

УДК 004:629.764

СРЕДА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТОНОСИТЕЛЕЙ

© 2013 В. А. Капитонов¹, А. В. Кононенко¹, С. А. Тихомиров²¹ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»», г. Самара²Филиал ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс»» – «Особое конструкторское бюро «Спектр», г. Рязань

Рассматривается среда автоматизированного анализа измерительной информации космических ракетноносителей. Данная среда предназначена для специалистов-анализаторов в качестве инструмента анализа данных измерений, полученных при испытаниях изделий ракетно-космической техники.

Телеметрия, обработка и анализ информации.

Основополагающими при создании средств обработки и анализа измерительной информации (ИИ) космических ракетноносителей (РН) следует считать требования, предъявляемые на основе опыта натурной обработки СТК специалистами-практиками.

Опыт анализа ИИ показывает, что возникает множество нестандартных ситуаций, с которым сталкиваются эксперты-анализаторы. Для анализа всего многообразия ситуаций жёсткая технология анализа, связывающая его процедуры из набора известных задач, принципиально непригодна. Анализатор должен иметь возможность синтезировать, в зависимости от возникшей ситуации, необходимую цепь процедур анализа, обеспечивающую решение поставленной им (или руководителем анализа) конкретной задачи.

В настоящее время разработано большое количество программных комплексов обработки и анализа измерительной информации, но возможность расширяемости функциональных возможностей этих комплексов полностью зависит от того, была ли заложена такая возможность авторами программ. Связь различных программ чаще всего возможна только на уровне файлов, и при этом обычно требуются некие программы-конверторы для устранения несоответствия между структурами этих фай-

лов. При этом подавляющее число программ используют ограниченный (типовой) набор алгоритмов обработки информации (чтение параметра, преобразование в физические величины, быстрое преобразование Фурье, фильтрация заданных полос частот, цензурирование, стандартные математические операции и пр.). Поэтому при реализации таких программ необходимо заложить в разрабатываемые алгоритмы возможность расширяемости и «конструирования» программ обработки из неких элементарных «кирпичиков». При этом должен быть обеспечен унифицированный метод связи этих «кирпичиков» между собой по данным и управляющим сигналам – состояниям этих «кирпичиков».

Следовательно, для создания эффективного инструмента для анализа ИИ необходимо использовать единую проблемно-ориентированную математическую среду обработки и анализа ИИ.

Среда автоматизированного анализа ИИ должна представлять собой математический скрипдово-визуальный язык математических вычислений, отделённый от операционной системы и её проблем, ориентированный на матричные и векторные вычисления. Этот язык должен позволять разрабатывать полноценный графический пользовательский интерфейс и создавать программы анализа ИИ.

В состав библиотек обработки данной системы должны входить следующие компоненты обработки информации:

- чтение параметров;
- преобразование в физические величины;
- отбраковка аномальных и ложных измерений;
- быстрое преобразование Фурье;

- фильтрация заданных полос частот;
- стандартные математические матричные операции;
- блоки экспертной оценки.

На рис. 1 приведена архитектура построения среды автоматизированного анализа ИИ.

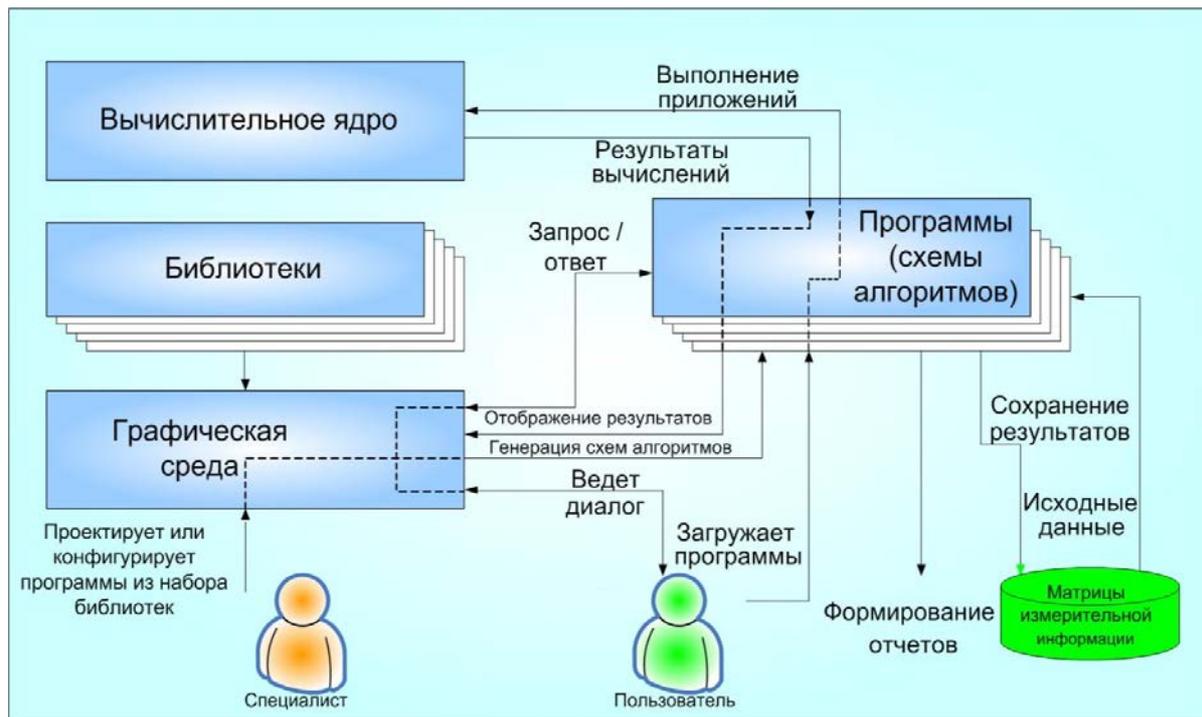


Рис. 1. Архитектура среды автоматизированного анализа ИИ РН

При этом реализация конкретных задач с использованием среды автоматизированного анализа ИИ должна сводиться к созданию мнемосхемы обработки ИИ из набора библиотек (визуальных компонентов). Результатом построения мнемосхемы обработки ИИ является исполняемый программный модуль (реализующий задачи анализа ИИ РН). При этом базовый пакет визуальных компонентов должен непрерывно расширяться без изменения вычислительного ядра.

Особое внимание в данной системе должно уделяться механизму экспертной оценки, который должен быть реализован в распределённом вычислительном

ядре. При реализации данного механизма создаётся возможность функционирования системы как «разумного ассистента», который предлагает несколько альтернативных вариантов решения проблемы и отвергает менее приемлемые. Следовательно, данная система становится не просто инструментальной, а экспертной.

Как правило, в структуре экспертной системы можно чётко разделить базу знаний и компонентов и машину логического вывода. Взаимодействие между ними обеспечивается программой, которую принято называть оболочкой (средой) экспертной системы. Конечный пользователь приложения взаимодей-

ствует с системой через оболочку, передавая ей запросы. Последняя активизирует машину логического вывода, которая обращается к базе знаний, извлекает знания, необходимые для ответа на конкретный вопрос, и передаёт сформированный ответ пользователю либо как решение проблемы, либо в форме рекомендации или совета [9, 10, 11].

Экспертные системы, как правило, реализуются на основе нечётких систем логического вывода [1].

Известны нечёткие системы логического вывода [3], в которые входят

фазификатор, нечёткие контроллеры или машины нечёткого логического вывода, дефазификатор.

Также известны патенты на способы применения нечёткой логики и устройства для их реализации [4, 5, 6, 7, 8].

С учётом этих способов и устройств, а также методов нечёткого моделирования [2] была построена модель в среде MATLAB вычислительного ядра системы, представленной на рис. 2.

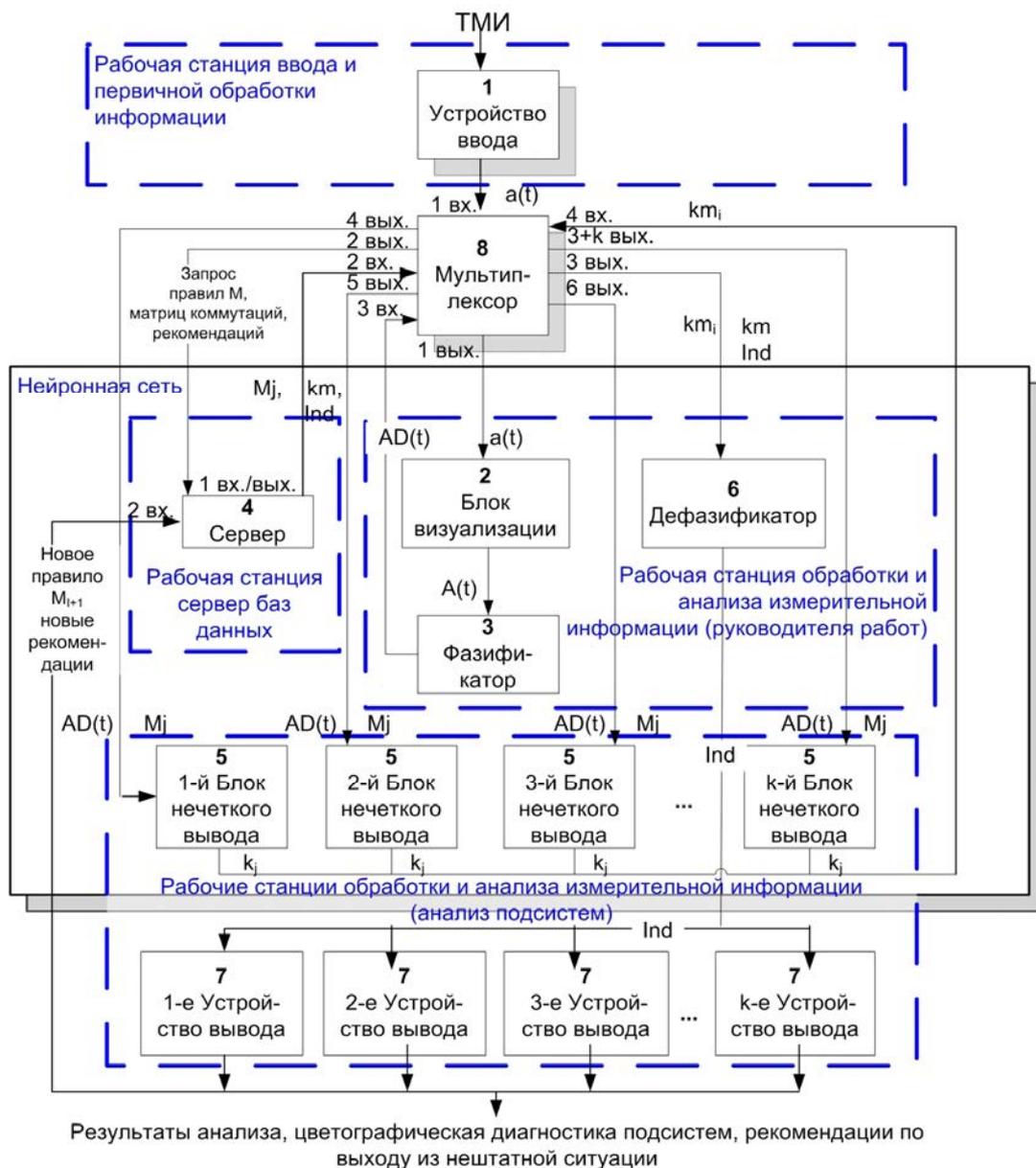


Рис. 2. Модель вычислительного ядра автоматизированной экспертной системы

Разработанная система состоит из следующих устройств: устройства ввода данных, блока визуализации модели изделия, фазификатора, сервера (баз знаний), блоков нечёткого логического вывода, дефазификатора, устройства вывода данных, мультиплексора.

Рассмотрим работу перечисленных устройств и системы в целом.

Устройство ввода данных 1 – блок приёма и регистрации измерительной информации, который подключен ко входу источника информации (ТМИ) и производит регистрацию, декоммутацию, первичную обработку и получение N_i -мерного чёткого (числового) вектора $a_i(t)=[a(t)_{i,1}, a(t)_{i,2}, \dots, a(t)_{i,N}]$.

Блок визуализации 2 модели изделия с интегрированным отображением состояния каждого агрегата, который преобразует N -мерный чёткий (числовой) вектор $a_i(t)=[a(t)_{i,1}, a(t)_{i,2}, \dots, a(t)_{i,N}]$ в непрерывную (аналоговую) функцию отклонения $A_{i,n}(t)$ и в вектор отклонения $\overline{\Phi(A_{i,n}(t))}$, по которому определяют, в каком агрегате произошла нештатная ситуация (посредством допусковой оценки) и по состоянию которого запускается нечёткое моделирование. Эти действия производятся следующим образом: каждый параметр $a_{i,n}(t)$ в каждый момент времени подвергается статистическому анализу путём вычисления математического ожидания $am_{i,n}(t)$ на заданном интервале $T_{i,n}(t)$ с целью сравнения с эталоном, хранящимся в базе знаний $[a_{i,n \text{ эм}}(t), P_{i,n \text{ эм}}(t), T_{i,n}(t)]$, для чего вычисляют непрерывную (аналоговую) функцию отклонения

$$A_{i,n}(t) = 2 \frac{(am_{i,n}(T_{i,n}(t)) - a_{i,n \text{ эм}}(T_{i,n}(t)))}{P_{i,n \text{ эм}}(T_{i,n}(t))}, \quad (1)$$

где $a_{i,n \text{ эм}}(T_{i,n}(t))$ – математическое ожидание эталонного значения на интервале $T_{i,n}(t)$; $P_{i,n \text{ эм}}(T_{i,n}(t))$ – амплитуда эталонного значения на интервале $T_{i,n}(t)$; $i=1..k$, k – количество групп параметров агрегатов

или узлов объекта; $n=1..N_i$, N_i – количество параметров в группе i .

Для каждой группы параметров $a_{i,n}(t)$, относящейся к узлу или агрегату ($i=1..k$), в каждый момент времени вычисляют вектор отклонения

$$\overline{\Phi(A_{i,n}(t))} = \sqrt{\sum_{n=1}^N A_{i,n}(t)^2}. \quad (2)$$

На экране основного окна производится визуализация модели изделия с интегрированным отображением состояния каждого агрегата, при этом изображение агрегата принимает значение «зелёное» (норма), если величина вектора отклонения меньше «1», или принимает значение «красное» (не норма), если величина вектора отклонения больше или равно «1».

В случае обнаружения аномалии используется механизм принятия решения.

Этот механизм позволяет по интегрированному отображению достаточно тонко (точно) судить о степени штатного состояния объекта, а в случае отклонения от штатного состояния с чёткой оценкой диагностировать наступление той или иной нештатной ситуации. Кроме того, данный способ позволяет постоянно обучать систему при выявлении новых нештатных ситуаций.

Фазификатор 3 преобразует N -мерный чёткий (числовой) вектор $A_{i,n}(t)=[A_{i,1}(t), A_{i,2}(t), \dots, A_{i,N}(t)]$ в нечёткое множество дискретных состояний объекта ($AD_{i,n}(t)$), определяемое функцией принадлежности $m(AD_{i,n}(t))$ в соответствии с ранее описанным способом. Для этого производятся следующие действия. Определяются дискретные состояния объекта (дискретная функция отклонения)

$$AD_{i,n}(t) = \begin{cases} q, & \text{если } a_q \leq A_{i,n}(t) < a_{q+1}, \\ 0, & \text{если } -a_q < A_{i,n}(t) < a_q, \text{ при } q = 1, \\ -q, & \text{если } -a_q \Rightarrow A_{i,n}(t) > -a_{q+1}, \end{cases} \quad (3)$$

где a_q – пороговое значение функции отклонения. При необходимости по пред-

ставленному принципу можно создать любое количество дискретных состояний. В простейшем случае в качестве порогового значения может быть выбран один коэффициент, равный «1», при этом $a_{q+1} = \infty$; $q=1...Q$ – количество дискретных состояний для фазификации.

Затем вычисляется интегральная функция отклонения $\Phi(A_{i,n}(t))$, представляющая собой N_i -мерное пространство (где N_i – количество параметров в группе i , а каждое измерение – дискретная функция отклонения $AD_{i,n}(t)$), т.е. система дискретных характеристик контролируемого объекта

$$\Phi(A_{i,n}(t)) = [AD_{i,n}(t)]. \quad (4)$$

Таким образом формируют цветографическую матрицу состояний объекта, количество и номера элементов которой соответствуют количеству и номерам контролируемых параметров объекта, при этом элементам матрицы присваивают вычисленные значения дискретной функции отклонения $AD_{i,n}(t)$. Для дальнейших операций вектор $AD_{i,n}(t)$ преобразуют в нечёткий вектор $\{Ad_{i,n}(t), m(Ad_{i,n}(t))\}$ в соответствии со значением $AD_{i,n}(t)$ и количеством Q дискретных состояний фазификации:

$$Ad_{i,n}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } a_q \leq A_{i,n}(t) < a_{q+1}, \\ 0, & \text{если } -a_q < A_{i,n}(t) < a_q, \text{ при } q=1, \\ -1, & \text{если } -a_q \Rightarrow A_{i,n}(t) > -a_{q+1}, \end{cases} \quad (5)$$

$$m(Ad_{i,n}(t)) = \begin{cases} q/Q, & \text{если } a_q \leq A_{i,n}(t) < a_{q+1}, \\ 1, & \text{если } -a_q < A_{i,n}(t) < a_q, \text{ при } q=1, \\ q/Q, & \text{если } -a_q \Rightarrow A_{i,n}(t) > -a_{q+1}. \end{cases} \quad (6)$$

Сервер 4 баз знаний, на котором хранятся эталонные (чёткие) модели параметров в штатном состоянии и нечёткие модели в виде иерархической каталожной системы на жёстком диске (или структурированной СУБД) нештатных состояний изделия. На верхнем уровне в корневом каталоге располагается родительская модель нештатной ситуации, а в подкаталогах размещаются дочерние модели, уточняющие конкретную ситуацию и переходы из состояния в состояние. Фактически сервер хранит конфигурацию нейронной сети: описание нейронов (решающие правила) и коммутационную матрицу km транспорта между нейронами (с учётом веса дуг сети k). Таким образом, формируется нейронная сеть нештатных ситуаций, в каждом каталоге которой хранятся массивы измерительной информации, зарегистрированной на момент возникновения нештатной ситуации, дискретная ха-

рактеристика контролируемого объекта $M_j = \{Ad_{i,n}(t), m(Ad_{i,n}(t))\}$, коммутационная матрица (km) с весовыми коэффициентами, которым соответствует индекс нештатной ситуации (Ind), последовательность инструкций и рекомендаций по выходу из нештатной ситуации соответствующего индекса Ind .

Блоки нечёткого логического вывода 5, которые реализуют систему нечёткого вывода на базе универсальных персональных машин или просто вычислителей (по числу контролируемых подсистем, равных k). Эти устройства на основе нечёткого вывода по входному значению, принадлежащему одному нечёткому множеству и являющемуся результатом работы фазификатора, определяют выходные значения, принадлежащие другому нечёткому множеству, которые определяют нештатные состояния соответствующих подсистем по исходным

данным базы знаний соответствующей родительской модели. Блоки нечёткого вывода производят действия по принятию решения с использованием механизмов нечёткого вывода, оперируя нечёткими моделями нештатных ситуаций $M_j = \{Ad_{i,n}(t), m(Ad_{i,n}(t))\}$, при этом $Ad_{i,n}(t)$ принимает значения «1», «0», «-1», что соответствует «0» – «норма», «1» – «не норма», «-1» – «не норма». Каждая нечёткая модель хранится в базе знаний в виде иерархической каталожной системы на жёстком диске сервера баз знаний. На верхнем уровне в корневом каталоге располагается родительская модель нештатной ситуации, в подкаталогах размещаются дочерние модели, уточняющие конкретную ситуацию. Таким образом, формируется нейронная сеть нештатных ситуаций, в каждом каталоге которой хранятся массивы измерительной информации, зарегистрированной на момент возникновения нештатной ситуации, дискретная характеристика контролируемого объекта $M_j = \{Ad_{i,n}(t), m(Ad_{i,n}(t))\}$, последовательность инструкций и рекомендаций по выходу из нештатной ситуации. Вычислители скомпонованы по контролируемым подсистемам и обращаются к своему родительскому каталогу для получения решающих правил, они работают параллельно и дают независимые заключения по каждой из подсистем. Алгоритм работы вычислителя основан на оперативном преобразовании результатов допусковой оценки параметров в соответствующие информационные сигналы в зависимости от результатов допусковой оценки, факта и направления изменения динамического параметра с обобщением по всему множеству параметров на заданном временном интервале и анализа матрицы-диаграммы, являющейся матрицей состояния многопараметрического объекта контроля, количество и номера элементов которой соответствуют количеству и номерам контролируемых параметров объекта. При этом элементам матрицы присваивают вычисленные значения признаков соответствия, после чего форми-

руют цифровую форму-матрицу, представляющую собой сформированную в полярной системе координат фигуру, которую интерпретируют как образ состояния объекта контроля в момент окончания измерений (в момент идентификации нештатной ситуации) в заданном временном интервале. Обученная нейронная сеть является обучаемой искусственной нейронной сетью, причём каждый класс правил нечёткой логики реализуют отдельным фрагментом обучаемой большой искусственной нейронной сети (доменом или поддоменом), где число доменов (поддоменов) соответствует числу классов правил нечёткой логики в иерархии подсистем.

Дефазификатор 6 ставит в соответствие нечёткому входному значению, полученному в результате работы системы нечёткого вывода, некоторое чёткое (цифровое) значение выходного параметра, по которому определяют последовательность инструкций и рекомендаций по выходу из нештатной ситуации для каждой из родительской модели. Результатом работы дефазификатора является определение весовых коэффициентов коммутационная матрица (km). Весовые коэффициенты можно найти известными способами, например, относительно среднего центра:

$$k_j = \frac{\sum_{j=1..I} m(Adc_j) * Adc_j}{\sum_{j=1..I} m(Adc_j)}, \quad (7)$$

где Adc_j – центр j -го нечёткого правила; $m(Adc_j)$ – соответствующая функция принадлежности.

По индексу нештатной ситуации (Ind) определяют последовательность инструкций и рекомендаций по выходу из нештатной ситуации.

Устройство вывода данных 7 – цветные видеомониторы и устройства ввода-вывода (принтер, клавиатура и манипулятор типа «мышь»), предназначенные для вывода текущей интегральной функции отклонения в пространстве моделей нештатных ситуаций с отображени-

ем диагностического сообщения дефазификатора и возможностью производить обучение системы. На экранах диалоговых окон (цветных видеомониторов), относящихся к соответствующему агрегату, отображается его текущая интегральная функция отклонения в пространстве моделей нештатных ситуаций с отображением диагностического сообщения.

Интегральная функция отклонения i -й группы параметров графически изображается в N_i -мерном пространстве. Для удобства восприятия на экране монитора N_i -мерное пространство изображают в виде N_i -конечной звезды следующим образом: оси N_i -мерного пространства соединяют в точке «минусовой области» с радиальным шагом равным $360 / N_i$ градусов, на осях N_i -мерного пространства фиксируют относительное положение каждого параметра в виде точки на оси, при этом оси калибровочных параметров (каналов) располагают через 180 градусов. Полученную конфигурацию легко оценить по правилу:

- если конфигурация $AD_{i,n}(t)$ пространства – правильная окружность, то агрегат находится в штатном состоянии,

- если конфигурация $AD_{i,n}(t)$ пространства – деформированная окружность, то можно сделать вывод, что в агрегате возникли нештатные ситуации. Производится выявление нештатных ситуаций M_j , которые соответствуют нечёткому множеству $M_j = \{Ad_{i,n}(t), m(Ad_{i,n}(t))\}$.

При визуальной оценке интегральной функции эксперт может осуществить коррекцию нечёткой модели, тем самым он производит обучение системы с указанием иерархии и связи в нечёткой модели.

Мультиплексор 8 – канал передачи данных и коммутационное оборудование, предназначенное для осуществления передачи данных между входами и выходами устройств системы.

Рассмотрим работу данной системы на примере.

На рис. 3 а представлена интегральная функция отклонения $\Phi(A_{i,n}(t))$ при

нахождении агрегата в штатном состоянии.

На рис. 3 б представлена интегральная функция отклонения $\Phi(A_{i,n}(t))$ при возникновении нештатной ситуации агрегата. Пусть в момент времени t_1 , в агрегате «А» произошла нештатная ситуация №1 в результате чего параметры a_2, a_3, a_6 отклонились от нормального (эталонного) значения. Система вычислит интегральную функцию отклонения $\Phi(A_{i,n}(t))$, которая в основном окне блока визуализации повлияет на цвет графического образа агрегата «А» и изменит цвет на близкий к красному. Система автоматически задействует механизм принятия решения с указанием на конкретную нештатную ситуацию. Для этого фазификатор произведет расчёт нечёткого вектора $\{Ad_{i,n}(t), m(Ad_{i,n}(t))\}$ состояния объекта. Принятие решения производится с использованием механизмов нечёткого вывода и нечётких моделей нештатных ситуаций для агрегата «А». В дополнительном окне, относящемся к контролю агрегата «А» (на рабочей станции анализа подсистемы «А»), интегральная функция отклонения $\Phi(A_{i,n}(t))$ отобразится в графическом виде, показывающая оператору цветографическую форму. Она представляет собой сформированную в полярной системе координат фигуру, которую интерпретируют как образ состояния объекта контроля в момент возникновения нештатной ситуации. Также выдаётся последовательность рекомендаций по выходу из нештатного состояния №1. Специалист, увидев цветографическую форму, принимает решение о достоверности вывода системы. В случае недоверного определения нештатной ситуации специалист корректирует правила нечёткого вывода в интерактивном режиме. В данном примере система определила нештатную ситуацию достоверно, и поэтому никаких действий специалиста не требуется.

При моделировании получены следующие результаты, представленные в табл. 1.

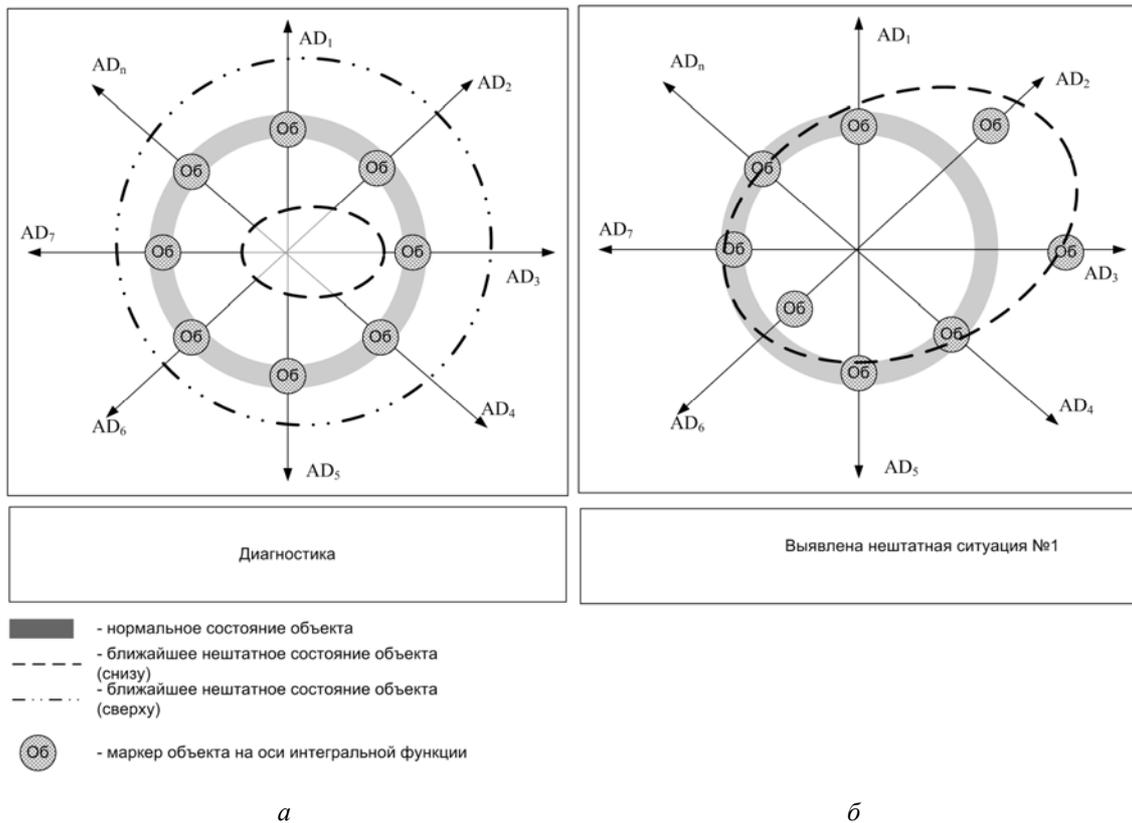


Рис 3. Интегральная функция отклонения $\Phi(A_{i,n}(t))$ в штатном (а) и нештатном (б) состоянии агрегата

Таблица 1. Результаты моделирования

Количество параметров	Количество правил	Достоверность результатов	Среднее время отклика на событие, с	Количество имитируемых неисправностей
10	50	1	0	500
100		1	0	
1000		1	0,001	
10000		0,998	0,5	
50000		0,998	1	
100000		0,996	2	
200000		0,99	2	

Полученные при моделировании данной системы результаты позволяют сделать вывод, что достигается эффект, заключающийся в оперативном обнаружении нештатной ситуации и причин её возникновения; в сокращении сроков анализа телеметрируемых объектов за счёт применения нечёткой логики в экспертном механизме принятия решения; в отображении на экране многоцветного монитора оценочных образов изделия на

основании сравнения с эталонными моделями; в визуализации оценки отклонения процессов на объекте с целью выявления схожих признаков нештатных ситуаций.

Данная система позволяет создать мощный информационный компонент позволяющий производить накопление базы данных (знаний) нештатных ситуаций и впоследствии развить систему контроля в систему поддержки принятия решений на основе нейронной сети.

Использование данной системы особенно актуально для контроля ракетной техники на технических и стартовых комплексах современных и перспективных космодромах Российской Федерации.

Библиографический список

1. Демидова, Л.А. Методы и алгоритмы принятия решений в задачах многокритериального анализа / Л.А. Демидова, А.Н. Пылькин. – М.: Горячая линия – Телеком, – 2007.

2. Леоненков, А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB fuzzy TECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.

3. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечётких множеств и нечёткую логику / С.Д. Штовба <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>.

4. Способ построения систем нечёткой логики и устройство для его реализации, Россия, патент №2417442, МПК G06N 7/02, 2008.

5. Распознающее устройство для нечётких нейронных сетей. Патент №2007110980, МПК G06N 3/06, 2007.

6. Нейронная сеть. Патент на полезную модель №66831, 2007.

7. Доменная нейронная сеть. Патент на полезную модель №72084, 2008.

8. Модульная вычислительная система. Патент на полезную модель №75247, 2008.

9. Капитонов, В.А. Среда автоматизированного анализа измерительной информации космических ракетносителей / В.А. Капитонов, А.В. Кононенко, С.А. Тихомиров // Актуальные проблемы ракетно-космической техники (III Козловские чтения): материалы конференции. – Самара, 2013.

10. Кононенко, А.В. Автоматизированный анализ телеметрической информации бортовой системы прогнозирования выработки топлива в баках ракетносителя 14А 14 / А.В. Кононенко // Материалы XVII Российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. Самара: ПГУТИ, 2010.

11. Тихомиров, С.А. Система автоматизированного проектирования алгоритмов обработки и анализа измерительной информации космических ракетносителей / С.А. Тихомиров // Материалы XV всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. – Рязань: РГРТУ, 2010.

ENVIRONMENT OF COMPUTER-AIDED ANALYSIS OF MEASUREMENT DATA OBTAINED FROM SPACE CARRIER ROCKETS

© 2013 V. A. Kapitonov¹, A. V. Kononenko¹, S. A. Tikhomirov²

¹Space Rocket Center “TsSKB-Progress”, Samara

²Branch of “TsSKB-Progress”–“Special Design Bureau “Spectr”, Ryazan

The paper deals with the environment of computer-aided analysis of measurement data obtained from space rockets. This environment is designed for analysis experts as analysis tools for measuring the data obtained during tests of space rocket equipment.

Telemetry, data processing and analysis.

Информация об авторах

Капитонов Валерий Алексеевич, доктор технических наук, главный конструктор – начальник отделения, ФГУП «ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”», г. Самара. E-mail: csdb@samspace.ru. Область научных интересов: создание изделий РКТ.

Кононенко Андрей Владимирович, заместитель начальника отдела, ФГУП «ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”», г. Самара. Область научных интересов: создание изделий РКТ.

Тихомиров Сергей Александрович, начальник отдела филиала ФГУП «ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”» - ОКБ «Спектр», г. Рязань. Область научных интересов: создание изделий РКТ.

Kapitonov Valeriy Alekseevitch, Doctor of Sciences (Engineering), Senior Lecturer, Chief Designer – Department Manager, Space Rocket Center «TsSKB Progress». E-mail: csdb@samtel.ru. Area of research: creation of aerospace products.

Kononenko Andrey Vladimirovich, Deputy Head of Department, Space Rocket Center «TsSKB Progress». E-mail: csdb@samtel.ru. Area of research: creation of aerospace products.

Tikhomirov Sergey Aleksandrovich, Head of Department, branch of Space Rocket Center «TsSKB Progress»-Design Bureau «Spectr». Area of research: creation of aerospace products.