

На правах рукописи



ТИХОМИРОВ Сергей Александрович

**АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ
ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(технические системы)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Рязань – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» (РГРТУ).

Научный руководитель: заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор
Корячко Вячеслав Петрович

Официальные оппоненты: Прохоров Сергей Антонович
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой информационных систем и технологий
ФГАОУ ВО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)», заслуженный работник высшей школы РФ.

Гуров Валерий Валентинович
кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных систем и технологий Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва.

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Научно-производственное объединение измерительной техники», г. Королев Московской обл.

Защита состоится 17 декабря 2014 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.01 в ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского государственного радиотехнического университета и на сайте «www.rsgeu.ru».

Автореферат разослан _____.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направить по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1, Рязанский государственный радиотехнический университет.



Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.211.01
кандидат технических наук, доцент

Пржегорлинский В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из важных задач обработки телеметрической информации космических ракет-носителей (РН) является оперативная оценка состояния РН при их испытаниях на заводах-изготовителях и космодромах. От эффективности и безошибочности оперативной оценки состояния РН зависит качественное выполнение задач пусковой компании. Сложность оценки состоит в том, что:

телеметрическая информация является разнородной по физической природе и динамическим характеристикам;

в процессе измерений могут возникнуть внешние факторы, влияющие на точность и достоверность измеряемых величин;

имеются жесткие временные ограничения на получение результатов анализа;

существует множество ситуаций, в которых комбинация отклонений контролируемых параметров от нормального (штатного) поведения дает определенную «нечеткость» в принятии решения об оценке возникшей ситуации. Поэтому для эффективного принятия решений требуется применение информационно-аналитических систем основанные на современных методах идентификации состояния многопараметрической системы и поддержки принятия решений.

В настоящее время, когда по ряду причин сокращаются сроки испытаний РН, когда количество одновременно контролируемых параметров компонентов сложных технических систем возросло в десятки раз, назрела насущная необходимость внедрения в ракетно-космической области экспертных систем для комплексного многокритериального анализа телеметрической информации, являющейся основным источником для оценки состояния бортовых систем РН в процессе изготовления, испытаний и подготовки к пуску.

К наиболее эффективным методам решения данной задачи следует отнести применение экспертных систем и методов поддержки принятия решений на основе теории нечетких множеств (ТНМ) и нечеткой логики. Применение экспертных систем (систем принятия решений) не только минимизирует влияние «человеческого фактора» и увеличивает скорость принятия решения, но и позволяет значительно уменьшить штат обслуживающего персонала, что в свою очередь уменьшает стоимость владения данными системами.

О важности развития алгоритмов принятия решений в задачах многокритериального анализа на основе ТНМ говорят ежегодно появляющиеся публикации, посвященных данной тематике. Основу современной ТНМ составляют работы Л. Заде по теории нечеткой меры и меры возможности, М.Сугено (M. Sugeno), Э. Мамдани (E Mamdani) по нечеткому выводу и нечеткому интегралу, Дж. Беждека (J. Bezdek) по нечеткой кластеризации и распознаванию образов, Р. Ягера (R. R. Yager) по нечеткой логике. Также исследования в области искусственного интеллекта связывают с работами А. Ньюэлла, Г. Саймона и Дж. Шоу, исследовавших процессы решения задач. В дальнейшем эти работы развивались многими российскими и зарубежными исследователями, такими как М.Л.Цетлин, В.Н. Пушкин, М.А. Гаврилов, М.М. Бонгард, Д.А. Пospelов, В.П. Корячко, А.Н. Пылькин, С.А. Прохоров, Л.А. Демидова и др.

Объектом исследования являются процессы обработки и анализа телеметрической информации.

Предмет исследования – алгоритмы анализа телеметрической информации и поддержки принятия решений в системах автоматизации испытаний космических ракет-носителей обеспечивающие объективность и оперативность принятия решений.

Целью диссертационной работы является повышение объективности, оперативности и уровня автоматизации информационно-аналитического обеспечения процессов подготовки и пуска РН в системах обработки и анализа телеметрической информации за счет разработки новых алгоритмов анализа телеметрической информации многопараметрического объекта (ракеты-носителя).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **основные задачи**:

- провести исследование существующих и перспективных методов анализа ТМИ и принятия решений для осуществления контроля штатного состояния бортовых систем РН, оперативного диагностирования неисправностей, оценки летно-технических характеристик;

- провести исследование поведения системы анализа телеметрической информации при подготовке и пуске РН, выработать технические предложения обеспечивающие высокий уровень автоматизации, объективность и оперативность принятия решений;

- разработать алгоритм экспертного анализа телеметрической информации многопараметрического объекта, обеспечивающего автоматизацию процесса анализа, объективность аналитической оценки и скорость принятия решений по анализу технического состояния объекта контроля;

- разработать алгоритм интерактивного анализа телеметрической информации и представления оценок состояния бортовых систем РН;

- разработать алгоритмы формирования баз знаний штатного и нештатных состояний бортовых систем РН для обеспечения экспертного анализа телеметрической информации;

- провести анализ эффективности внедрения и применения разработанного алгоритма экспертного анализа телеметрической информации многопараметрического объекта.

Научная новизна. Научная новизна диссертационной работы определяется тем, что в ней впервые предложены:

- алгоритм экспертного анализа телеметрической информации, отличающийся от известных тем, что при его реализации предложено использовать элементы теории экспертных систем, теории нечетких множеств и нечеткой логики, что позволило обеспечить высокий уровень объективности оценок, снизить влияние «человеческого фактора» на процесс принятия решений, повысить оперативность локализации неисправности и выработки технических решений для предотвращения возможных нежелательных последствий (т.е. для парирования нештатных ситуаций);

- алгоритм интерактивного анализа телеметрической информации и представления оценок состояния бортовых систем РН, отличающийся от известных тем, что позволяет обеспечить отображение состояния бортовых систем РН в виде многопараметрического «образа» качественных оценок протекающих в них процессов, с учетом «нечеткости» этих оценок и повысить оперативность принятия решений при переходе систем из штатного состояния;

– алгоритмы формирования баз знаний штатного и нештатных состояний бортовых систем РН для системы экспертного анализа телеметрической информации, отличающиеся от известных тем, что они позволяют сформировать совокупность фактов штатного поведения телеметрируемых процессов и правил вывода для идентификации нештатного состояния бортовых систем РН.

Практическая значимость работы. Разработанные алгоритмы автоматизированной обработки и экспертного анализа телеметрической информации многопараметрического объекта обеспечивают:

– сокращение времени принятия решений (до одной секунды), что позволяет, в реальном времени, при возникновении известной нештатной ситуации, не допустить ее перерастание в аварийную;

– повышение объективности принятия решений при анализе телеметрической информации РН;

– повышение функциональных возможностей и эффективности работы персонала (инженеров-испытателей и руководителей работ) в процессе эксплуатации сложных объектов, за счет автоматизации поддержки принятия решений при отклонениях от нормального хода процессов на контролируемом объекте;

– накопление знаний по нештатным ситуациям и замечаниям при проведении испытаний и пусков РН.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовалась общая теория систем, системный анализ, теория нечетких множеств, теория многокритериального принятия решений, метод и язык UML.

Область исследования. Содержание диссертации соответствует следующим пунктам Паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации»: п.9 «Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических, экономических, биологических, медицинских и социальных объектов», п.10 «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в технических, экономических, биологических, медицинских и социальных системах», п.13 «Методы получения, анализа и обработки экспертной информации».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика» (Рязань, 2007 и 2013 г.г.), «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» (Самара, 2009 и 2013 г.г.), «XV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов» (Рязань, 2010 г.), «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань, 2012 г.), «XVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов» (Рязань, 2013).

Положения диссертационной работы апробированы при защите НИР, эскизных и технических проектов ОКР (НИР: «Вольфрам», «Зрелище», СЧ ОКР «Русь-М», «ТК-Восток», «СК-Восток»).

Внедрение. Результаты работы в основном использованы ОАО «РКЦ «Прогресс» при разработке автоматизированной экспертной системы анализа телеметрической информации РН «Союз-2» для космодрома «Восточный» (система АЭС ТМИ КТМЯ.461271.172).

Внедрение результатов подтверждено соответствующими актами.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается математическими обоснованиями и доказательствами, а также проверками в

ходе практической реализации основных результатов диссертационной работы при разработке системы АЭС ТМИ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, из них 3 статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК России для публикации результатов кандидатских диссертаций.

Положения, выносимые на защиту:

- алгоритм экспертного анализа телеметрической информации;
- алгоритм интерактивного анализа телеметрической информации и представления оценок состояния бортовых систем РН;
- алгоритм формирования баз знаний штатного состояния бортовых систем РН для системы экспертного анализа телеметрической информации;
- алгоритм формирования баз знаний нештатных состояний бортовых систем РН для системы экспертного анализа телеметрической информации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения, списка литературы и приложения. Основной текст содержит 150 страниц, 63 рисунка. Список литературы содержит 10 страниц и включает 109 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава «Анализ задач решаемых системами анализа телеметрической информации и современных подходов к построению этих систем. Выбор направлений исследований» посвящена анализу состояния объекта автоматизации, анализу задач построения систем обработки и анализа телеметрической информации и требований к информационно-аналитическому обеспечению испытаний и пусков РН.

Выполнен анализ принципов построения и функционирования современных систем анализа ТМИ, выявлены их недостатки. Проведен анализ инструкций по обработке ТМИ РН и оценке состояний бортовых систем РН «Союз» в Гвианском космическом центре (Французская Гвиана). Исследованы задачи обработки и анализа телеметрической информации (ТМИ) при испытаниях ракетоносителей и определены основные требования к системе анализа телеметрической информации.

Проанализированы процессы обработки и анализа телеметрической информации и информационного обеспечения испытаний РН.

Сделаны выводы:

- применяемые в настоящее время на заводах-изготовителях РН и космодромах РФ технологии и системы обработки и анализа телеметрической информации построены на основе информационных систем отображения информации, алгоритмов «четкого» допускового контроля, технологий баз данных. Принятие решений производится с использованием неавтоматизированных методов экспертных оценок, оперативность и эффективность применения которых зависит от квалификации и внимания инженера-испытателя (эксперта);
- в области анализа ТМИ, знания являются личным опытом экспертов – аналитиков;
- для повышения объективности результатов анализа по существующей технологии необходимо привлекать большое количество инженеров-испытателей, контролирующих конкретные процессы и состояния подсистем РН;

– предметная область анализа телеметрической информации нуждается в применении экспертных систем.

Определены главные направления исследований по совершенствованию архитектуры системы и алгоритмов анализа ТМИ РН (см. Положения, выносимые на защиту).

Во второй главе «Разработка модели поведения системы анализа телеметрической информации» по результатам анализа требований (задач) к системе анализа телеметрической информации разработаны организационная и функциональная структуры системы анализа телеметрической информации, а также модель поведения системы.

Для проектирования основных алгоритмических принципов построения системы анализа телеметрической информации, наиболее важную роль играет качественное и всестороннее ее конструирование с точки зрения динамических аспектов. В связи с этим выполнено моделирование поведения системы анализа телеметрической информации путем разработки соответствующих UML-диаграмм:

– диаграмм вариантов использования системы анализа телеметрической информации на комплексном испытательном стенде (КИС) завода-изготовителя РН, техническом комплексе (ТК) и стартовом комплексе (СК) космодрома, конструкторском бюро (КБ) Генерального конструктора РН, позволяющих произвести концептуальное моделирование системы;

– диаграмм состояний системы анализа ТМИ на КИС, ТК, СК, в КБ, позволяющих произвести моделирование последовательности состояний системы и переходов при ее эксплуатации;

– диаграмм деятельности: «Проверка исправности средств обработки и анализа», «Подготовка (загрузка) исходных данных», «Обработка и анализ ТМИ», «Информационное обеспечение запуска РН», «Разработка отчета Генерального конструктора по результатам подготовки и запуска РН», позволяющих произвести моделирование действий и вычислений внутри механизма состояний системы.

Показано, что наиболее важными аспектами автоматизации в системе анализа телеметрической информации являются процессы:

- проведения автоматизированной экспертной оценки и выдачи заключения;
- визуализации и сохранения результатов анализа;
- формирования базы знаний штатного состояния бортовых систем РН;
- формирования базы знаний нештатных состояний бортовых систем РН.

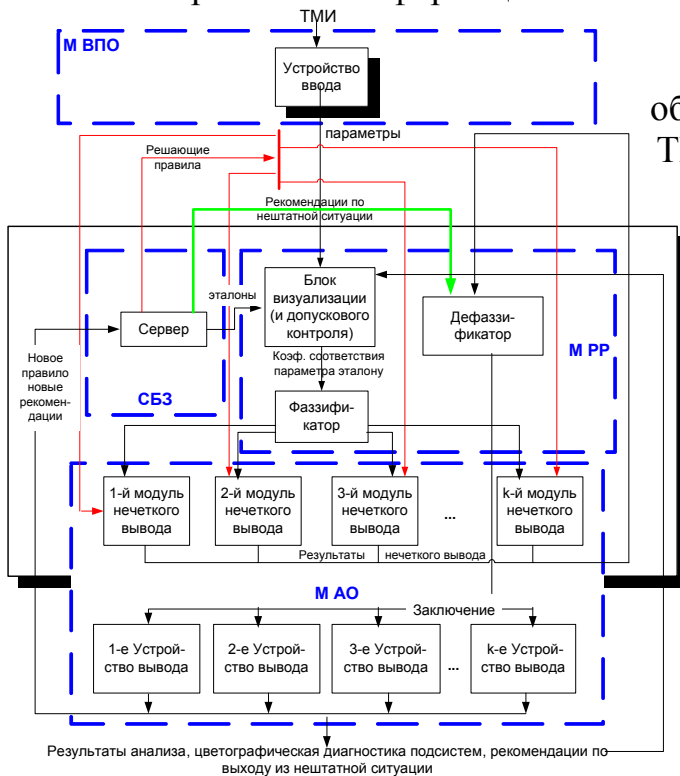
В третьей главе «Разработка алгоритмов автоматизированного экспертного анализа телеметрической информации» по результатам моделирования разработаны концептуальные архитектурные решения по созданию экспертной системы анализа телеметрической информации, а также основные алгоритмы для обеспечения ее функционирования.

Предложена архитектура экспертной системы анализа ТМИ РН (рисунок 1).

Принцип работы системы заключается в следующем: ТМИ от комплекса первичной обработки ТМИ поступает в устройство ввода М ВПО, где производится получение массива параметров функционирования бортовых систем РН. Массив параметров функционирования изделия поступает на блок визуализации и допускового контроля М РР, где производится допусковой контроль этих параметров путем переноса абсолютных значений контролируемых параметров в область относительных

допусковых оценок с использованием накопленной информации базы знаний. Полученные в результате операции допускового контроля коэффициенты отклонения от нормы подвергаются комплексной оценке, по результатам которой фиксируется отклонение от нормы состояния подсистем РН. В случае обнаружения какого-либо отклонения запускается механизм принятия решения, для чего производится фаззификация коэффициентов отклонения от нормы (фаззификация входных параметров), нечеткий логический вывод, дефаззификация и выработка заключения по идентификации нештатной ситуации.

Принцип работы системы основан на применении алгоритма экспертного анализа телеметрической информации.



М ВПО – модуль ввода, первичной обработки и оперативного представления ТМИ;

М АО – модули инженеров-испытателей (анализаторов) по количеству подсистем РН (в общем случае М АО может состоять из k пар модулей, каждая из которых состоит из модуля нечеткого вывода i -й подсистемы и устройства вывода i -й подсистемы ($i = \overline{1, k}$);

М РР – модуль обработки и анализа основных параметров функционирования РН и интегрированной оценки результатов ЛКИ (модуль руководителя работ);

СБЗ – сервер баз знаний.

Рисунок 1 – Экспертная система анализа ТМИ РН

Алгоритм экспертного анализа телеметрической информации многопараметрического объекта

Алгоритм содержит 5 блоков вычислений: «Ввод ТМИ», «Визуализация и допусковый контроль», «Фаззификация», «Нечёткий логический вывод», «Дефаззификация» и два блока условного перехода: «Окончание приема ТМИ», «Обнаружена ненорма». Данный алгоритм состоит в том, что на вход блока «Ввод ТМИ», начиная с момента начала регистрации ТМИ ($t_{нач}$), с периодом dt поступает порция данных ТМИ, при этом выход этого блока соединен с входом блока условного перехода «Окончание приема ТМИ». Выход «нет» блока «Окончание приема ТМИ» соединен с входом блока «Визуализация и допусковый контроль», а выход «да» завершает вычисления при достижении времени окончания регистрации ТМИ ($t_{кон}$). Выход блока «Визуализация и допусковый контроль» соединен с входом блока условного перехода «Обнаружена ненорма», выходы которого: «да» соединены с входом блока «Фаззификация»; «нет» - с входом блока «Ввод ТМИ». Выход блока «Фаззификация» соединен с входом блока «Нечёткий логический вывод», выход которого в свою очередь соединен с входом блока «Дефаззификация». Блок «Де-

фаззификация» завершает цикл вычислений для текущего момента времени $t = t_{нач} + l * dt$, ($l = 0, \frac{t_{кон} - t_{нач}}{dt}$) для чего его выход соединяется с входом блока «Ввод ТМИ». Далее описаны блоки вычисления.

Блок «Ввод ТМИ» – блок приема и регистрации массивов достоверных значений первичных параметров i -й подсистемы РН: функциональных $pF_{i,mf_i}(t)$ ($i = \overline{1, k}$; $mf_i = \overline{1, MF_i}$), контактных $pD_{i,md_i}(t)$ ($i = \overline{1, k}$; $md_i = \overline{1, MD_i}$), кодовых $pK_{i,mk_i}(t)$ ($i = \overline{1, k}$; $mk_i = \overline{1, MK_i}$), а также первичную обработку и получение N_i -мерного чёткого вектора $[a_{i,1}(t), a_{i,2}(t), \dots, a_{i,N_i}(t)]$:

– для функционального параметра: $a_{i,n_i}(t) = pF_{i,mf_i}(t)$ ($n_i = \overline{1, MF_i}$; $mf_i = \overline{1, MF_i}$);
 – для контактного параметра: $a_{i,n_i}(t) = OVD(pD_{i,md_i}(t))$ ($n_i = \overline{MF_i + 1, MF_i + MD_i}$, $md_i = \overline{1, MD_i}$).

Функция $OVD(pD_{i,md_i}(t))$ вычисляет относительное время последнего срабатывания контактного параметра $pD_{i,md_i}(t)$ (его перехода из одного дискретного состояния в другое: «0» → «1» или «1» → «0»).

– для кодового параметра: $a_{i,n_i}(t) = OVK(pK_{i,mk_i}(t), cdr_{n_i})$ ($n_i = \overline{MF_i + MD_i + 1, MF_i + MD_i + \sum_{mk_i=1}^{MK_i} r_{i,mk_i}}$; $mk_i = \overline{1, MK_i}$). Функция $OVK(pK_{i,mk_i}(t), cdr_{n_i})$ формирует r_{i,mk_i} расчетных значений относительного времени, при этом каждое n_i значение соответствует времени последнего перехода параметра $pK_{i,mk_i}(t)$ в cdr_{n_i} кодовое «состояние».

Примечание:

1) $a_{i,n_i}(t)$ – физическое значение контролируемого n_i -го параметра i -й подсистемы РН ($i = \overline{1, k}$; $n_i = \overline{1, N_i}$); k – количество подсистем;

2) MF_i, MD_i, MK_i – количество первичных физических, контактных (дискретных), кодовых параметров i -й подсистемы соответственно ($i = \overline{1, k}$);

3) $N_i = MD_i + MF_i + \sum_{mk_i=1}^{MK_i} r_{i,mk_i}$ – общее количество контролируемых процессов (параметров) i -й подсистемы ($i = \overline{1, k}$; $mk_i = \overline{1, MK_i}$);

4) r_{i,mk_i} – количество «состояний» процесса, который фиксируется mk_i кодовым параметром i -й подсистемы ($i = \overline{1, k}$; $mk_i = \overline{1, MK_i}$);

5) cdr_{n_i} – значение кодового параметра, при котором считают, что mk_i процесс i -й подсистемы РН переходит в одно из r_{i,mk_i} состояний

($n_i = \overline{MF_i + MD_i + 1, MF_i + MD_i + \sum_{mk_i=1}^{MK_i} r_{i,mk_i}}$, $mk_i = \overline{1, MK_i}$);

6) t – значение времени на интервале $[t_{нач}, t_{кон}]$ регистрации ТМИ; $t_{нач}, t_{кон}$ – соответственно время начала и окончания регистрации ТМИ.

Блок «Визуализация и допусковый контроль» – блок, преобразующий значения элементов (контролируемых параметров) $a_{i,n_i}(t)$ ($i = \overline{1, k}$; $n_i = \overline{1, N_i}$) N_i -мерного чёткого вектора $[a_{i,1}(t), a_{i,2}(t), \dots, a_{i,N_i}(t)]$ в значения характеристик отклонений $A_{i,n_i}(t)$ ($i = \overline{1, k}$; $n_i = \overline{1, N_i}$) и в значение показателя отклонения $\Phi_i(t)$ ($i = \overline{1, k}$), по которому определяют в какой подсистеме произошла нештатная ситуация.

Значение характеристики отклонения $A_{i,n_i}(t)$ вычисляется путем переноса физического значения параметра в область допусковых характеристик:

$$A_{i,n_i}(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } a_{i,n_i}^{\min}(t) \leq a_{i,n_i}(t) \leq a_{i,n_i}^{\max}(t); \\ (a_{i,n_i}(t) - a_{i,n_i}^{\max}(t)) / AM_{i,n_i}(t), & \text{если } a_{i,n_i}^{\max}(t) < a_{i,n_i}(t); \\ (a_{i,n_i}^{\min}(t) - a_{i,n_i}(t)) / AM_{i,n_i}(t), & \text{если } a_{i,n_i}^{\min}(t) > a_{i,n_i}(t); \end{cases} \quad (1)$$

где $AM_{i,n_i}(t) = a_{i,n_i}^{\max}(t) - a_{i,n_i}^{\min}(t)$.

Для каждой i -й подсистемы РН на основе значений характеристик отклонения $A_{i,n_i}(t)$ ($i = \overline{1, k}$; $n_i = \overline{1, N_i}$) в каждый момент времени t вычисляется значение показателя

$$\text{отклонения } \Phi_i(t) = \sqrt{\sum_{n_i=1}^{N_i} A_{i,n_i}^2(t)}, \quad (i = \overline{1, k}) \quad (2)$$

Значение $\Phi_i(t)$ является интегральным показателем текущего состояния подсистемы:

- $\Phi_i(t) \leq sht_i$ – i -я подсистема находится в штатном состоянии, при заранее определенном sht_i (пороговом значении показателя отклонения);

- $\Phi_i(t) > sht_i$ – в i -й подсистеме произошла по крайней мере одна аномалия (обнаружена «ненорма» контролируемого параметра) и находится в нештатном состоянии. Величина показателя отклонения показывает «степень» опасности нештатной ситуации в i -й подсистеме.

В случае обнаружения аномалии запускается механизм принятия решения, при этом осуществляется передача данных на блок фаззификации.

В случае нахождения i -й подсистемы в штатном состоянии производится запуск алгоритма формирования базы знаний эталонов штатного поведения.

Блок «Фаззификация» – блок, преобразующий N_i -мерный четкий (числовой) вектор $[A_{i,1}(t), A_{i,2}(t), \dots, A_{i,N_i}(t)]$ во входные значения дискретных состояний параметров $Ad(A_{i,n_i}(t))$ и соответствующие им значения функций принадлежности $m(A_{i,n_i}(t))$ ($i = \overline{1, k}$; $n_i = \overline{1, N_i}$). Величина $Ad(A_{i,n_i}(t))$ характеризует оценку «допустимости» значения n_i -го параметра и может принимать значения «1», «0», «-1»; значение «0» соответствует понятию «норма», «1» - «ненорма сверху», «-1» - «ненорма снизу».

При этом:

$$Ad(A_{i,n_i}(t)) = \begin{cases} -1, & \text{если } A_{i,n_i}(t) < -p_{i,n_i,1}; \\ 0, & \text{если } -p_{i,n_i,1} \leq A_{i,n_i}(t) \leq p_{i,n_i,1}; \\ 1, & \text{если } A_{i,n_i}(t) > p_{i,n_i,1}; \end{cases} \quad (3)$$

где $p_{i,n_i,q_{n_i}}$, ($i = \overline{1, k}$; $n_i = \overline{1, N_i}$; $q_{n_i} = \overline{1, Q_{n_i}}$) – пороговые значения характеристики отклонения $A_{i,n_i}(t)$.

Величина $m(A_{i,n_i}(t))$ характеризует степень принадлежности значения n_i -го параметра $A_{i,n_i}(t)$ его дискретному состоянию $Ad(A_{i,n_i}(t))$ (степень выраженности данного состояния). При этом величины $A_{i,n_i}(t)$ и значения функции принадлежности $m(A_{i,n_i}(t))$ ($i = \overline{1, k}$; $n_i = \overline{1, N_i}$) могут быть определены в $2 \cdot Q_{n_i} + 1$ интервале, а функция принадлежности $m(A_{i,n_i}(t))$ будет иметь вид (рисунок 2).

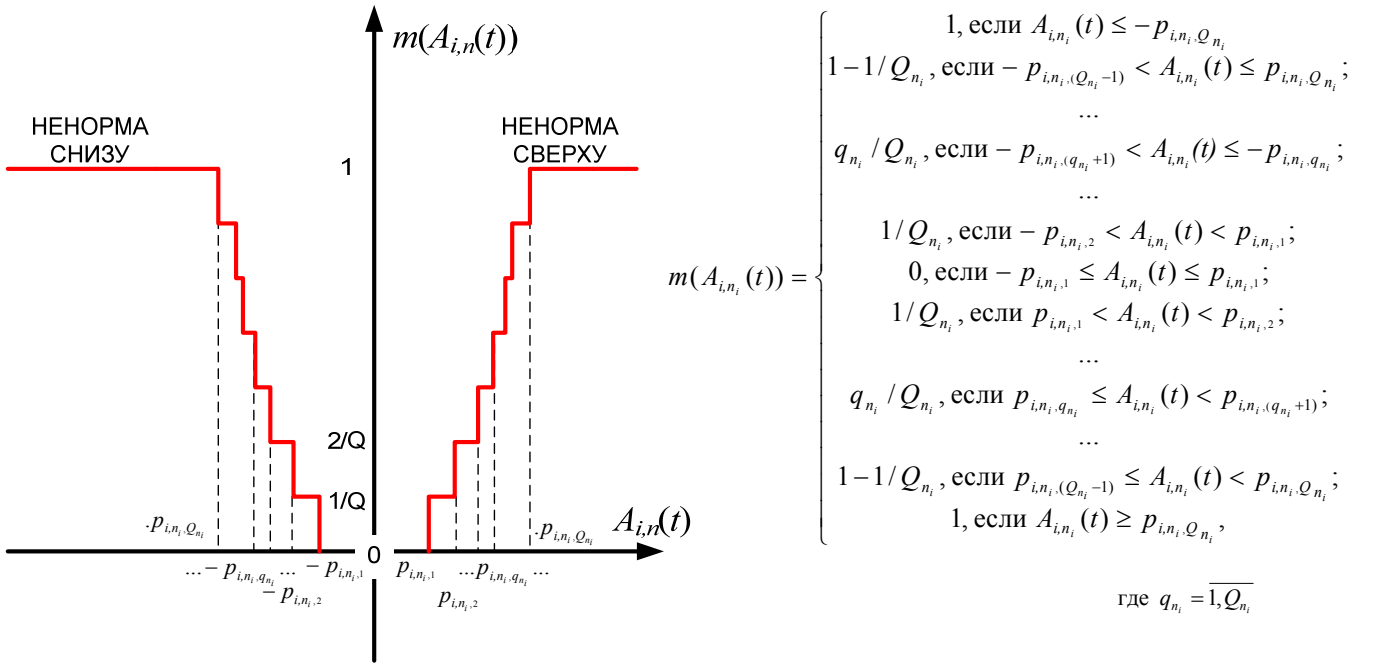


Рисунок 2 – Вид функции принадлежности $m(A_{i,n_i}(t))$

Блок «Нечёткий логический вывод» реализует систему нечёткого вывода (рисунок 1, модуль М АО). Этот блок на основе правил нечёткого вывода по входным значениям $\{Ad(A_{i,n_i}(t)), m(A_{i,n_i}(t))\}$ ($i = \overline{1, k}$; $n_i = \overline{1, N_i}$), являющихся результатом фаззификации в блоке 3, определяет выходные значения $\{Adc_{i,n_i}^j(t), m(Adc_{i,n_i}^j(t))\}$ ($i = \overline{1, k}$; $n_i = \overline{1, N_i}$; $j = \overline{1, J}$), каждый элемент которого характеризует наличие (или отсутствие) признака некоторой j -й нештатной ситуации выявленного по n_i параметру и степень выраженности данной ситуации по этому признаку.

Признаки некоторой j -й нештатной ситуации описываются величинами:

- $Md_{i,n_i}^j(t)$ - характеризует некоторое дискретное состояние n_i -го параметра, влияющее на возникновение j -й нештатной ситуации, и может принимать одно из значений «1», «0», «-1», «2», которые сопоставлены соответственно понятиям: «1» - «ненорма сверху»; «0» - «норма»; «-1» - «ненорма снизу», «2» - «ненорма сверху или снизу»;
- $m(Md_{i,n_i}^j(t))$ - является экспертной оценкой степени выраженности влияния n_i -го параметра ($n_i = \overline{1, N_i}$) i -й подсистемы ($i = \overline{1, k}$) на возникновение j -й ($j = \overline{1, J}$) нештатной ситуации.

Правила выявления j -й нештатной ситуации (НШС) имеют следующий вид:

1. «Если $Ad(A_{i,n_i}(t))$ и $Md_{i,n_i}^j(t) = 1$, то НШС есть j со степ. выражен. $m(Md_{i,n_i}^j(t))$ »;
2. «Если $Ad(A_{i,n_i}(t))$ и $Md_{i,n_i}^j(t) = -1$, то НШС есть j со степ. выражен. $m(Md_{i,n_i}^j(t))$ »;
3. «Если ($Ad(A_{i,n_i}(t)) = 1$ или $Ad(A_{i,n_i}(t)) = -1$) и $Md_{i,n_i}^j(t) = 2$, то НШС есть j с $m(Md_{i,n_i}^j(t))$ ».

В каждый момент времени t для выявления j -й нештатной ситуации по каждому признаку может применяться только одно из правил 1 – 3 в группе правил (4).

$$\text{Каждое правило, } R(Ad(A_{i,n_i}(t)), Md_{i,n_i}^j(t)) = m(Md_{i,n_i}^j(t)) \quad (5)$$

описанное в базе знаний, выявления j -й нештатной ситуации сопоставляет значению характеристики отклонения $A_{i,n_i}(t)$ n_i -го параметра ($n_i = \overline{1, N_i}$) i -й подсистемы ($i = \overline{1, k}$)

на основе вычисленного значения величины $Ad(A_{i,n_i}(t))$ некоторую j -ю нештатную ситуацию со степенью выраженности влияния n_i -го параметра на нее, равной $m(Md_{i,n_i}^j(t))$.

В результате применения правил для каждого n_i -го параметра ($n_i = \overline{1, N_i}$) i -й подсистемы ($i = \overline{1, k}$) формируются J выходных значений $\{ Adc_{i,n_i}^j(t), m(Adc_{i,n_i}^j(t)) \}$ ($j = \overline{1, J}, n_i = \overline{1, N_i}$), при этом для фиксированного номера j нештатной ситуации полагается:

- при наличии какого-либо активного правила в группе правил (4) (что означает возможность этой j -й нештатной ситуации):

$$Adc_{i,n_i}^j(t) = m(A_{i,n_i}(t)) \text{ и } m(Adc_{i,n_i}^j(t)) = m(Md_{i,n_i}^j(t));$$

- при отсутствии активных правил в группе правил (4) (что означает невозможность этой j -й нештатной ситуации):

$$Adc_{i,n_i}^j(t) = 0 \text{ и } m(Adc_{i,n_i}^j(t)) = m(Md_{i,n_i}^j(t)).$$

Блок «Дефаззификация» – блок, в котором в соответствие J выходным значениям $\{ Adc_{i,n_i}^j(t), m(Adc_{i,n_i}^j(t)) \}$ ($i = \overline{1, k}; n_i = \overline{1, N_i}; j = \overline{1, J}$), полученным в результате работы системы нечёткого вывода, ставится некоторое чёткое (числовое) значение выходного параметра, по которому определяют последовательность инструкций и рекомендаций по выходу из нештатной ситуации (для ее парирования).

Весовой коэффициент j -й ($j = \overline{1, J}$) нештатной ситуации в i -й подсистеме может

$$\text{быть вычислен как: } w_i^j(t) = \frac{\sum_{n_i=1}^{N_i} m(Adc_{i,n_i}^j(t)) \cdot Adc_{i,n_i}^j(t)}{\sum_{n_i=1}^{N_i} m(Adc_{i,n_i}^j(t))}. \quad (6)$$

Нештатная ситуация j^* считается произошедшей в i -й подсистеме, если $w_i^{j^*}(t) = \max_{j=1, J}(w_i^j(t))$ и $w_i^{j^*}(t) \geq kch_i$, где kch_i - пороговое значение степени (веса) проявления нештатной ситуации ($kch_i \in [0; 1]$). В случае, если $w_i^{j^*}(t) < kch_i$, то нештатная ситуация в i -й подсистеме считается не идентифицированной, в результате чего в системе активизируются процедуры интерактивного анализа для диалога с экспертом по выявлению нештатной ситуации, и алгоритм формирования базы знаний правил системы нечеткого вывода.

Алгоритм интерактивного анализа ТМИ и представления данных системы нечеткого вывода

Предлагаемый алгоритм позволяет оперативно обнаруживать новые нештатные ситуации и производить визуальный контроль правильности работы системы нечеткого вывода с целью коррекции (обучения).

Данная цель достигается с помощью:

- отображения на экране многоцветного монитора оценочных образов состояния бортовых систем изделия на основании визуального сравнения с эталонными моделями его штатного поведения;

- представления оценок отклонения процессов на объекте, представленных в дискретных величинах $Ad(A_{i,n_i}(t))$ и соответствующих им значениях функций принадлежности $m(A_{i,n_i}(t))$, с целью выявления новых признаков нештатных ситуаций.

Сущность данного алгоритма анализа состоит в том, что значения N_i параметров телеметрической информации контролируемого объекта преобразуются в характеристики отклонения, которые вычисляются путем переноса физического значения параметра в дискретные области допусковых характеристик $Ad(A_{i,n_i}(t))$: «ненорма сверху»=1, «норма»=0, «ненорма снизу»=-1. При этом для каждого контролируемого параметра кроме оценки «ненорма сверху» и «ненорма снизу» должна быть рассчитана характеристика степени принадлежности состояния параметра этим областям $m(A_{i,n_i}(t))$. Далее на графике изображается интегральный образ состояния подсистемы созданный путем визуализации дискретного состояния каждого контролируемого процесса, одним из способов:

- 1) в полярной системе координат (на лепестковой диаграмме);
- 2) в прямоугольной системе координат.

Первый способ (с использованием полярной системы координат) заключается в отображении состояния параметра на одной из трех концентрических окружностей соответствующих понятиям «ненорма сверху», «норма», «ненорма снизу», угловая координата α_{n_i} параметра ($n_i = \overline{1, N_i}$) i -й подсистемы ($i = \overline{1, k}$) определяется как $\alpha_{n_i} = 360 * n_i / N_i$. Степень принадлежности параметра областям «ненорма сверху» или «ненорма снизу» отображается цветовой гаммой в градации белый-красный с отображением значения степени принадлежности.

На рисунке 3 (левая диаграмма) приведен пример реализации описанного способа.

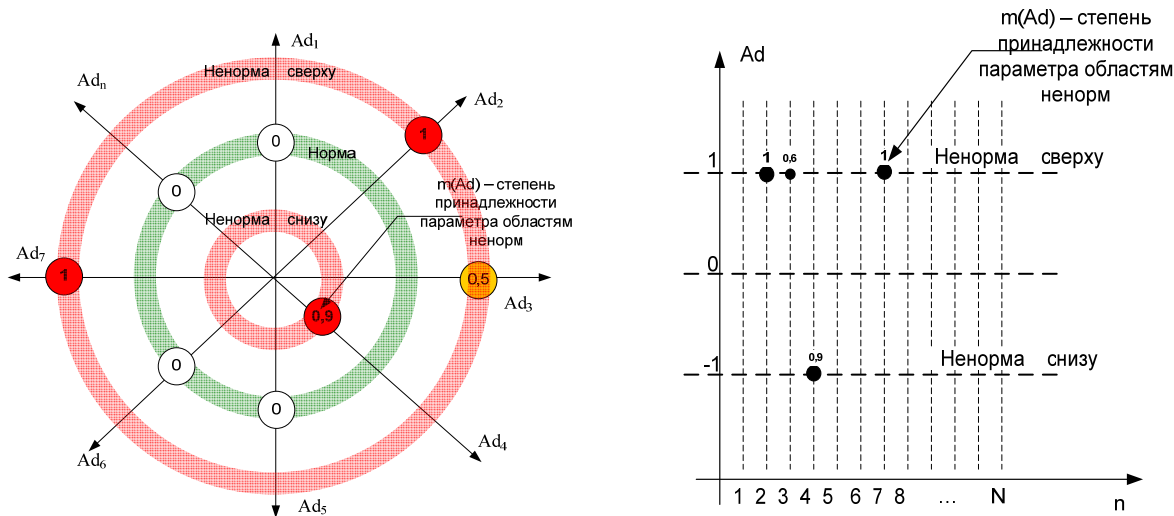


Рисунок 3 – пример реализации алгоритма двумя способами

Второй способ (с использованием прямоугольной системы координат) заключается в отображении состояния параметра на одной из двух позиций по оси ординат («ненорма сверху» и «ненорма снизу»), координата по оси абсцисс соответствует номеру параметра, а степень принадлежности параметра областям «ненорма сверху» или «ненорма снизу» отображается величиной маркера-«пузырька» (чем больше значение степени принадлежности, тем больше «пузырек») и отображением значения степени принадлежности.

На рисунке 3 (правая диаграмма) приведен пример реализации описанного способа.

Также для визуализации степени принадлежности параметра областям «ненорма сверху» или «ненорма снизу» в полярной или прямоугольной системе координат «маркер» состояния параметра может отображаться на «нечетких» позициях относи-

тельно областей «ненорма сверху»-«норма»-«ненорма снизу», что обеспечивает наглядность динамики развития аномалии и выявляет корреляцию процессов. Отображение же состояний установившихся процессов на «четких» позициях позволяет эксперту сконцентрироваться на выявлении существенных признаков нештатной ситуации по характерной «конфигурации». Поэтому, для проведения эффективного интерактивного анализа телеметрической информации необходимо отображать мгновенное состояние контролируемого процесса на «нечеткой» позиции - в виде гистограммы, а на «четких» позициях - маркером отображают установившееся состояние за время $t_{оценки}$ с учетом допустимого процента «ненорм».

Алгоритм формирования базы знаний эталонов штатного поведения для обеспечения автоматизированной обработки и экспертного анализа телеметрической информации многопараметрического объекта

Для обеспечения исходными данными системы нечеткого вывода необходима заполненная база знаний эталонов штатного поведения параметров функционирования подсистем РН в которой хранятся:

- 1) допусковые границы $[a_{i,n_i}^{\min}(t), a_{i,n_i}^{\max}(t)]$ определяющие его штатное функционирование;
- 2) функция принадлежности $m(A_{i,n_i}(t))$ нештатному состоянию параметра при выходе его из зоны допусковых границ.

Эти данные получают одним из следующих способов:

- по расчетным данным штатного поведения параметра;
- по фактическим данным статистической обработки результатов испытаний.

Изначально база знаний эталонов штатного поведения заполняется расчетными данными штатного поведения параметра $[a_{i,n_i}^{\min}(t), a_{i,n_i}^{\max}(t)]$, взятыми из инструкций (методик) анализа ТМИ РН. В результате работы системы анализа телеметрической информации происходит накопление фактических данных штатного поведения процессов функционирования РН.

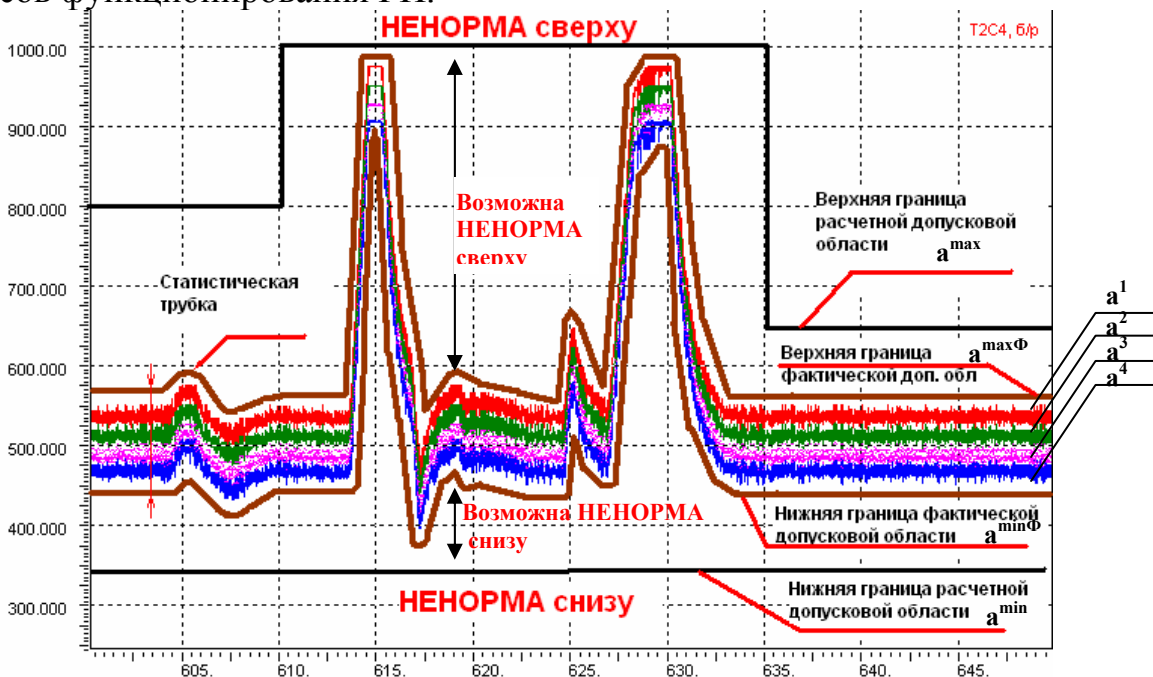


Рисунок 4 - метод формирования статистической трубки

При этом:

- расчетные данные – кусочно-линейные функции допусковых границ (часто даже являются постоянными уровнями) с прямоугольной функцией принадлежности (при выходе параметра из зоны допусковых границ функция принадлежности всегда равна единице),

- фактические данные представляют собой сложные нелинейные зависимости функции допусковых границ с кусочно-линейной функцией принадлежности.

Для получения фактических данных используется метод формирования статистической трубки поведения параметра по серии испытаний, метод проиллюстрирован на рисунке (Рисунок 4).

Функция принадлежности $m(A_{i,n_i}(t))$ для фактического допуска - кусочно-линейная функция, которая устанавливает степень принадлежности:

«0» - для параметра, значение которого находится в фактической допусковой области,

«1» - для параметра, значение которого находится вне расчетной допусковой области,

действительное число в диапазоне $[0,1]$ - для параметра, значение которого находится вне фактической допусковой области и внутри расчетной допусковой области (рисунок 2).

где $p_{q_{n_1}}$ – первое пороговое значение характеристики отклонения $A_{i,n_i}(t)$, $p_{q_{n_1}} = -p_{q_{n_1}} = 0$,

$p_{Q_{n_i}}$ и $-p_{Q_{n_i}}$ – последние пороговые значения характеристики отклонения $A_{i,n_i}(t)$, учи-

тывают накопленную статистику и значение начальных допусков:

$$p_{Q_{n_i}}(t) = \min((a_{i,n_i}^{\max}(t) - a_{i,n_i}^{\max\Phi}(t)) / AM_{i,n_i}(t), (a_{i,n_i}^{\min\Phi}(t) - a_{i,n_i}^{\min}(t)) / AM_{i,n_i}(t)) \quad (7)$$

где $AM_{i,n_i}(t) = a_{i,n_i}^{\max}(t) - a_{i,n_i}^{\min}(t)$;

$a_{i,n_i}^{\min}(t)$ и $a_{i,n_i}^{\max}(t)$ - нижняя и верхняя границы расчетного допуска;

$a_{i,n_i}^{\min\Phi}(t)$ и $a_{i,n_i}^{\max\Phi}(t)$ - нижняя и верхняя границы фактического допуска;

Остальные пороговые значения $p_{q_{n_i}}(t)$, ($q_{n_i} = \overline{1, Q_{n_i}}$) рассчитываются при обращении к базе знаний с запросом по формуле:

$$p_{q_{n_i}}(t) = p_{Q_{n_i}}(t) * \frac{(q_{n_i} - 1)^{sh_{n_i}}}{(Q_{n_i} - 1)^{sh_{n_i}}}, \quad sh_{n_i} = u * \frac{1}{sk}, \quad (8)$$

где sh – степень наработки статистики, показывающая насколько заполнена база знаний для конкретного процесса (параметра); u – количество учтенных испытаний в статистике; sk – «нормативное» количество испытаний, при которых база считается заполненной.

Таким образом, используя данный алгоритм накопления базы знаний допусковых значений, экспертная система анализа телеметрической информации автоматически адаптирует допусковые границы оценки состояния параметров функционирования РН от расчетных к фактическим. При отсутствии статистики используются только расчетные данные, при «нормальном» наполнении статистики – в равной степени, при значительном накоплении – преимущественно используются фактические данные. Данный способ повышает объективность оценки за счет оптимального использования всего объема имеющейся информации.

Алгоритм формирования базы знаний правил системы нечеткого вывода для обеспечения автоматизированной обработки и экспертного анализа телеметрической информации многопараметрического объекта.

Правила выявления j -й нештатной ситуации по значению n_i -го параметра ($n_i = \overline{1, N_i}$) i -й подсистемы ($i = \overline{1, k}$), формируются на основе значений величин $Ad(A_{i,n_i}(t))$, $Md_{i,n_i}^j(t)$, определяют степень выраженности влияния $m(Md_{i,n_i}^j(t))$ n_i -го параметра ($n_i = \overline{1, N_i}$) i -й подсистемы ($i = \overline{1, k}$) на возникновение j -й ($j = \overline{1, J}$) нештатной ситуации и имеют вид (4).

В связи с этим для описания правил выявления j -й ($j = \overline{1, J}$) нештатной ситуации предварительно в базе знаний экспертной системы задаются величины:

- $Md_{i,n_i}^j(t)$, каждая из которых характеризует некоторое дискретное состояние n_i -го параметра, влияющее на возникновение j -й нештатной ситуации;
- $m(Md_{i,n_i}^j(t))$, являющиеся экспертными оценками степени выраженности влияния n_i -го параметра i -й подсистемы на возникновение j -й нештатной ситуации.

Эти значения заносятся в базу знаний либо при начальном описании экспертом, либо в процессе интерактивного анализа телеметрической информации. При выявлении экспертом новой нештатной ситуации он, по нажатию соответствующей кнопки на экранной форме программы интерактивного анализа ТМИ, записывает в базу знаний текущее состояние подсистемы, в которой идентифицирована нештатная ситуация.

В четвертой главе «Анализ эффективности внедрения алгоритмов экспертного анализа телеметрической информации» рассмотрены проблемы внедрения разработанных алгоритмов в экспертную систему обработки и анализа телеметрической информации РН.

Выполнен анализ жизненного цикла ЭС. Показано, что жизненный цикл ЭС существенно отличается от жизненного цикла обычного программного продукта. Сложность разработки ЭС заключается в идентификации ее задач, концептуализации знаний предметной области, формализации знаний, методов решения и выбора средств представления. От степени проработанности перечисленных проблем зависит успех дальнейшей безошибочной реализации ЭС. Разработанные и описанные в главе 3 алгоритмы: 1) идентифицируют все основные задачи анализа ТМИ, предоставляют механизм их решения, визуализации и концептуализируют знания предметной области, обеспечивая эксперта готовым механизмом заполнения базы на основе эмпирических данных штатных испытаний, 2) нештатные ситуации заносятся в базу знаний из документации на РН, а также по результатам интерактивного анализа функционирования систем в нештатном состоянии. Таким образом, в результате применения разработанных алгоритмов автоматизированного экспертного анализа, достигается максимальная оптимизация процессов жизненного цикла создания экспертной системы со значительным сокращением сроков разработки.

Выполнен расчет технической эффективности применения разработанных алгоритмов. Для этого был проведен расчет требуемой производительности аппаратных средств с анализом возможности реализации алгоритмов.

Для выполнения расчетов были заданы основные параметры системы:

- время реакции на событие – 1 с;
- среднее время приема информации за цикл испытаний – 3600 с;

- количество циклов испытаний РКТ за ЖЦ системы – 1000;
- средняя частота опроса телеметрических параметров – 80 Гц;
- количество контролируемых подсистем – 6;

В соответствии с блок-схемами вычислительных процессов экспертной системы была построена аналитическая зависимость необходимой производительности процессоров от основных параметров системы.

По результатам анализа сделаны выводы, что система применяющая алгоритмы экспертного анализа ТМИ:

- может быть построена на базе ПЭВМ с многоядерными процессорами Intel Core;
- обеспечивает оперативное обнаружение нештатной ситуации за минимальное время (1 с),
- обеспечивает контроль до 1000 нештатных ситуаций в каждой подсистеме РН;
- обеспечивает обработку до 6000 параметров бортовой системы измерения при заданной частоте опроса и 48000 параметров, при условии снижения частоты опроса параметров до 10 Гц;
- обеспечивает более полную информационную поддержку персонала за счет возможности накопления данных в базе нештатных ситуаций за сотни циклов натуральных испытаний РКТ при объеме жестких накопителей 500Тбайт.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Выполнен анализ принципов построения и функционирования современных систем анализа ТМИ, выявлены их недостатки. Проанализированы нормативные документы и инструкции по обработке и анализу ТМИ РН. Разработаны организационная и функциональная структуры системы анализа ТМИ РН, модель поведения системы анализа ТМИ РН. Определены главные направления исследований по совершенствованию архитектуры системы и алгоритмов анализа ТМИ РН.

2. Разработан алгоритм экспертного анализа телеметрической информации, отличающийся от известных (основанных на графическом анализе поведения параметров и методе экспертных оценок при принятии решений) тем, что при его реализации предложено использовать элементы теории экспертных систем, теории нечетких множеств и нечеткой логики, что позволило обеспечить высокий уровень объективности оценок, снизить влияние «человеческого фактора» на процесс принятия решений и повысить оперативность локализации неисправности, выработки технических решений для предотвращения возможных ошибок;

3. Разработан алгоритм интерактивного анализа телеметрической информации и представления оценок состояния бортовых систем РН, отличающийся от известных (основанных на визуализации «четких» допусковых оценок с графическим сопоставлением текущего процесса штатным) тем, что позволяет обеспечить отображение состояния бортовых систем РН в виде многопараметрического «образа» качественных оценок протекающих в них процессов, с учетом «нечеткости» этих оценок и повысить оперативность принятия решений при переходе систем из штатного состояния

4. Разработаны алгоритмы формирования баз знаний штатного и нештатных состояний бортовых систем РН для системы экспертного анализа телеметрической информации, которые позволяют сформировать совокупность фактов штатного пове-

дения телеметрируемых процессов и правил вывода для идентификации нештатного состояния бортовых систем РН. В отличие от известных систем анализа ТМИ, где базы знаний используются для хранения цепочки типовых обработчиков с целью получения широкой номенклатуры алгоритмов анализа функционирования подсистем РН, предложен универсальный механизм хранения и применения знаний для выявления нештатного функционирования подсистем РН.

Использование результатов диссертации позволяет:

- сократить время принятия решений по парированию нештатных ситуаций (до одной секунды), что обеспечит, в реальном времени, при возникновении известной (описанной в базе знаний) нештатной ситуации, не допустить ее перерастание в аварийную;

- повысить объективность принятия решений при анализе телеметрической информации РН, за счет применения объективных знаний о штатном и нештатных состояниях бортовых систем РН;

- повысить функциональные возможности и эффективность работ персонала (инженеров-испытателей и руководителей работ) в процессе эксплуатации сложных объектов, за счет автоматизации поддержки принятия решений при отклонениях от нормального хода процессов на контролируемом объекте;

- автоматизировать процесс накопления и систематизации знаний по штатному состоянию РН и идентификации нештатных ситуаций;

- гибко управлять механизмом автоматизированного применения накопленных знаний для идентификации состояния бортовых систем РН, и в случае необходимости производить интерактивный (визуальный) анализ состояния бортовых систем;

- разрабатывать высокопроизводительные автоматизированные системы обработки и анализа телеметрической информации на базе широко распространенных современных ПЭВМ.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Лукашов Н.А. Петров П.И. Тихомиров С.А. Организация вычислительного процесса обработки и анализа преддетекторного телеметрического сигнала при проведении контроля ТМИ стандарта IRIG // Научно-технический журнал «Цифровая обработка сигналов». Москва, 2010. №3. – С. 21-24.

2. Капитонов В.А. Кононенко А.В. Тихомиров С.А. Среда автоматизированного анализа измерительной информации космических ракет-носителей // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. Самара, 2013. №4. – С. 154-162.

3. Тихомиров С.А. Экспертная система анализа телеметрической информации космических ракет-носителей // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 3. – С. 33-41.

Публикации в других изданиях

4. Капитонов В.А. Кононенко А.В. Тихомиров С.А. Среда автоматизированного анализа измерительной информации космических ракет-носителей // Материалы III Всероссийской конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники». Самара, 2013. – С. 300-302.

5. Лукашов Н.А. Тихомиров С.А. Анализ преддетекторного телеметрического сигнала с целью косвенного определения лётно-технических параметров // Материалы III Всероссийской конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники». Самара, 2013. – С. 332-333.

6. Лукашов Н.А. Тихомиров С.А. Моделирование сбора телеметрической информации с целью адаптации к существующим каналам связи // Материалы III Всероссийской конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники». Самара, 2013. – С. 334-336.

7. Лукашов Н.А. Тихомиров С.А. Оценка параметров системы измерений по результатам цифровой обработки преддетекторного сигнала // 6-я международная научно-техническая конференции «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». Рязань, 2013. – С.195.

8. Лукашов Н.А. Тихомиров С.А. Методы оптимизации сбора и обработки измерительной информации с целью адаптации к существующим каналам связи // 6-я международная научно-техническая конференции «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». Рязань, 2013. – С. 194-195

9. Лукашов Н.А. Лукашов С.А. Тихомиров С.А. Обработка преддетекторного телеметрического сигнала // Материалы 17-й международной конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Рязань, 2012. – С. 51-52.

10. Лукашов Н.А. Лукашов С.А. Тихомиров С.А. Применение мультиагентных систем для организации автоматического сбора измерительной информации // Материалы 17-й международной конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Рязань, 2012. – С. 53-54.

11. Новиков Ю.А. Тихомиров С.А. Основные аспекты оптимизации вычислительного процесса обработки и анализа телеметрической информации в системах сбора измерительной информации // 5-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». – Рязань, 2007. – С.141-143.

12. Тихомиров С.А. Тимашев А.В. Методика обработки и анализа ТМИ МБР и БРПЛ США с целью контроля выполнения международных договоров // Материалы Всероссийской конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники и ее роль в устойчивом социально-экономическом развитии общества». Самара, 2009.

13. Тихомиров С.А. Товпеко А.В. Методика анализа состояния космического ракетносителя с использованием когнитивной графики // Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2010. – С. 198-200.

14. Тихомиров С.А. Система автоматизированного проектирования алгоритмов обработки и анализа измерительной информации космических ракет-носителей // Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2010. – С. 200-202.

15. Тихомиров С.А. Кононенко А.В. Методика автоматизированного анализа телеметрической информации с использованием элементов теории нечетких множеств // 6-я международная научно-техническая конференции «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». Рязань, 2013. – С. 193-194.

16. Тихомиров С.А. Кононенко А.В. Способ автоматизированной обработки и анализа телеметрической информации от многопараметрического объекта// Материалы V Всероссийского конкурса молодых ученых «Итоги диссертационных исследований». Том 4. Москва. РАН, 2013 – С. 85-88.

17. Тихомиров С.А. Автоматизированная экспертная система обработки и анализа телеметрической информации современных ракет-носителей на базе нейронных сетей // Материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2013. – С. 321-323.

18. Тихомиров С.А. Алгоритм поддержки принятия решений при оценке нештатного состояния подсистем космических ракет-носителей // Материалы XXXIV Всероссийской конференции, посвященной 90-летию со дня рождения В.П.Макеева «Наука и технологии». Том 4. Москва. РАН, 2014 – С. 131-138

Тихомиров Сергей Александрович

**АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ
ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ**

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бумага офисная. Печать цифровая.
Тираж 100 экз.

ФГБОУ ВПО Рязанский государственный радиотехнический университет
390005, Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1