатурного моделирования;

е) натурные испытания Антр/объекта с бортовым АиИО.

На этапах отработки АиИО желательно участие профессионального экипажа, что по ряду причин часто бывает затруднительно. Это вынуждает разработчиков АиИО искать возможность моделировать работу экипажа с помощью математической модели. В части решения тактических задач создание такой модели является, в ряде случаев, возможным. Для этого последовательно рассмотрим концептуальную модель Антр/объекта: структуру деятельности оператора на Антр/объекте; ГРО при решении им тактических задач; схему бортовых алгоритмов, соответствующих ГРО. На основании

этого выделим те фрагменты функционирования Антр/объекта, для которых можно создать математическую модель работы экипажа, называемую далее блоком ситуационного управления (БСУ).

## 1. Концептуальная модель антропоцентрического объекта "Этап"

Опишем математическую модель (ММ) "Этап", ориентируясь на работу [2]. Эта модель формализует сферу деятельности Антр/объекта и классифицирует задачи, которые решаются на его борту (рис. 1).

Формализация в модели "Этап" сферы деятельности Антр/объекта включает в себя: модель процесса функционирования Антр/объекта, которая содержит набор назначенных (в техническом задании (ТЗ) на разработку Антр/объекта) к алгоритмизации сеансов функционирования (с описанием генеральной задачи каждого сеанса 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.

Множество ТС конечно и строится по всей совокупности заданных в ТЗ сеансов функционирования.

Классификация задач Антр/объекта включает в себя выделение трех глобальных уровней управления (ГЛУУ):

а) I-ГЛУУ — уровень оперативного целеполагания. В терминах ММ "Этап" это задача назначения текущей ТС (на рис. 1 показана "обратная связь" от I-ГЛУУ к строке ТС);

б) II-ГЛУУ — уровень конструирования рационального способа достижения цели для ТС, назначенной на I-ГЛУУ. В терминах ММ "Этап" это за-

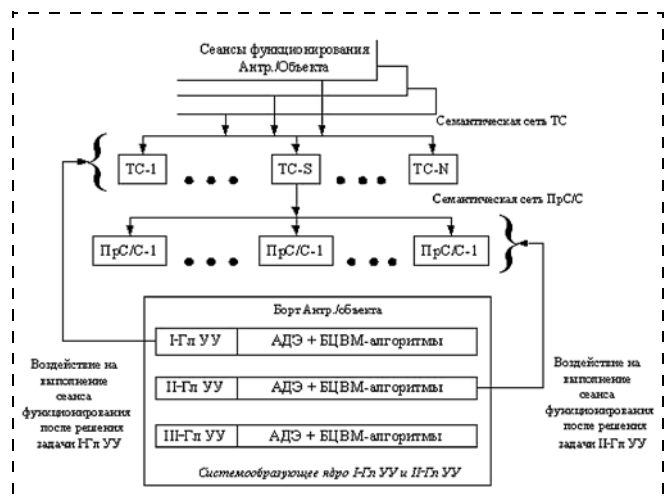


Рис. 1. Модель Антр/объекта "Этап" для проектирования бортового алгоритмического и индикационного обеспечения системообразующего ядра Антр/объект

дача оперативного построения конкретного фрагмента семантической сети ПрС/С назначенной ТС (на рис. 1 показана "обратная связь" от II-ГЛУУ к строке ПрС/С);

в) III-ГЛУУ — уровень реализации способа достижения цели, сконструированного на II-ГЛУУ.

Задачи I-ГЛУУ и II-ГЛУУ называются задачами "верхнего уровня", или тактическими задачами. Они решаются в системообразующем ядре Антр/объекта.

В модели "Этап" устанавливается, что в решении задач I-ГЛУУ и II-ГЛУУ обязательно участвует экипаж (на рис. 1 указывается аббревиатура 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 интеллектуальных систем. Эти системы должны решать соответствующие задачи и предъявлять экипажу рекомендуемый способ их решения. Этот способ может поступать на реализацию в Б/Исп/Системы только после согласия экипажа. В силу этого такие системы относят к классу бортовых оперативно советующих экспертных систем (БОСЭС).

ММ "Этап" позволяет классифицировать такие бортовые интеллектуальные системы поддержки процесса решения оператором тактических задач (БИС-ТЗ) следующим образом:

- системы, решающие задачи I-ГЛУУ [3];
- системы, решающие задачи II-ГЛУУ [4].

## **2. Структура деятельности оператора на борту технического антропоцентрического объекта в типовой быстрой ситуации**

Деятельность оператора Антр/объекта включает в себя следующие составляющие: активизацию концептуальной модели поведения, принятие решений по оперативно возникающей проблеме, реализацию этих решений и участие в различных операциях слежения в качестве элемента следящей системы [5—9]. Вся необходимая информация для деятельности оператора представляется ему на индикаторах ИУП кабины экипажа и/или сообщается через кабинные речевые информаторы. Реализация решений и участие в операциях слежения осуществляется экипажем через органы управления на ИУП [10].

На этапе проектирования спецификаций бортового АиИО решения тактических задач все элементы деятельности оператора интегрированно представляются в виде ГРО.

Ниже остановимся на возможностях оценки временных затрат оператора в каждой составляющей его деятельности. Информация для этого взята из работ [5—9] и использована в методике оценки реализуемости ГРО [11].

Каждое решение оператора относится к одному из следующих типов:  $\pi$ -решения (перцептивно-опознавательные),  $\rho$ -решения (речемыслительные) и  $\pi$ - $\rho$ -решения (эвристические) [5—7, 9].

Каждое  $\pi$ -решение характеризуется мгновенной реакцией оператора на определенный воспринятый им стимул-сигнал. Временные затраты на принятие такого решения состоят только из временных затрат на обнаружение и опознавание оператором соответствующего стимул-сигнала, появляющийся на ИУП кабины Антр/объекта.

Для оценки времени на восприятие информации оператором и на ее осмысливание разработчик ГРО представляет информацию через набор оперативных единиц восприятия (ОЕВ), которые выделяются как элементы конкретного информационного кадра на индикаторе ИУП.

Каждое  $\rho$ -решение характеризуется в ГРО входной информацией, включающей в себя состав информации на ИУП кабины, по которой оператор должен принимать это решение; состав и продолжительность речевого сообщения, которое передается кабинным речевым информатором и используется оператором при принятии этого решения. Эта информация описывается:

- числом и составом ОЕВ, по которым оператор принимает решение;
- структурой решения, включающей в себя последовательность элементарных актов выработки решения (ЭАВР), описываемых через символику информационных кадров на индикаторах ИУП.

Каждое  $\pi$ - $\rho$ -решение (эвристическое решение) характеризуется составом информации, по которой экипажу предлагается принять его. Временные затраты оператора на принятие  $\pi$ - $\rho$ -решения определяются только по результатам полунатурного моделирования или/и при натуральных испытаниях Антр/объекта с "реальным экипажем".

Реализация оператором любого принятого решения характеризуется составом и последовательностью его ручных операций, которые можно выполнить на заданном ИУП Антр/объекта.

Каждое речевое сообщение проходит следующие этапы: восприятие экипажем, осмысление полученной информации, принятие решения и совершение необходимых ручных операций. Экспериментальных материалов по оценке временных затрат экипажа на восприятие и осмысление полученной речевой информации в зависимости от числа слов в речевом сообщении и числе его повторов в работах [5—9] не обнаружено. В приведенных ниже примерах факт поступления такого сообщения показывается, а временные затраты экипажа не оцениваются.

Остановимся на участии оператора в операции слежения. В ГРО отмечается последовательность решений, которые должны приниматься оператором при "одновременном" участии его в некотором процессе слежения (например, пилотировании са-

молета летчиком по директорным сигналам). Пусть каждое решение из выделенной последовательности решений охарактеризовано потребным временем  $\tau_i$ , которое затрачивает оператор на его выработку и реализацию. Примем [11] гипотезу о возможности работы оператора в режиме дискретно-непрерывного слежения.

В этом режиме оператор отвлекается на время

$\sum_{i=1}^k \tau_i$  принятия и реализации одного решения ( $k = 1$ )

или последовательности ( $k > 1$ ) следующих друг за другом решений. За время отвлечения оператора от режима слежения накапливается некоторая ошибка процесса слежения (начальная ошибка слежения  $\varphi_{\text{нач}}$ ), которую он должен будет устранить при возвращении к процессу слежения. На дугах ГРО помечаются знаком (\*) места, где оператор может включаться в процесс слежения. Для выбора из них места фактического включения оператора в операции слежения возникает задача оптимального размещения этих мест по ГРО [12].

Время отработки оператором начальной отметки слежения  $\varphi_{\text{нач}}$  существенно зависит от динамических характеристик всех звеньев следящей системы и от навыков работы оператора в этой системе. На этапе системного проектирования спецификаций алгоритмов бортового интеллекта конструкторы не имеют детальной информации обо всем этом. На рассматриваемом этапе можно ориентироваться только на некоторые зависимости времени отработки ( $\tau_{\text{отр}}$ ) накопившейся ошибки  $\varphi_{\text{нач}}$  слежения от времени отвлечения оператора от процесса слежения  $\tau_{\text{отв}}$ , полученные при создании аналогичных Антр/объектов на более поздних стадиях их разработки.

Все названные элементы деятельности оператора объединены концептуальной моделью его поведения, оперативная смена которой оператором в процессе его деятельности требует определенных временных затрат. Это время характеризуется единой величиной для всех концептуальных моделей [9].

### **3. Граф решений оператора и схема бортовых алгоритмов для решения тактических задач на борту Антр/объекта**

На ранних стадиях проектирования бортового АИИО для решения задач I-ГЛУУ и II-ГЛУУ разрабатываются взаимно согласованные спецификации АДЭ и обеспечивающих их БЦВМ-алгоритмов. Спецификации оформляются в виде ГРО и СБА. Чтобы подчеркнуть необходимость их совместной разработки, часто будем использовать обозначения ГРО + СБА. Для Антр/объекта создаются пары ГРО + СБА: одна для I-ГЛУУ и несколько пар (по числу ТС) для II-ГЛУУ.

ГРО представляет собой граф, вершины которого соответствуют составляющим деятельности оператора, а дуги указывают причинно-следственное отношение между этими составляющими. Ниже мы отдельно остановимся на представлении в ГРО операции слежения.

СБА составляется в виде упорядоченного множества БЦВМ-алгоритмов, которые должны вырабатывать информацию, представляемую оператору на ИУП, и принимать сигналы из ИУП, определившись в ГРО. Спецификация БЦВМ-алгоритмов составляется с учетом допустимых структур, как правило, уже освоенных конкретной группой разработчиков бортового АИИО. При этом если допускается использование на борту Антр/объекта БИС-ТЗ, то для АДЭ II-ГЛУУ можно исключить использование оператором  $\pi$ -р-решений. Для АДЭ I-ГЛУУ этого сделать нельзя.

Разработка ГРО + СБА ведется на базе а) соответствующих технических документов типа "Логика работы системы "Экипаж — бортовая аппаратура на I-ГЛУУ", "Логика работы системы "Экипаж — бортовая аппаратура" в ТСХХХ на II-ГЛУУ" или б) только по документам типа "Инструкция экипажу по применению Антр/объекта" с описанием информационной и управляющих частей ИУП по каждой ТС, когда документы перечисленных в пункте а) "Логик..." недоступны.

#### **3.1. Составление графа решений оператора и схемы бортовых алгоритмов**

Решение экипажем задач I-ГЛУУ и II-ГЛУУ проводится через последовательность составляющих его деятельности, упорядоченных причинно-следственным отношением.

Разработка ГРО для I-ГЛУУ начинается с определения информации, необходимой экипажу для принятия решения о назначении каждой ТС и определения органов управления на ИУП, позволяющих активизировать бортовое АИИО назначенной ТС. При этом предполагается, что экипаж не участвует в процессах слежения.

Разработку ГРО для задач II-ГЛУУ удобно начинать с анализа ПрС/С. Каждой такой субситуации ставится в соответствие множество возможных (допустимых) способов ее разрешения. Формирование таких множеств выполняется экспертом на основании анализа доступной на борту Антр/объекта информации о внешнем и внутрибортовом мире и характере ПрС/С. Следующим шагом разработки ГРО является выделение из возможных решений предпочтительного или оптимального решения. Часто его можно выделить только после предварительного изучения ПрС/С на соответствующей ей математической модели принятия решения. Выбор предпочтительного решения при составлении ГРО предусматривает одновременное

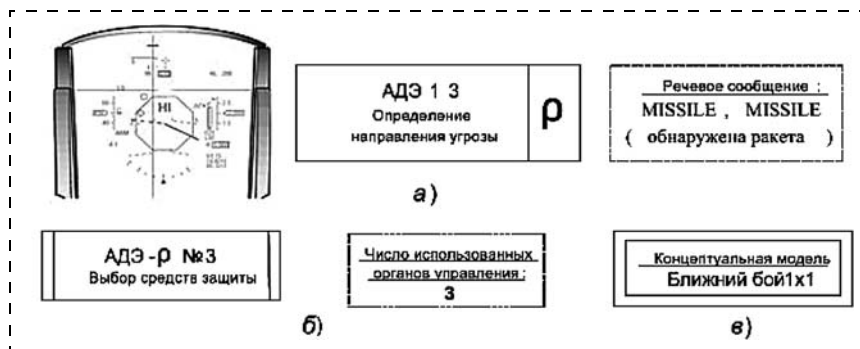


Рис. 2. Обозначение на ГРО вершин:

а — с алгоритмами принятия решений оператором; б — с алгоритмами реализации решения; в — с алгоритмом активизации концептуальной модели поведения оператора

решение проблемы распределения функций между оператором и БЦВМ-алгоритмами.

Если решение тактической задачи/проблемы осуществляется БЦВМ-алгоритмом (БИС-ТЗ), то передача решения на исполнение Б/Исп/Системами происходит только по решению экипажа. При этом экипаж может передать на исполнение все реализуемое решение или только его часть или вовсе отказаться от предлагаемого решения, и это должно обеспечиваться наличием соответствующих органов управления и необходимой информацией на ИУП кабины.

Ориентируясь на структуры БЦВМ-алгоритмов, назначенных для разработки бортового АиИО решения тактичеких задач, можно оценивать возможность реализации на БЦВМ каждого АДЭ. В этом случае в СБА отмечается наличие такого алгоритма.

Вершины ГРО, отвечающие алгоритмам принятия оператором решения, обозначаются соответствующим прямоугольником, с указанием внутри него типа решения и названия (рис. 2, а). Возле прямоугольника показываются фрагменты информационного кадра индикатора ИУП, по которым принимается это решение, и текст речевого сообще-

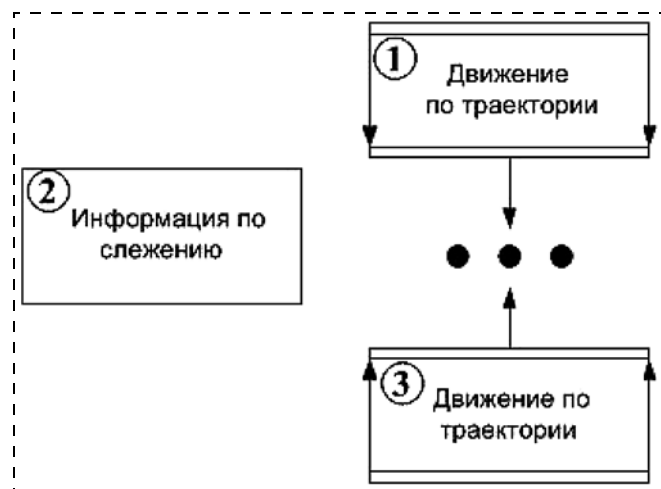


Рис. 3. Обозначение на ГРО участка слежения:

1 — начало участка; 2 — конец участка; 3 — информация оператору для выполнения процесса слежения

ния, относящийся к этому решению. Вершины, соответствующие алгоритмам реализации принятого решения, обозначаются прямоугольником с двойными боковыми сторонами (рис. 2, б). Внутри прямоугольника указывается число органов управления на ИУП, которые используются для реализации решения. Прямоугольником с двойными сторонами на ГРО отмечается смена концептуальной модели поведения оператора (рис. 2, в).

На дугах ГРО специальным образом отмечаются участки, на которых все

элементы деятельности оператора совершаются им на фоне процесса слежения, выполняемого оператором [11]. Начало и конец участка отмечаются соответственно символами "1" и "3" (рис. 3). На этапе начала слежения символом "2" показывается информация, которая используется оператором для реализации процесса слежения.

Одновременно с ГРО разрабатывается соответствующая ему схема бортовых алгоритмов (СБА). В СБА, следуя ГРО, последовательно определяются для каждой вершины ГРО:

- БЦВМ-алгоритмы, в которых вырабатывается информация и речевые сообщения, необходимые для выполнения АДЭ, указанного в этой вершине;
- БЦВМ-алгоритмы, которые воспринимают управляющие сигналы, вырабатываемые в соответствующей вершине ГРО.

Для режима слежения указываются БЦВМ-алгоритмы, в которых должна вырабатываться информация, необходимая оператору для выполнения режима слежения.

Следует отметить, что ГРО и соответствующая ему СБА отличаются по глубине проработки. Если ГРО — это полноценный граф, содержащий алгоритмы деятельности оператора с упорядочением их в соответствии с причинно-следственным отношением, то СБА — это только фрагмент графа, вершины которого — выявленные БЦВМ-алгоритмы, а дуги — возможные фрагменты причинно-следственных отношений этих алгоритмов.

После разработки пары ГРО + СБА для всех ПрС/С анализируемой типовой ситуации осуществляется сборка их в пару ГРО + СБА для всей ТС. На ветках полного ГРО проставляются: предельно допустимое время выполнения всего графа ( $T_{\text{граф}}$ ) и отдельных его фрагментов ( $T_{\text{фраг}}$ ).

По методике работы [11] проводится оценка временных затрат оператора для выполнения всех его АДЭ в каждой ветке полного ГРО.

ГРО, у которых рассчитанные времена не превосходят  $T_{\text{граф}}$  и  $T_{\text{фраг}}$  вместе с соответствующими им СБА, признаются исходной информацией для

детальной разработки АиИО решения тактических задач П-ГЛУУ.

*Примечание.* Следует отметить, что расчетная оценка временных затрат оператора на реализацию оператором созданного ГРО возможна только для случая, когда отсутствуют эвристические решения ( $\pi$ -р-решения). Если такие решения существуют, то временные затраты оцениваются на стендах полунатурного моделирования с квалифицированными операторами.

### 3.2. Пример графа решений оператора и схемы бортовых алгоритмов для антропоцентрического объекта "Истребитель F-16МЗ" в типовой быстрой ситуации "Дальний воздушный бой"

При разработке пары ГРЛ + СБА для этого Антр/объекта доступным является только описание его ИУП, полученного из обзоров [13, 14] и интернет-ресурсов [15]. Ниже представим необходимую нам информацию из этого описания.

Оператором на данном Антр/объекте является "летчик". Ввиду этого наименование ГРО меняет свое название на "граф решения летчика" (ГРЛ). АиИО, выделенное для разработки пары ГРЛ + СБА типовой быстрой ситуации "Дальний воздушный бой" (ТБС ДВБ  $1 \times 1$ ), проектируется с ориентировкой только на  $\pi$ - и  $\rho$ -решения летчика. Это позволяет провести расчетную оценку временных затрат летчика на реализацию ГРЛ.

#### 3.2.1. Описание информационно управляющего поля истребителя F-16МЗ для ТБС ДВБ $1 \times 1$

ТБС ДВБ  $1 \times 1$  начинается с момента назначения воздушной цели (истребителя противника) на атаку.

В ТБС ДВБ  $1 \times 1$  имеются пять ПрС/С в ТБС ДВБ  $1 \times 1$ : "Нападение", "Защита", "Защита с нападением", "Занятие истребителем тактически выгодного положения", "Выход из дальнего боя" [14]. Стоит отметить, что на истребителе F-16МЗ алгоритмически поддерживаются только две из них: "Нападение" и "Защита". Ниже представлены описание ИУП и различные органы управления кабины самолета F-16МЗ, использованные для создания ГРЛ F-16МЗ.

Для ПрС/С необходимо проводить оценку нахождения в конкретном интервале характерных дальностей, а также следить за маневрированием цели, вся необходимая для этого индикация представлена на ИУП (рис. 4). При выводе рекомендации о пуске ракеты необходимо его осуществить по следующему алгоритму:

А) нажать кнопку быстрого выбора ракет AMRAAM на рычаге управления двигателем (РУД);

Б) выполнить маневр так, чтобы директорная метка выдерживания траектории атаки попала в зону допустимых маневров (рис. 4). Проверить вы-

полнение указанных выше условий успешного пуска ракеты;

В) нажать кнопку Weapon Release для самого пуска.

Характерные дальности (рис. 4) обозначают следующее:  $R_{aero}$  — максимальная возможная дальность пуска ракеты, рассчитывается в предположении, что цель не маневрирует вообще (вектор текущей скорости цели не будет меняться за все время полета ракеты) и вектор скорости самолета направлен по траектории атаки. При пуске с этой дальности обеспечивается невысокая вероятность поражения цели, однако один такой пуск дает определенное тактическое преимущество;  $R_{opt}$  — оптимальная дальность пуска по неманеврирующей цели, которая рассчитывается из условия, что обеспечивается высокая вероятность попадания ракеты в цель, и вектор скорости самолета направлен по траектории атаки;  $R_{pi}$  — максимальная дальность пуска по неманеврирующей цели, которая рассчитывается из условия, что обеспечивается высокая вероятность попадания ракеты в цель, и текущий вектор скорости самолета направлен по траектории атаки и выдержан рекомендуемый угол тангажа;  $R_{tr}$  — показывает максимальную дальность пуска по цели, выполняющей в момент пуска маневр уклонения "разворот и побег";  $R_{min}$  — это минимальная дальность, пуск с которой может предоставить хоть какой-нибудь шанс на успех атаки. Все расчеты учитывают свое текущее направление движения. Ускорение цели и ее скорость полета принимаются постоянными. Скорость своего борта принимается постоянной в течение промежутка времени от нажатия кнопки "Пуск" до отделения ракеты от борта.

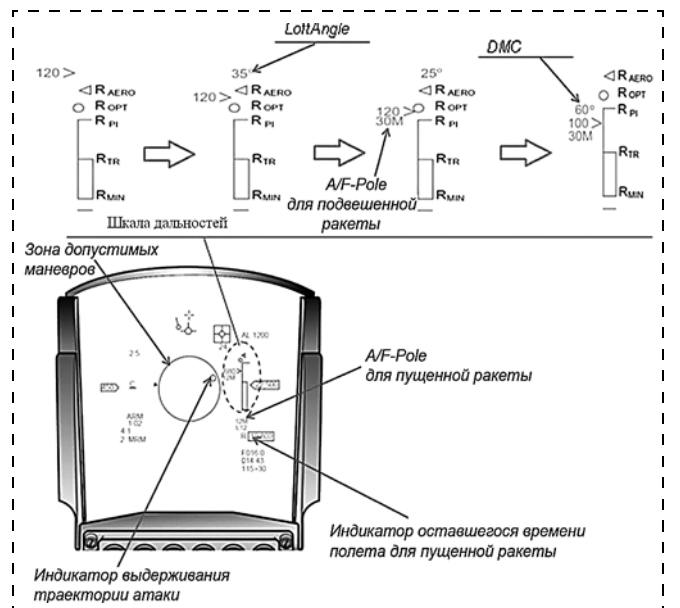


Рис. 4. Индикатор на лобовом стекле (ИЛС). Информация летчику для принятия решения на пуск ракеты типа AMRAAM

Для принятия летчиком эвристического решения о завершении атаки ему на индикатор лобового стекла (ИЛС) выдается информация о значимых событиях в полете ракеты A/F-Pole (рис. 5). Под шкалой дальностей показывается цифробуквенный формуляр.

При обнаружении системой MWS пуска ракеты или ракеты в полете в центре ИЛС появляется восьмиугольник с одной или двумя линиями, проведенными из центра восьмиугольника (направления на первичную угрозу и вторичную угрозу), обозначающими направление угрозы относительно самолета (рис. 5). Наиболее опасная угроза отображается непрерывной прямой линией, исходящей из центра восьмиугольника и уходящей по направлению угрозы. Вторичная угроза, менее опасная на данный момент, отображается в виде штриховой

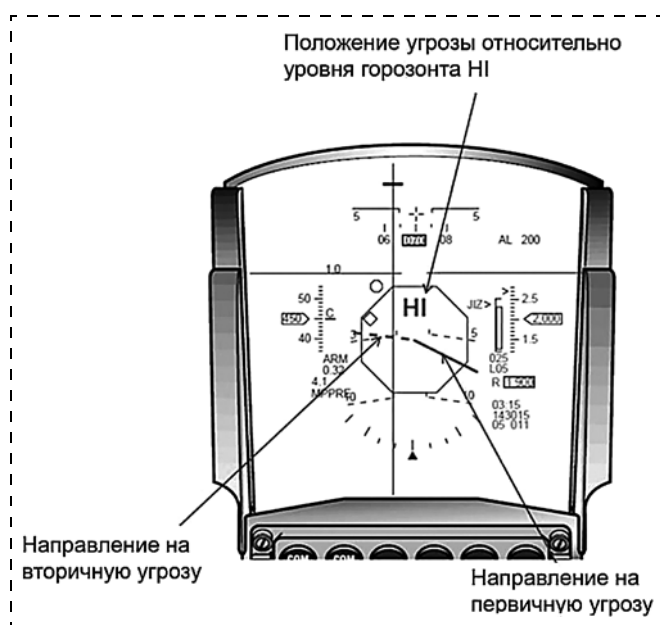


Рис. 5. Индикация об угрозах от системы MWS (система предупреждения об угрожающих ракетах)



Рис. 6. Органы управления (на РУС) постановкой помех противнику

линии, также исходящей из центра восьмиугольника и указывающей на направление угрозы (рис. 5).

Кроме того, при обнаружении угрозы система VMU воспроизводит голосовой сигнал.

После получения голосового сигнала летчику необходимо задействовать средства защиты ECM (систему помех) и выполнить оборонительный маневр.

Выбор программы помех № 1—4 априорно устанавливается перед вылетом, но для эвристического выбора программы предусмотрены соответствующие органы управления на ИУП (рис. 6). Эвристический выбор в документах не регламентируется.

После успешной реализации каждого цикла действий по противодействию ракете (выпуск дипольных отражателей и ИК ловушек) система VMU будет воспроизводить звуковое подтверждение успешного выполнения.

При малом количестве какого-либо расходного средства защиты система VMU воспроизводит голосовую команду "LOW". Расходуемые средства бывают 4 типов: Chaff, Flare, Other 1, Other 2, поэтому команда "LOW" может воспроизвестись до четырех раз.

При полном истощении запаса какого-либо из средств системой VMU воспроизводится голосовой сигнал "OUT". Команда "OUT" будет воспроизводиться четыре раза, если кончились все расходные средства.

### 3.2.2. Граф решений летчика истребителя F-16M3 в ТБС ДВБ 1 × 1

Для представленного на рис. 7 ГРЛ(F-16M3)-ДВБ 1 × 1 ниже приводится описание работы летчика в ПрС/С "Защита" и "Нападение".

ПрС/С "Нападение" активизируется после проведения проверки об отсутствии сигнала "Пуск ракеты противника". Данная субситуация представлена расширенным числом веток, что обусловлено различными факторами, влияющими на окончательное принятие решения. Первой проверкой возможности пуска является проверка условия  $D \leq R_{aero}$ , данный факт объясняется невозможностью пуска ракеты с дальностей, превышающих  $R_{aero}$ . Успешное удовлетворение условиям  $R_{opt} < D \leq R_{aero}$  и отсутствие маневра цели считаются первыми возможными фактами пуска ракеты (ветка № 1). Если исход проверки оказался безрезультатным, то осуществляется переход к проверке о принадлежности текущей дальности интервалу  $R_{pi} < D \leq R_{opt}$ . При нахождении метки на ИЛС между значениями  $R_{pi}$  и  $R_{opt}$  (см. рис. 4) необходимо скорректировать угол тангажа самолета на рекомендованное значение угла  $LoftAngle$  (угол подъема). После исполнения всех перечисленных условий осуществляется пуск ракеты (ветка № 7). Для случая, когда цель маневрирует, необходимо провести с ней сближение до дальности  $R_{pi}$ , где положительная принад-

лежность интервалу  $R_{Tr} < D \leq R_{pi}$  является одним из условий успешного пуска ракеты. Вторым условием является недопущение превышения текущего угла  $DMC_{тек}$  (текущий критический угол отворота) заданного значения, при котором произойдет срыв атаки. При удовлетворении всех условий проводится пуск (ветка № 2). Следующей веткой в ГРЛ, по результатам которой будет выполнен пуск ракеты, является ветка № 3, при нахождении текущей дальности в интервале  $R_{min} < D \leq R_{Tr}$ . При этом вероятность поражения противника является достаточно высокой. Если по всем проверкам дальности не было принято положительного решения, осуществляется выход из боя (ветка № 4).

ПрС/С "Защита" активизируется в случае наличия оповещения об облучении собственного самолета или пуске ракеты противником. Данная суб-ситуация представлена двумя ветками (№ 5 и 6, рис. 7). Такое разделение обусловлено наличием средств защиты на борту, в случае их отсутствия летчику предъявляется звуковой сигнал "OUT" (отсутствие средств защиты на борту) и выводится рекомендация "Выполнить маневр". Если же средств защиты достаточно, то необходимо активизировать их — провести выбор типа применяемой помехи на РУД (по заранее выбранной программе). Если в ходе выполнения ПрС/С "Нападение" воз-

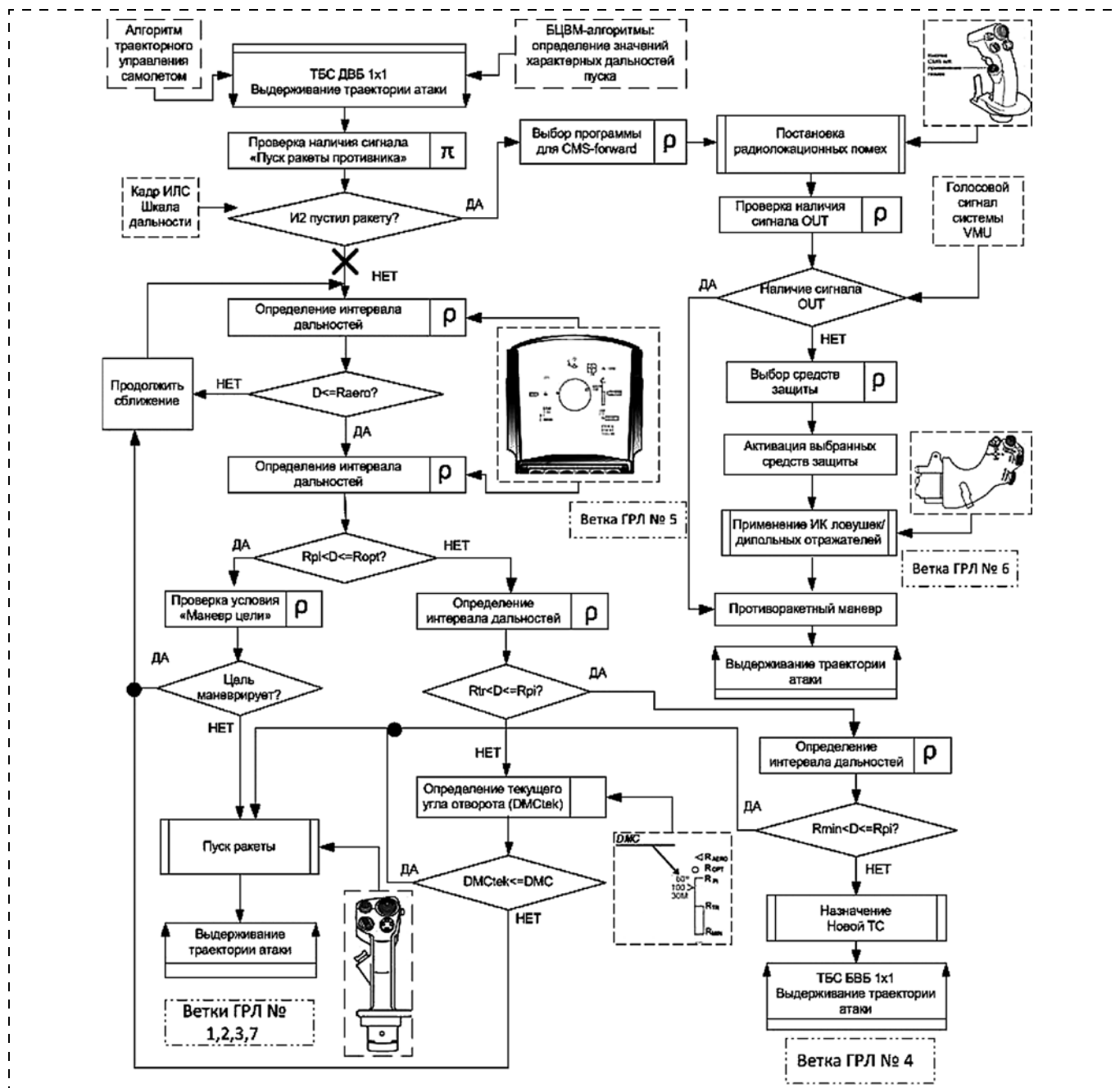


Рис. 7. Граф решений летчика F-16M3 ТБС ДВБ 1 × 1



никает угроза, активизирующая ПрС/С "Защита", то этой ПрС/С отдается приоритет.

Условием окончания ПрС/С "Защита" является факт непопадания атакующей ракеты противника и отсутствие информации о каких-либо угрозах самолету.

### 3.2.3. Схема бортовых алгоритмов, соответствующая графу решений оператора (F-16M3)-ДВБ 1 × 1

На основе описания ИУП кабины F-16M3 помимо штатных БЦВМ-алгоритмов составляется перечень БЦВМ-алгоритмов, информация с которых поступает на информационные кадры ИУП и зафиксирована в ГРО(F-16M3)-ДВБ 1 × 1 (табл. 1).

Таблица 1

Входные величины БСУ (F-16M3)-ДВБ 1 × 1

Символ на индикаторе	Смысл символа в ГРЛ	БЦВМ-алгоритм
<i>D</i>	Дальность до цели	Штатный БЦВМ-алгоритм
$R_{aero}, R_{opt}, R_{pi}, R_{tr}, R_{min}$	Характерные дальности	БЦВМ-алгоритм "Характерные дальности пуска ракеты"
<i>Loft Angle</i>	Угол вертикальной наводки	БЦВМ-алгоритм расчета угла <i>Loft Angle</i>
<i>DMC</i>	Критический угол отворота	БЦВМ-алгоритм расчета угла <i>DMC</i>
Линия в восьмиугольнике на ИЛС. Речевое сообщение	Сигнал оповещения о пуске ракеты противником	От Борт/Изм/Системы
Речевое сообщение "OUT"	Сигнал "OUT" — оповещение об отсутствии средств защиты	Штатный БЦВМ-алгоритм

## 4. Блок ситуационного управления — имитатор деятельности оператора при решении им тактических задач

Бортовое АиИО решения задач I-ГЛУУ отрабатывается, как правило, только с экипажем на стендах полунатурного моделирования и в натуральных испытаниях. В отличие от задач I-ГЛУУ, АиИО задач II-ГЛУУ начинает отрабатываться на математических моделях ТС. При этом работа экипажа часто имитируется только фактом принятия определенного решения оператора, без учета временных затрат экипажа на выработку этого решения, выбираемого из заранее составленного списка решений. Возможность принятия решения экипажем только по доступной текущей информации, предъявляемой на ИУП, и реализация принятого решения только через имеющиеся на ИУП органы управления при таком подходе не учитывается. Для ТБС можно разработать блок ситуационного управления БСУ(Антр/объект)-ТБСXXX (под XXX в дальнейшем подразумеваются различные варианты ТБС),

имитирующий работу экипажа при решении тактических задач этой ТБС и свободный от указанных выше недостатков.

Разработка БСУ (Антр/объект)-ТБСXXX (далее часто просто БСУ, если из контекста понятно, о каком Антр/объекте и о какой ТБС идет речь) ведется для следующих типов объектов: проектируемого Антр/объекта, по которому доступна полная техническая документация, и созданного объекта.

В первом случае имеется вся необходимая информация. Во втором случае исходной информацией для разработки БСУ является только описание ИУП с содержательным описанием информационных кадров и с описанием имеющихся на ИУП органов управления.

БСУ создается для тех фрагментов деятельности Антр/объекта, разработка АиИО которых исключает использование экипажем эвристических решений. В настоящее время такими фрагментами являются только разновидности ТС — ТБС. БСУ используется в качестве имитатора деятельности экипажа в имитационных математических моделях ТБСXXX (ИММ ТБСXXX), предназначенных для отработки АиИО решения тактических задач оператором Антр/объекта [см., например, 16]. БСУ позволяет отразить особенность АиИО ТБС и зависимость работы штатных БЦВМ-алгоритмов от сигналов экипажа с ИУП, от сигналов с бортовых измерительных устройств и БЦВМ-алгоритмов.

Для работы БСУ в ИММ ТБСXXX необходима подача на его вход соответствующих сигналов, описывающих содержание символов на информационных кадрах ИУП и содержание речевых сообщений.

Для проектируемого Антр/объекта такие сигналы вырабатываются в ИММ ТБСXXX в штатных БЦВМ-алгоритмах. Под штатными БЦВМ-алгоритмами подразумеваются алгоритмы обработки первичных сигналов от Б/Изм/Системы, а также те БЦВМ-алгоритмы, которые необходимы для работы с Б/Изм/Системами и Б/Исп/Системами.

Для созданных Антр/объектов, по которым доступна только информация по работе на них экипажа, указанные недостающие сигналы поступают из специально разработанного блока имитации бортовых алгоритмов ИБА (Антр/объекта)-ТБСXXX.

В ИММ (Антр/объекта)-ТБСXXX должна вырабатываться текущая информация, которая используется в БСУ. Ориентируясь на состав БЦВМ-алгоритмов, определившихся в СБА (Антр/объект)-ТБСXXX, и семантику соответствующих символов на ИУП этого Антр/объекта, эксперты соответствующей предметной области, имеющие опыт разработки аналогичных алгоритмов, могут создать блок ИБА (Антр/объекта)-ТБСXXX.

Таким образом, в ИММ-ТБСXXX для имитации работы экипажа уже созданного Антр/объекта необходимо присутствие пары БСУ (Антр/объекта)-ТБСXXX + ИБА (Антр/объекта)-ТБСXXX.

## 5. Пример разработки блока ситуационного управления как математической модели оператора в ТБС ДВБ 1 × 1 истребителя F-16M3

Для разработки БСУ (F-16M3)-ДВБ 1 × 1, описание которого представлено ниже, используются ГРЛ (F-16M3)-ДВБ 1 × 1 + СБА (F-16M3)-ДВБ 1 × 1, которые были описаны в пунктах 3.2.2 и 3.2.3.

### 5.1. Блок ситуационного управления в ТБС ДВБ 1 × 1 истребителя F-16M3

Особенностями БСУ (F-16M3)-ДВБ 1 × 1 является ранее упомянутое наличие лишь двух ПрС/С "Нападение" и ПрС/С "Защита" и отсутствие эвристических решений (рис. 8). Разделение на ПрС/С "Защита" и "Нападение" происходит при проверке условия — "Оповещение о пуске ракеты противника". Все ветки, описанные в ГРЛ(F-16M3)-ДВБ 1 × 1 (см. п. 3.2.2), разворачиваются в соответствующие им ветки БСУ (F-16M3)-ДВБ 1 × 1, что обозначено на рис. 8 соответствующими номерами.

По каждой ветке БСУ размечаются места оптимального включения летчика в операцию слежения. По методике работы [11] для каждой ветки

Таблица 2

Временные затраты по веткам ГРЛ (F-16M3) — ДВБ 1 × 1

Номер ветки	Временные затраты, с
1	1,97
2	2,84
3	3,08
4	2,34
5	0,54
6	2,22
7	2,6

схемы блока проведена оценка временных затрат летчика на реализацию АДЭ, отмеченных в этой ветке. Результаты расчетов приведены в табл. 2 и проставлены в конце каждой ветки БСУ.

При разработке программной реализации БСУ необходимо учитывать факт наличия "истории" проверок условий, так как при монотонно убывающей дальности результаты проверок принадлежности к интервалам характерных дальностей, пройденные по какой-либо ветке, учитываются при прохождении других веток.

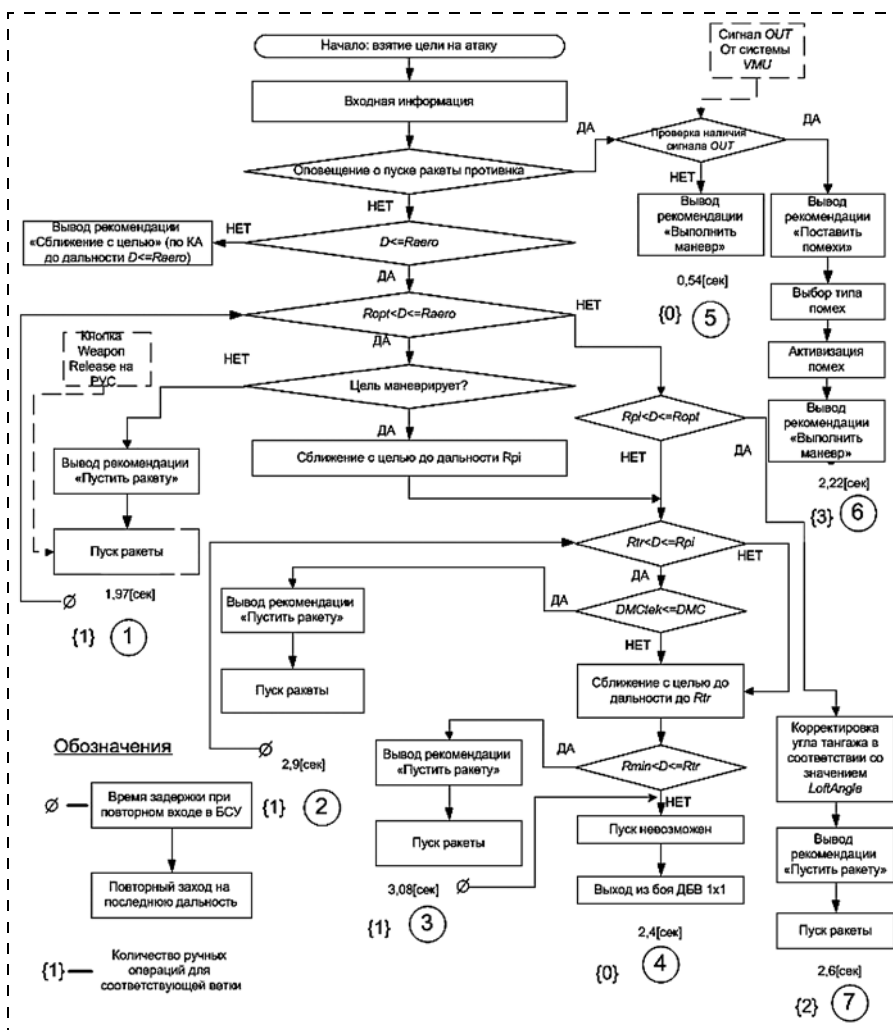


Рис. 8. Блок ситуационного управления F-16M3 ТБС ДВБ 1 × 1

### 5.2. Блок имитации бортовых алгоритмов для самолета истребителя F-16M3 в ТБС ДВБ 1 × 1

Блок ИБА (F-16M3)-ДВБ 1 × 1 состоит из следующих алгоритмов (рис. 9).

#### 5.2.1. БЦВМ-алгоритм расчета характерных дальностей

Данный алгоритм выдает характерные дальности, использующиеся при назначении цели на атаку. Расчеты всех характерных дальностей проводятся с использованием математической модели ракеты, описанной в работе [15].

#### 5.2.2. БЦВМ-алгоритм определения маневра цели

Данный алгоритм позволяет определить маневр цели. Полученное на вход БЦВМ-алгоритм значение угловой скорости изменения курса цели  $\dot{\psi}_{\text{цел}}$  необходимо сравнить с допустимым пороговым значением  $|\dot{\psi}_{\text{доп}}|$ .

При выполнении условия  $|\dot{\psi}_{\text{цел}}| < |\dot{\psi}_{\text{доп}}|$  считается, что цель не маневрирует.

#### 5.2.3. БЦВМ-алгоритм определения угла отворота противника DMC

БЦВМ-алгоритм определяет значение угла отворота DMC.

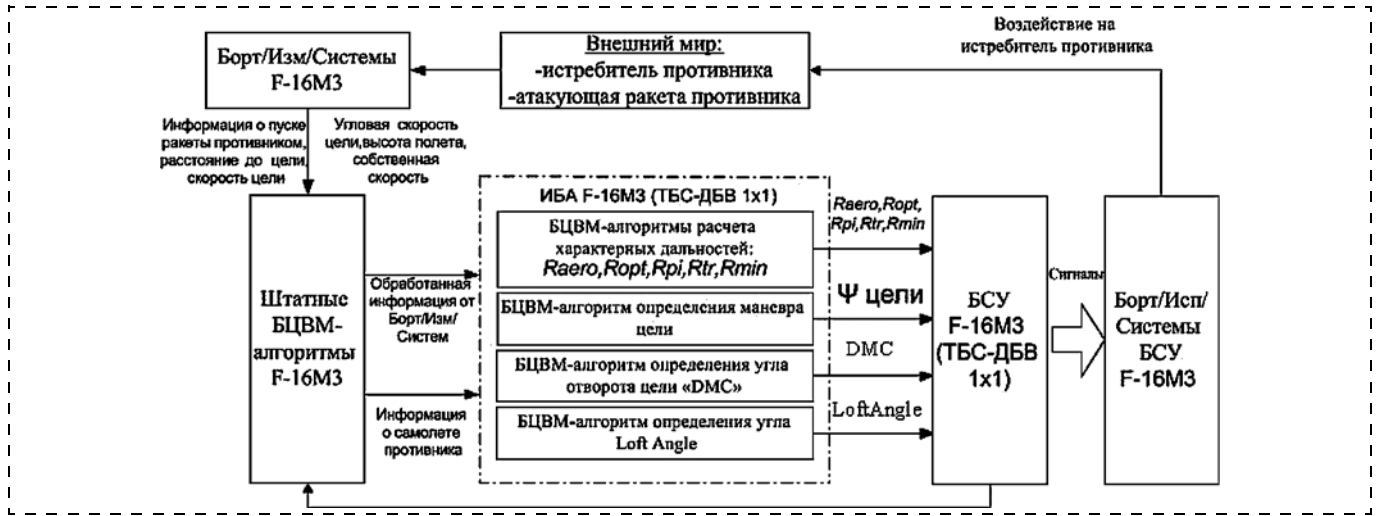


Рис. 9. Блок ИБА (F-16M3)-ДВБ 1 × 1

Имитация основана на получении экспериментальным путем зависимости  $DMC = f(D_{pmax})$  угла отворота (DMC) от максимальной дальности пуска с использованием аппроксимирующей математической модели ракеты "воздух—воздух" для расчета в реальном времени характерных дальностей ее полета [18].

#### 5.2.4. БЦВМ-алгоритм определения угла LoftAngle

В алгоритме используется зависимость  $LoftAngle$  (угол тангажа F-16M3) =  $f(H, V, тип ракеты)$ . В ИБА (F-16M3)-ДВБ 1 × 1 при моделировании этот алгоритм исключен.

#### 5.3. Работа блока ситуационного управления F-16M3 — ДВБ 1 × 1 и блока имитации бортовых алгоритмов F-16M3 — ДВБ 1 × 1 в имитационной модели ДВБ 1 × 1

Для тестирования и отработки АиИО ТБС ДВБ 1 × 1 создается система имитационного моделирования соответствующей типовой быстрой ситуа-

ции (СИМ-ДВБ 1 × 1) [19], в которой деятельность оператора представляется через БСУ, а имитация работы бортовых алгоритмов осуществляется блоком ИБА [20].

При включении разработанных блоков БСУ и ИБА в имитационную модель ДВБ 1 × 1 были получены следующие результаты (рис. 10, 11). При частоте обращения к БСУ, равной 1 Гц (рис. 10 и рис. 11 верхние графики) показаны временные задержки обращения к БСУ (F-16M3-ДВБ 1 × 1), соответствующие временным затратам летчика на выполнение АДЭ активизированной ветки БСУ. Оси ординат и абсцисс графиков помечены моментами обращения ИММ-ТБС к БСУ. Горизонтальными отрезками на горизонте соответствующего момента обращения к БСУ показаны в масштабе временные затраты летчика на выполнение АДЭ активизированной ветки БСУ. Следующее обращение к БСУ блокируется, пока не истечет время задержки.

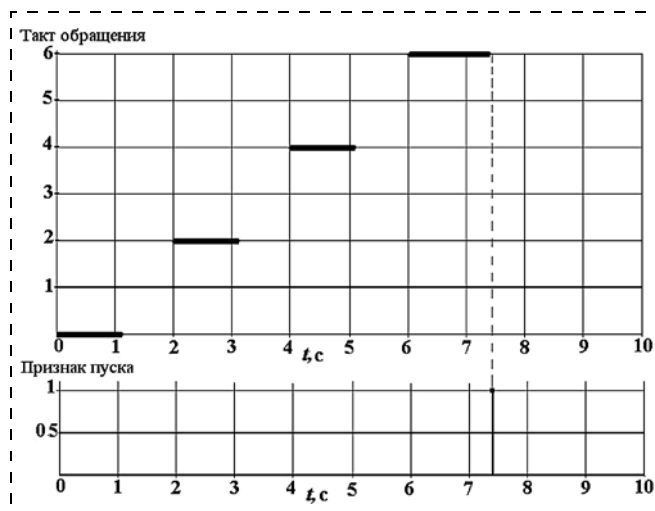


Рис. 10. Временные задержки блока ситуационного управления F-16M3 в имитационной модели ДВБ 1 × 1 (ветка № 4 рис. 8 на временном интервале 0...8 с)

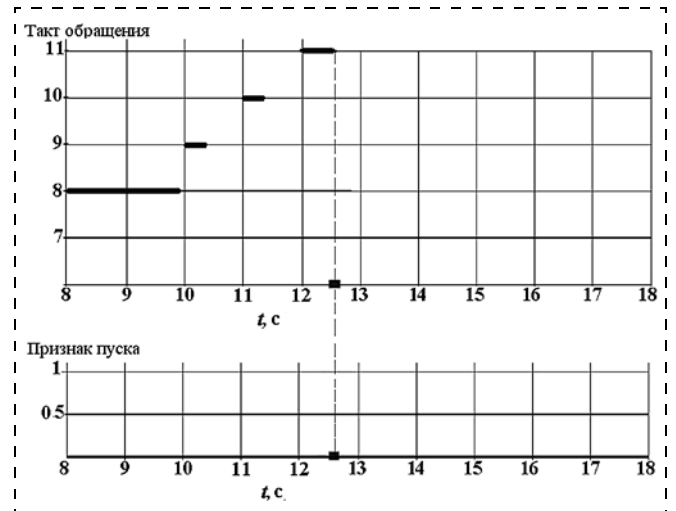


Рис. 11. Временные задержки блока ситуационного управления F-16M3 в имитационной модели ДВБ 1 × 1 (ветка № 4 рис. 8 на временном интервале 8...13 с)

Момент модельного времени  $t = 0$  совпадает с началом ДВБ  $1 \times 1$ , когда  $D_{tek} > R_{aero}$ . На рис. 10 значение задержек не изменяется до момента времени, равного 6 с, ввиду того, что в БСУ происходит постоянное сравнение  $D_{tek} \leq R_{aero}$ . Ступенчатый вид обусловлен тем фактом, что обращение к БСУ происходит с частотой 1 Гц. После 6 с наступает временное запаздывание летчика, равное 1,37 с, на однократное выполнение сравнения  $R_{opt} < D_{tek}$ , и по истечении 1,37 с (7,46 с) от БСУ поступает сигнал о необходимости выполнения пуска собственной ракеты, что показано на нижнем графике в виде присваиванию признаку пуска значения, равного 1 (рис. 11).

Графики на рис. 11 отражают ситуацию обращения к БСУ после восьмой секунды модельного времени. Первая временная задержка летчика равна 1,98 с, учитывает в БСУ сравнение  $D_{tek}$  со всеми характерными дальностями. В последующем с учетом уже выполненных раньше проверок проводится лишь проверка последнего условия (в данном случае  $R_{min} < D_{tek} < R_{tr}$ ). На момент модельного времени 12,67 с, после проверки всех необходимых условий от БСУ поступает сигнал о рекомендации выхода из ДВБ  $1 \times 1$  и переменная "признак пуска" принимает значение, равное 0.

### Заключение

Бортовое АиИО процесса решения тактических задач I-ГЛУУ, разрабатываемое с ориентировкой на использование экипажем эвристических решений, отрабатывается (моделируется) на стендах полунатурного моделирования, в натурных испытаниях Антр/объекта и, главным образом, на этапе его опытной эксплуатации. Также отрабатывается АиИО процесса решения задач II-ГЛУУ, но для ТБС возможен предварительный этап — математическое моделирование ТБС.

АиИО процесса принятия экипажем решений в тактических задачах ТБС проектируется инженерами с ориентиром на речемыслительные и перцептивно-опознавательные решения экипажа. Это позволяет разрабатывать для ТБС математическую модель работы экипажа — блок ситуационного управления БСУ(Антр/объект)-ТБСХХХ. Блок имитирует работу экипажа в ТБСХХХ в части решения им тактических задач этой ТБС для определенной версии АиИО и определенного облика ИУП кабины экипажа. В блоке учитывается текущая информация, представляемая экипажу на информационной части ИУП, и использование экипажем только органов управления, имеющих на управляющей части ИУП.

БСУ(Антр/объект)-ТБСХХХ разрабатывается на основе графа решений оператора ГРО(Антр/объ-

ект)-ТБСХХХ и схемы бортовых алгоритмов СБА(Антр/объект)-ТБСХХХ.

БСУ(Антр/объект)-ТБСХХХ предназначен для использования в компьютерных системах имитационного моделирования работы Антр/объекта в ТБС и может использоваться на стендах полунатурного моделирования.

### Список литературы

1. Стефанов В. А., Федун Б. Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы (БОСЭС) типовых ситуаций функционирования антропоцентрических (технических) объектов. М.: Изд-во МАИ, 2006.
2. Федун Б. Е. Модель "Этап" для разработки облика бортовых интеллектуальных систем антропоцентрических объектов // Онтология проектирования. 2012. № 2 (4). С. 36—43.
3. Желтов С. Ю., Федун Б. Е. Оперативное целеполагание в антропоцентрических объектах с позиции модели "Этап" // Труды "Четырнадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием", Казань. 2014. Т. 2. С. 35—46.
4. Федун Б. Е. Проблемы разработки бортовых оперативно-советующих экспертных систем // Изв. РАН. ТиСУ. 1996. № 5.
5. Основы инженерной психологии / Под ред. Б. Ф. Ломова. М.: Высш. шк., 1977.
6. Введение в эргономику / Под ред. В. П. Зинченко. М.: Сов. Радио, 1974.
7. Зарковский Г. М. Психологический анализ трудовой деятельности. М.: Наука, 1967.
8. Цибулевский И. Е. Человек как звено следящей системы. М.: Наука, 1981.
9. Справочник по инженерной психологии / Под ред. Б. Ф. Ломова. М.: Машиностроение, 1982.
10. Hosman R., Stassen H. Pilot's perception in the control of aircraft motions // Control Engineering Practice. 1999. N 7 (11).
11. Федун Б. Е. Методика экспресс-оценки реализуемости графа решений оператора антропоцентрического объекта на этапе разработки спецификаций алгоритмов бортового интеллекта // Изв. РАН. ТиСУ. 2002. № 3.
12. Федун Б. Е. Оптимальные порожденные числовые последовательности в задачах размещения участков слежения при оценке алгоритмов деятельности оператора. Ч. I // Изв. РАН. ТиСУ. 2012. № 3. С. 112—135.
13. Федун Б. Е. Интеллектуальные системы тактического уровня на борту летательных аппаратов: фрагменты их баз знаний (аналитический обзор по материалам зарубежной информации) / Под общ. ред. акад. РАН Е. А. Федосова. М.: Изд-во НИЦ ГосНИИАС, 2013. 131 с.
14. Федун Б. Е. Бортовые оперативно-советующие экспертные системы тактических самолетов пятого поколения (обзор по материалам зарубежной печати). М.: Изд-во НИЦ ГосНИИАС, 2002.
15. URL: <http://www.lochedmartin.com/data/assets/aeronautics/products/fl6/F-16/Brochure.pdf> (дата обращения 14.11.2014)
16. URL: [http://www.airwar.ru/other/bbl\\_r/html](http://www.airwar.ru/other/bbl_r/html) (дата обращения 2.12.2014)
17. URL: <http://www.fas.org.programs/ssp/man/uswpns/airfighter/fl6/html> (дата обращения 2.12.2014)
18. 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.
19. Романенко А. В., Федун Б. Е. Компьютерные системы имитационного моделирования для отработки баз знаний бортовых интеллектуальных систем системообразующего ядра антропоцентрического объекта // Изв. РАН. ТиСУ. 2010. № 6.
20. Gary R. G. New methods of mathematical modeling of human behavior in the manual tracking task. State University of New York, 2008. P. 7—20.

# Mathematical Modeling of the Process for Solving of the Tactical Tasks by a Crew of an Anthropocentric Object

**A. V. Smeyukha**, annatutta@gmail.com✉,  
Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, 125993, Russian Federation,  
**B. E. Fedunov**, Gosnias, Moscow, 125319, Russian Federation, boris\_fed@gosnias.ru

Corresponding author: **Smeyukha Anna V.**, student,  
Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, 125993, Russian Federation,  
e-mail: annatutta@gmail.com

Received on April 16, 2015

Accepted on May 12, 2015

The article is devoted to development of algorithms for the onboard indication equipment of the modern anthropocentric objects (manned aircraft, manned submarines, various vehicles and technical systems with operators) using mathematical and hardware-in-the-loop (HIL) scaled-down simulation involving professional operators. The paper demonstrates feasibility of creation of mathematical models (MM) of operator's work in typical combat situations (TC-s) of anthropocentric objects' operating cycle. For each TC its own MM is developed. It consists of two blocks: the onboard algorithm simulation unit (SOA), supplying the determined TC-s information to the information and control field (ICF) of the anthropocentric object cabin and situational control unit (SCU), simulating operator's activity algorithms using only the available current TCS information on ICF and the controls available on it. Anthropocentric object includes such physical systems as onboard measuring systems, onboard executive systems, crewmembers and ICF. The crew is the main element of such a system, and for it SCU is developing. The work describes the joint development procedures in TC: a) operator decision graph (ODG) and onboard algorithms scheme (OAS); b) SOA and SCU based on ODG and OAS. Performance of the proposed approach is demonstrated on the example of the anthropocentric object of F-16M3 Fighter.

**Keywords:** onboard algorithmic and indication ware, operators decision graph the simulation of onboard algorithms

For citation:

**Smeyukha A. V., Fedunov B. E.** Mathematical Modeling of the Process for Solving of the Tactical Tasks by a Crew of an Anthropocentric Object, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 9, pp. 604–616.

DOI: 10.17587/mau.16.604-616

## References

1. **Stefanov V. A., Fedunov B. E.** *Bortovye operativno sovetujushhie jekspertnye sistemy (BOSJeS) tipovyh situacij funkcionirovaniya antropocentricheskikh (tehnicheskikh) ob'ektov* (Onboard Online Advisory Expert Systems for Typical Situations of Operation of Anthropocentric (Technical) Objects), Moscow, Publishing house of MAI, 2006.
2. **Fedunov B. E.** *Model "Etap" dlja razrabotki oblika bortovyh intellektual'nyh sistem antropocentricheskikh ob'ektov* (Model "Etap" for the development of image-board intelligent systems anthropocentric objects), *Ontologija Proektirovaniya*, 2012, no. 2 (4), pp. 36–43.
3. **Zhel'tov S. Ju., Fedunov B. E.** *Operativnoe celepolaganie v antropocentricheskikh ob'ektah s pozicii modeli "Etap"* (Operational Goal Setting in Anthropocentric Objects from the Viewpoint of the Conceptual Model called Etap: I. Structures of Algorithms for the Support of Crew Decision-Making), *Proceedings of the "Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence with International"*, 2014, vol. 2, pp. 35–46.
4. **Fedunov B. E.** *Problemy razrabotki bortovyh operativno-sovetujushchih jekspertnyh sistem* (Problems of the Development of Onboard Real-Time Advisory Expert Systems for Anthropocentric Objects), *Izv. RAN. TiSU*, 1996, no. 5.
5. **Lomov B. F.** ed. *Osnovy inzhenernoj psihologii* (Basics of Engineering Psychology), Moscow, Vysshaya shkola, 1977.
6. **Zinchenko V. P.** ed. *Vvedenie v jergonomiku* (Introduction to Human Engineering), Moscow, Sov. Radio, 1974.
7. **Zarakovskij G. M.** *Psihologicheskij analiz trudovoj dejatel'nosti* (Psychological Analysis of Labor Activity), Moscow, Nauka, 1967.
8. **Cibulevskij I. E.** *Chelovek kak zveno sledjashhej sistemy* (Man is a Part of Tracking System), Moscow, Nauka, 1981.
9. **Lomov B. F.** ed. *Spravochnik po inzhenernoj psihologii* (Reference Book of Engineering Psychology), Moscow, Mashinostroenie, 1982.
10. **Hosman R., Stassen H.** Pilot's perception in the control of aircraft motions, *Control Engineering Practice*, 1999, no. 7 (11).
11. **Fedunov B. E.** *Metodika jekspress-ocenki realizuemosti grafa reshenij operatora antropocentricheskogo ob'ekta na jetape razrabotki specifikacij algoritmov bortovogo intelekta* (Technique of Estimating the Realizability of the Graph of Operator Decisions of an Anthropocentric Object when Designing Algorithms of Onboard Intelligence), Moscow, *Izv. RAN, TiSU*, 2002, no. 3.
12. **Fedunov B. E.** *Optimal'nye porozhdennye chislovye posledovatel'nosti v zadachah razmeshhenija uchastkov slezhenija pri ocenke algoritmov dejatel'nosti operatora* (Optimal Generated Numerical Sequences in Problems of Placement of Tracking Segments in Evaluating Algorithms of Operator Activity), *Izv. RAN, TiSU*, 2012, no. 3, pp. 112–135.
13. **Fedunov B. E.** *Intellektual'nye sistemy takticheskogo urovnja na bortu letatel'nyh apparatov: fragmenty ih baz znaniy* (analiticheskij obzor po materialam zarubezhnoj informacii) (Control System Fighter Weapons: Basics of Multifunctional Aircraft Intelligence), Nauchno-informacionnyj centr GosNIIAS, 2013, 131 p.
14. **Fedunov B. E.** *Bortovye operativno sovetujushhie jekspertnye sistemy takticheskikh samoletov pjatogo pokolenija* (obzor po materialam zarubezhnoj pechati) (Onboard Online Advisory Expert Systems of Fifth Generation Tactical Aircrafts (Survey of Foreign Press)), Moscow, Nauchno-informacionnyj centr GosNIIAS, 2002.
15. **URL:** <http://www.lochedmartin.com/data/assets/aeronautics/products/fl6/F-16/Brochure.pdf> (date of access 14.11.2014)
16. **URL:** [http://www.airwar.ru/other/bbl\\_r/html](http://www.airwar.ru/other/bbl_r/html) (date of access 2.12.2014)
17. **URL:** <http://www.fas.org.programs/ssp/man/uswpns/air/fighter/fl6/html> (date of access 2.12.2014)
18. **Djomkin M. A., Pankratov O. N., Fedunov B. E.** *Approksimirujushhaja matematicheskaja model' rakety "V-V" dlja raschjota v real'nom vremeni harakternyh dal'nostej ejo poljota* (Approximating Mathematical Model of "Air-to-Air" Missile for Real-Time Calculation of Typical Flight Ranges), *Mekhatronika*, 2001, no. 9, pp. 30–36.
19. **Romanenko A. V., Fedunov B. E.** *Komp'yuternye sistemy imitacionnogo modelirovaniya dlja otrabotki baz znaniy bortovyh intellektual'nyh sistem sistemoobrazujushhego jadra antropocentricheskogo ob'ekta* (Computer Simulation Systems for Development of Knowledge Bases of Onboard Online Intelligent Systems of System-Generating Core of Anthropocentric Object), Moscow, *Izv. RAN, TiSU*, 2010, no. 6.
20. **Gary R. G.** *New methods of mathematical modeling of human behavior in the manual tracking task*, State University of New York, 2008, pp. 7–20.