

УДК 621.397.5

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИХ К ЗАПУСКУ

А. И. Лоскутов^а, доктор техн. наук, начальник кафедры

С. С. Патраков^а, соискатель, инженер

О. Л. Шестопалова^б, канд. техн. наук, доцент

^аВоенно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, РФ

^бФилиал «Восход» Московского авиационного института, Байконур, Казахстан

Постановка проблемы: контроль и диагностирование являются неотъемлемой частью процесса разработки, испытаний и эксплуатации космических аппаратов. Несовершенство средств контроля и диагностирования, уменьшение возможности получения исчерпывающих статистических данных по появлению различных дефектов привело к ситуации, когда принятие решения о техническом состоянии бортовой аппаратуры космических аппаратов и выработка управляющих воздействий проводятся в условиях существенной неопределенности. Одним из эффективных путей решения данной проблемы является использование интеллектуальных систем. **Методы:** создание специальной опросной матрицы решающих правил имплицитного типа «ЕСЛИ..., ТО...» в факторном пространстве нечетких переменных. При этом эксперт сам формирует пространство, в котором он принимает решение. **Результаты:** на базе предложенного метода оценивания технического состояния рассматриваемой телеметрической системы с использованием неявных экспертных знаний построена информационно-диагностическая система, позволяющая получать количественные оценки состояния работоспособности БР-91Ц в любой необходимый момент времени на основе анализа текущих значений параметров. Разработано программно-алгоритмическое обеспечение испытаний типовой бортовой аппаратуры космических аппаратов, синтезированное на основе моделей и методов интеллектуальной обработки информации. Идея эксперимента заключалась в моделировании неисправностей для оценивания показателя безотказной работы интеллектуальной информационно-диагностической системы в составе испытательной аппаратуры бортовой информационно-телеметрической системы БР-91Ц. Количественные оценки состояния БР-91Ц в многомерном пространстве нечетких переменных позволяют проводить ее мониторинг, что дает основание для выработки гибкой стратегии эксплуатации. Проверка качества интеллектуальной нечеткой модели проведена прямым сравнением результатов работы приложения с результатами оценивания специалистом автономных испытаний бортовой информационно-телеметрической системы. Выигрыш по критерию точечной оценки показателя безотказной работы разработанной интеллектуальной системы составил 5 % по сравнению с традиционным классическим подходом. Таким образом, разработанная интеллектуальная информационно-диагностическая система характеризуется лучшими значениями точечной оценки вероятности безотказной работы в ходе проведенного эксперимента. **Практическая значимость:** результаты исследований использованы при разработке контрольно-испытательной аппаратуры бортовой аппаратуры космических аппаратов. Они позволяют существенно снизить неопределенность при принятии решения о техническом состоянии, а также при выдаче тестовых воздействий.

Ключевые слова — интеллектуальная информационно-диагностическая система, техническое состояние, нечеткая логика, бортовая аппаратура космических аппаратов.

Введение

При подготовке космических аппаратов (КА) к запуску оценивается вид технического состояния (ТС) бортовой аппаратуры (БА) в целях выявления дефектов при хранении и транспортировке КА [1]. Эффективность оценки напрямую определяется используемыми методами технического диагностирования при контроле технического состояния, поиске места и причин неисправностей систем [2–4].

Анализ статистических данных по неудачным запускам КА за последние годы показал, что несовершенство средств диагностирования обусловлено недостаточным объемом экспериментальной отработки и стендовых испытаний сложной БА КА. В связи с этим уменьшаются возможности получения исчерпывающих статистических данных по проявлению различных дефек-

тов и их влиянию на работоспособность и качество функционирования КА. Это в свою очередь приводит к ситуации, когда принятие решения о ТС и выработка управляющих воздействий для восстановления работоспособности проводятся в условиях существенной неопределенности.

Инструментом, позволяющим решить эту проблему, является новая информационная технология, основу которой представляют системы, основанные на знаниях, т. е. интеллектуальные системы [5–8]. Исследования, описываемые в настоящей статье, как раз и подразумевают создание интеллектуальной информационно-диагностической системы (ИИДС) оценивания ТС штатной бортовой системы КА в целях повышения эффективности выявления неисправностей.

Одним из необходимых элементов, обеспечивающих сбор и передачу по радиоканалу на наземный

измерительный пункт информации о состоянии БА КА, является бортовая информационно-телеметрическая система (БИТС). БИТС БР-91Ц, устанавливаемая на большинстве КА, а также процессы функционирования выбраны в рамках проводимых исследований по созданию перспективных систем диагностирования радиоэлектронной аппаратуры КА.

Постановка задачи синтеза интеллектуальной информационно-диагностической системы

В качестве исходных данных для проектирования ИИДС оценивания ТС БИТС выступают:

1) множество функциональных и сигнальных параметров контроля бортовой системы: Ω ;

2) вид функции принадлежности нечеткого отношения: треугольная;

3) алгоритм интеллектуальной обработки информации: правило нечеткого вывода на основе нечеткой импликации «ЕСЛИ..., ТО...» Мамдами — Заде А;

4) заданный показатель эффективности решения задачи определения ТС: $M^S = \{P, A, \Omega'\}$, где P — вероятность безотказной работы ИИДС, $\Omega' \in \Omega$ — множество выходных параметров для интеллектуальной обработки;

5) критерий эффективности: правило $M^S \rightarrow \max_A$.

Требуется на основе априорной информации о возможных ТС объекта диагностирования и выбранной структуры его описания, алгоритма интеллектуальной обработки информации, по результатам измерений параметров выхода объекта оценить в соответствии с критерием эффективности его реальное техническое состояние.

Согласно приведенной постановке задачи решение будем искать в виде

$$F = \operatorname{argmax} M^S.$$

Структура процесса оценивания представляет собой последовательность следующих взаимосвязанных этапов:

1) построение модели обработки данных: выбор параметров; формализация априорной информации об объекте контроля, включающая определение функций принадлежности; разработка правил нечеткого логического вывода;

2) сбор контрольно-диагностической информации, включающий измерение параметров состояния и проведение обработки в целях получения оценки признаков контроля;

3) принятие решения о ТС объекта контроля.

Разработка интеллектуальной информационно-диагностической системы

Интеллектуальная информационно-диагностическая система оценивания ТС БИТС основана на реализации метода построения моделей на базе экспертных знаний [5–9]. Суть метода заключается в создании специальной опросной матрицы продукционных правил импликативного типа «ЕСЛИ..., ТО...» в факторном пространстве нечетких переменных, при этом эксперт сам формирует пространство, в котором он принимает решение.

Выбор параметров мониторинга бортовой системы.

Определение факторного пространства

Для оценивания ТС БИТС выделим множество параметров и характеристик с учетом нечеткости и требований нормативно-технической и эксплуатационно-технической документации (ЭТД) на систему. Перечень контролируемых параметров, удовлетворяющих условиям нечеткости, приведен в табл. 1.

Из обозначенного списка выделены наиболее существенные в плане информативности для оценки ТС БИТС количественные параметры, которые составили факторное пространство для создания модели.

■ Таблица 1. Контролируемые параметры

Индекс и наименование параметра	Допуск на значения параметра	Семантическая нагрузка (состояние БА)
x_1 — мощность падающей волны, M_{Π}	$60 < U_{\Pi} < 5 \%$ $0 < U_{\Pi} < 5 \%$ Ошибка	Нормальная работа включенного передатчика Нормальная работа выключенного передатчика Аномальная работа передатчика
x_2 — мощность отраженной волны, M_o	$5 < U_o < 20 \%$ $0 < U_o < 5 \%$ Ошибка	Нормальная работа включенного передатчика Нормальная работа выключенного передатчика Аномальная работа передатчика
x_3 — напряжение питания приборов, НПП	$6,2 < U_{6,3В} < 6,4 В$ $U_{6,3В} < 6,2 В$ или $U_{6,3В} > 6,4 В$	Нормальное напряжение питания приборов Аномальное питание приборов
x_4 — температура в БИТС, $T_{БИТС}$	$15 < T < 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T < 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ или $T > 25 \text{ } ^\circ\text{C}$	Нормальная температура Аномальная температура

Следует отметить, что факторное пространство системно представляет состояние объекта с учетом нечеткости: переменные x_1, x_2 характеризуют внутреннее состояние антенно-фидерного устройства; x_3 и x_4 — проявление параметров кондиции. В комплексе же они, по мнению эксперта, в достаточной степени характеризуют ТС БИТС в области неопределенности.

Задание обобщенного параметра технического состояния и функций принадлежности

На этапе выбора и формализации обобщенного параметра технического состояния (ОПТС) Y введена ранжированная шкала оценивания ТС БИТС. Для реализации этой задачи разбили области определения Y (рис. 1) на участки в интервале $[0, 1]$, где условным описательным характеристикам, полученным путем диалога с экспертами, поставлены в соответствие количественные значения с нечеткими границами (табл. 2). В нечетком виде выходной обобщенный показатель Y представлен на рис. 1.

Выбор количества интервалов обусловлен рекомендациями специалистов-экспертов. В табл. 2

показано ранжирование ОПТС с учетом неопределенности и нечеткости границ. Поскольку нечеткость исходной информации обуславливает нечеткость предполагаемых выводов, то ее термножества возможных значений пересекаются по всей области определения [10–12].

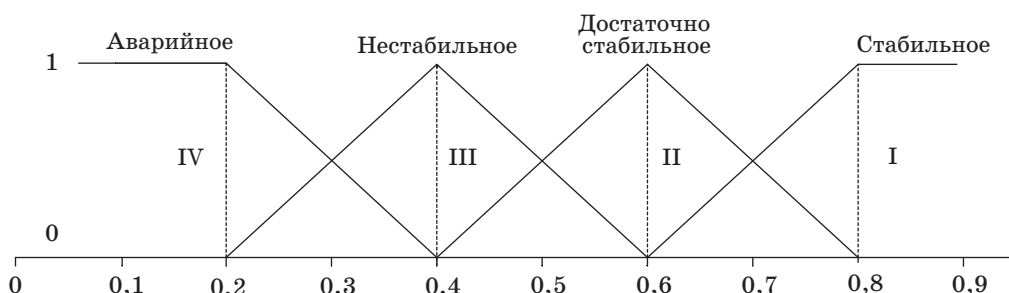
При попадании в зону неопределенности результирующее значение оценки будет отнесено к интервалу с более жесткой характеристикой.

В виде лингвистической переменной компонент факторного пространства x_4 представлен на рис. 2.

Аналогичным образом представляются в виде лингвистических переменных все остальные элементы факторного пространства.

Формирование правил нечеткого вывода

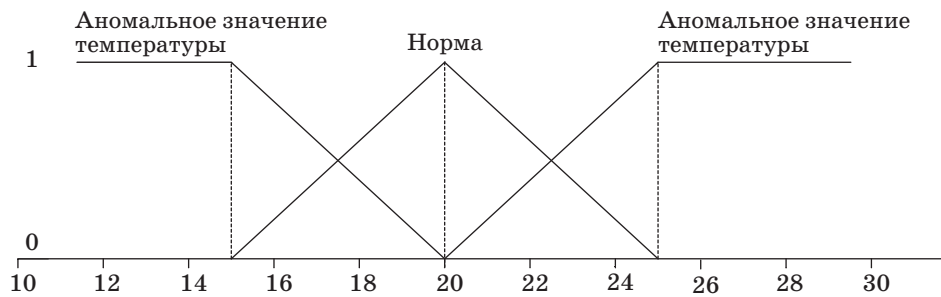
Следующим этапом разработки модели является составление матрицы экспертного опроса, фрагмент которой приведен в табл. 3. Достоинствами опросной матрицы являются свойства ортогональности и рототабельности, что хорошо коррелирует с интуитивными знаниями эксперта и дает возможность формализовать их в виде продукционных правил [13].



■ Рис. 1. Представление Y в виде лингвистической переменной

■ Таблица 2. Шкала нечетких значений ОПТС БИТС Y

Состояние	Интервал	Мода интервала	Характеристика состояния
I	$1 \div 0,6$	0,8	Фактические значения основных параметров, характеризующих ТС БИТС, соответствуют значениям, установленным в ЭТД на изделие
II	$0,8 \div 0,4$	0,6	Фактические значения основных параметров, характеризующих ТС БИТС, незначительно ниже значений, установленных в ЭТД на изделие, но позволяют дальнейшую эксплуатацию в составе контрольно-испытательной аппаратуры при условии проведения восстановительных мероприятий на месте, устранение замечаний и сбоев
III	$0,6 \div 0,2$	0,4	Фактические значения основных параметров, характеризующих ТС БИТС, не соответствуют установленным в ЭТД на изделие, проведение ремонта на месте позволит восстановить работоспособность изделия в полном объеме
IV	$0,4 \div 0$	0,2	Фактические значения основных параметров, характеризующих ТС БИТС, не соответствуют установленным в ЭТД на изделие, отправка на завод-изготовитель для ремонта



■ Рис. 2. Представление элемента факторного пространства x_4 и ОПТС в виде лингвистической переменной

■ Таблица 3. Фрагмент опросной матрицы с оценками эксперта

№ п/п	Мощность падающей волны, x_1		Мощность отраженной волны, x_2		Питание приборов, x_3		Температура БИТС, x_4		Обобщенный показатель ТС системы, Y (норма эксплуатации)
	Норма	Аномальное значение	Норма	Аномальное значение	Норма	Аномальное значение	Норма	Аномальное значение	
1	+	-	+	-	+	-	+	-	Стабильное
2	+	-	+	-	+	-	-	+	Достаточно стабильное
3	+	-	+	-	-	+	+	-	Достаточно стабильное
4	+	-	+	-	-	+	-	+	Нестабильное
5	+	-	-	+	-	+	-	+	Аварийное
6	+	-	-	+	+	-	+	-	Достаточно стабильное
7	+	-	-	+	+	-	-	+	Нестабильное
8	+	-	-	+	-	+	+	-	Нестабильное
9	-	+	-	+	-	+	-	+	Аварийное
10	-	+	-	+	-	+	+	-	Аварийное
11	-	+	-	+	+	-	+	-	Нестабильное
12	-	+	-	+	+	-	-	+	Аварийное
13	-	+	+	-	+	-	+	-	Достаточно стабильное
14	-	+	+	-	+	-	-	+	Нестабильное
15	-	+	+	-	-	+	-	+	Аварийное
16	-	+	+	-	-	+	+	-	Нестабильное

По результатам обработки данных матрицы получены продукционные правила для оценивания текущего значения ОПТС.

Анализ результатов моделирования

Задание функций принадлежности

Для построения нечеткой модели объекта испытаний (БР-91Ц-1) и проверки степени ее адекватности используем пакет Fuzzy Logic Toolbox вычислительной системы MatLab, предназначен-

ный для проектирования и исследования систем на нечеткой логике [14].

Для лингвистической оценки входных переменных будем использовать нечеткие термы с треугольной функцией принадлежности [15, 16]. Заданные функции принадлежности фактора x_1 представлены на рис. 3, а.

Аналогичным образом задаются функции принадлежности для остальных элементов — x_2, x_3, x_4 . Для лингвистической оценки переменной Y (ОПТС) будем использовать четыре терма с треугольными функциями принадлежности (рис. 3, б).

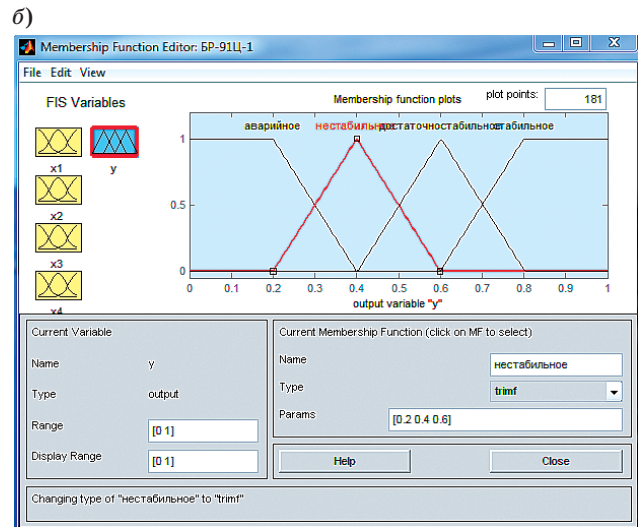
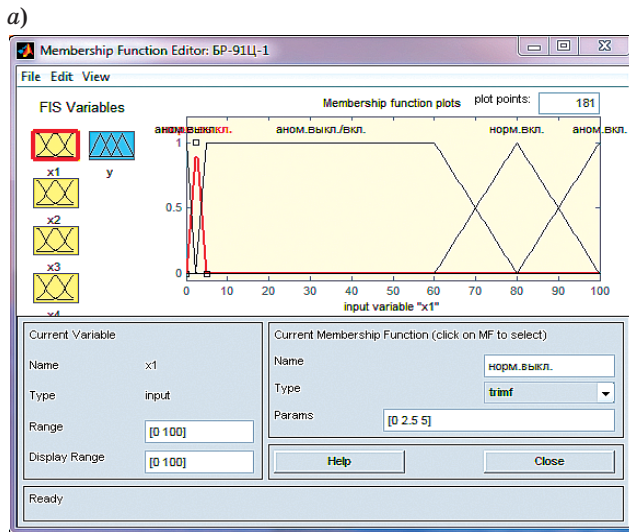


Рис. 3. Представление элемента x_1 факторного пространства (а) и элемента Y (б) в виде лингвистической переменной

Формирование правил вывода и результаты эксперимента

Окно редактора базы знаний после ввода всех 225 правил изображено на рис. 4, а. В скобках указаны весовые коэффициенты. Окно визуализации нечеткого вывода показано на рис. 4, б.

Проверка качества интеллектуальной нечеткой модели проведена прямым сравнением результатов работы приложения с результатами оценивания специалистом автономных испытаний БИТС. Идея эксперимента заключалась в моделировании неисправностей для оценивания показателя безотказной работы ИИДС в составе испытательной аппаратуры БИТС БР-91Ц.

Искомая оценка вероятности безотказной работы [1]

$$\hat{p} = \frac{N - m}{N} = 1 - \frac{m}{N};$$

среднеквадратическое отклонение (СКО) оценки \hat{p}

$$\sigma[\hat{p}] = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{(N - m)m}{N}}.$$

Результаты проведенных исследований в виде значений рассчитанных показателей представлены в табл. 4 и на рис. 5.

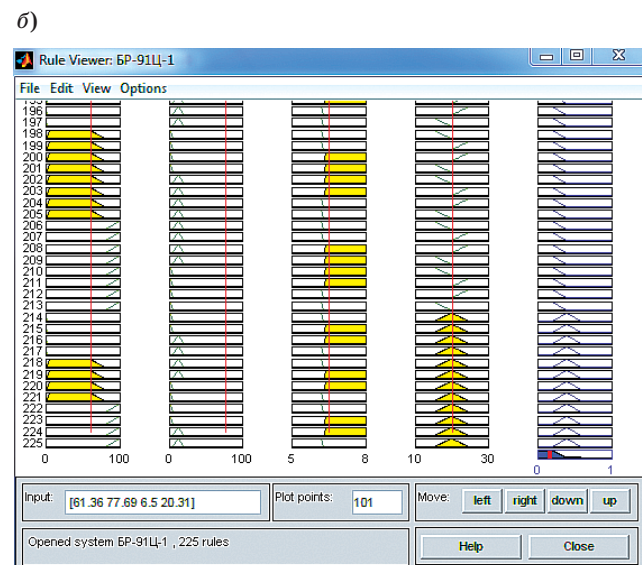
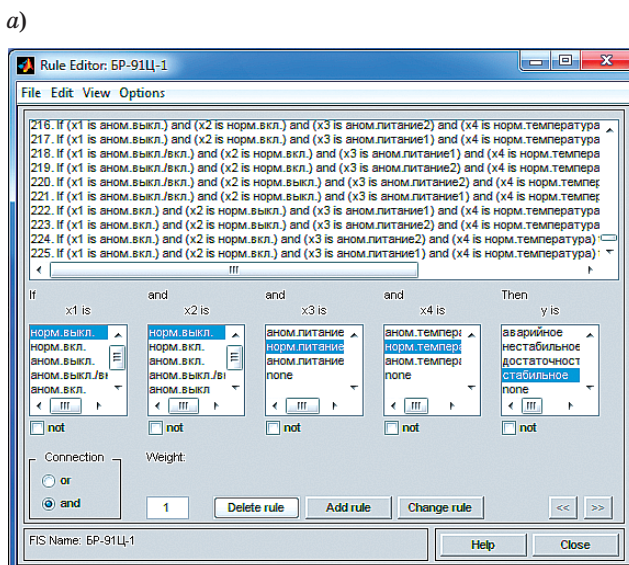
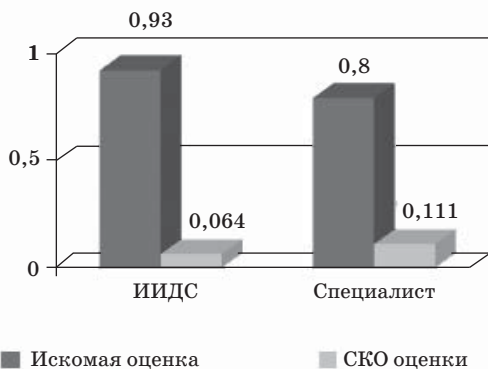


Рис. 4. Текстовое (а) и графическое (б) представление правил нечеткого вывода

■ Таблица 4. Показатели оценивания ТС БИТС

Показатель	ИИДС	Специалист (автономная проверка)
Общее число нечетких правил вывода	255	–
Количество изменений входного вектора, N	15	15
Количество неправильного определения изменений входного вектора, m	1	3
Количество правильного определения изменений входного вектора, $1 - m$	14	12
Искомая оценка $\hat{p}(N)$ / СКО оценки \hat{p}	0,93/0,064	0,8/0,111
Продолжительность принятия решений, t	0,6	1200



■ Рис. 5. Оценка показателя безотказной работы и СКО оценки

Таким образом, разработанная ИИДС характеризуется лучшими значениями точечной оценки вероятности безотказной работы в ходе проведенного эксперимента.

Заключение

Проведены исследования по созданию ИИДС бортовой радиотелеметрической системы телеконтроля БР-91Ц.

Предложен метод оценивания ТС рассматриваемой телеметрической системы. С использованием неявных экспертных знаний построена информационно-диагностическая система, которая дает возможность получать количественные оценки состояния работоспособности БР-91Ц в любой необходимый момент времени на основе анализа текущих значений параметров.

Количественные оценки состояния БР-91Ц в многомерном пространстве нечетких переменных позволяют проводить ее мониторинг, что дает основание для выработки гибкой стратегии эксплуатации.

Выигрыш по критерию точечной оценки показателя безотказной работы разработанной интеллектуальной системы по сравнению с традиционным классическим подходом составил 5 %.

Литература

1. Голяков А. Д., Миронов В. И., Смирнов В. В. Испытания систем ракетно-космической техники/ВИККИ им. А. Ф. Можайского. — СПб., 1992. — 398 с.
2. Дмитриев А. К., Юсупов Р. М. Идентификация и техническая диагностика/МО СССР. — М., 1987. — 521 с.
3. Дунаев В. В. Классификационные основы теории испытаний / под ред. В. И. Белицкого; МО СССР. — М., 1984. — 145 с.
4. Черкашин С. В., Шишкин В. В., Долбня Н. А. Универсальная система диагностирования бортового радиоэлектронного оборудования // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 3(2). С. 392–397.
5. Корнеев В. В., Гареев А. Ф., Васютин С. В., Райх В. В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации. — М.: Нолидж, 2000. — 352 с.
6. Кузьмин В., Травкин С. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. — М.: Радио и связь, 1986. — 408 с.
7. Лоскутов А. И., Сирота С. В., Сакулин А. Н. Совершенствование с помощью экспертной системы испытаний объектов ракетно-космической техники // Проблемы управления. 2011. № 4. С. 68–73.
8. Полянский В. И. Нечеткие множества в моделях и методах диагностирования сложных технических систем: монография. — М.: Полиграф сервис, 2010. — 242 с.
9. Ручкин В. Н., Фулин В. А. Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы. — СПб.: БХВ-Петербург, 2009. — 240 с.
10. Коньшева Л., Назаров Д. Основы теории нечетких множеств. — СПб.: Питер, 2011. — 92 с.
11. Аверкин А. Н. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. — М.: Книга по Требованию, 2012. — 312 с.
12. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети. — М.: Горячая линия-Телеком, 2007. — 284 с.
13. Машкин М. Н., Романов О. Т. Интеллектуальные автоматизированные системы в информационных

технологиях: монография. — М.: ВГНА Минфина России, 2011. — 236 с.

14. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. — М.: Горячая линия-Телеком, 2007. — 288 с.

15. Яхъяева Г. Нечеткие множества и нейронные сети. — М.: Бином, 2011. — 320 с.

16. Uziel Sandler, Lev Tsitolovsky. Neural Cell Behavior and Fuzzy Logic. — Springer, 2008. — 478 p.

UDC 621.397.5

Intellectual Information-Diagnostic System for Evaluating Technical Condition of Space Vehicles Onboard Equipment during Pre-Launching Activities

Loskutov A. I.^a, Dr. Sc., Tech., Chief of Chair, rujenz@mail.ru

Patrakov S. S.^a, Applicant, Engineer, patrakovinet@mail.ru

Schestopalova O. L.^b, PhD, Tech., Associate Professor, voshodschestopalova@bk.ru

^aA. F. Mozhaiskii Military Space Academy, 13, Zhdanovskaia St., 197082, Saint-Petersburg, Russian Federation

^bBranch «Sunrise» of Moscow Aviation Institute, 5, Gagarin St., 468320, Baikonur, Kazakhstan

Purpose: Control and diagnostics represent an integral part of the process of development, testing and maintenance of space vehicles. Imperfection of control and diagnostic devices, decrease of a possibility of reception of complete statistical data on emerging of various defects led to the situation when decisions on a technical condition of onboard equipment of space vehicles are made and control actions are developed in terms of significant uncertainty. The use of intellectual systems is one of the effective ways to solve of the given problem. **Methods:** Development of a special polling matrix for decision procedures of implicative type “If..., Then...” in a factor space of fuzzy variables. Meanwhile it is an expert himself who forms a space for decision making. **Results:** There has been built an information-diagnostic system based on the proposed method of evaluation of operation capacity of an observed telemetric system using implicit expert knowledge, it allows to obtain quantitative estimations of BR-91C operation capacity at any necessary moment of time on the basis of the analysis of current parametric values. There has been worked out algorithmic software for testing space vehicle onboard equipment synthesized on the basis of models and methods of intellectual data processing. The concept of the experiment was to model failures for evaluating a parameter of non-failure operation of the intellectual information-diagnostic system embedded into testing equipment of BR-91C onboard information telemetric system. Quantitative estimations of BR-91C condition in a multidimensional space of fuzzy variables allow to carry out its monitoring that provides the basis for development of flexible maintenance strategy. Quality test of the intellectual fuzzy model has been conducted using direct comparison of results of the application work with results of expert evaluation of independent tests of the onboard information-telemetric system. Gaining on a criterion of point estimation for the parameter of non-failure operation of the developed intellectual system was 5 % compared to the conventional classical approach. Thus, the developed intellectual information-diagnostic system is characterized by the best values of point estimation of a probability of non-failure operation in the course of the conducted experiment. **Practical relevance:** The research results have been used at development of testing and control equipment of space vehicle onboard equipment. They ensure significant lowering of uncertainty at decision making on a technical condition as well as at delivery of testing impacts.

Keywords — Intellectual Information-Diagnostic System, Technical Condition, Fuzzy Logics, Space Vehicle Onboard Equipment.

References

- Goljakov A. D., Mironov V. I., Smirnov V. V. *Ispytaniia sistem raketno-kosmicheskoi tekhniki* [Systems Tests for Space-Rocket Technics]. Saint-Petersburg, VIKKI imeni A. F. Mozhaiskogo Publ., 1992. 398 p. (In Russian).
- Dmitriev A. K., Jusupov R. M. *Identifikatsiia i tekhnicheskaiia diagnostika* [Identification and Technical Diagnostic]. Moscow, MO USSR Publ., 1987. 521 p. (In Russian).
- Dunaev V. V. *Klassifikatsionnye osnovy teorii ispytaniia* [Classification Tests Theory Bases]. Moscow, MO USSR Publ., 1984. 145 p. (In Russian).
- Cherkashin S. V., Shishkin V. V., Dolbnja N. A. Universal System of Diagnosing of Onboard Electronic Equipment. *Izvestiia Samarshkogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2009, vol. 11, no. 3(2), pp. 392–397 (In Russian).
- Korneev V. V., Gareev A. F., Vasjutin S. V., Rajh V. V. *Bazy dannykh. Intellektual'naia obrabotka informatsii* [Databases. Intellectual Machining of the Information]. Moscow, Nolidzh Publ., 2000. 352 p. (In Russian).
- Kuz'min V., Travkin S. *Nechetkie mnozhestva i teoriiia vozmozhnostei. Poslednie dostizheniia* [Illegible Assemblage and the Theory of Possibilities. Last Achievements]. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1986. 408 p. (In Russian).
- Loskutov A. I., Sirotina S. V., Sakulin A. N. Perfection by Means of Expert System of Tests of Installations of Space-Rocket Technics. *Problemy upravleniia*, 2011, no. 4, pp. 68–73 (In Russian).
- Poljanskij V. I. *Nechetkie mnozhestva v modeliakh i metodakh diagnostirovaniia slozhnykh tekhnicheskikh sistem* [Illegible Assemblage in Models and Methods of Diagnosing of Difficult Engineering Systems]. Moscow, Polygraph servis Publ., 2010. 242 p. (In Russian).
- Ruchkin V. N., Fulin V. A. *Uniuersal'nyi iskusstvennyi intellekt i ekspertnye sistemy* [Universal Artificial Intelligence and Expert Systems]. Saint-Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2009. 240 p. (In Russian).
- Konyshcheva L., Nazarov D. *Osnovy teorii nechetkikh mnozhestv* [Bases of the Theory of Illegible Assemblage]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2011. 92 p. (In Russian).
- Averkin A. N. *Nechetkie mnozhestva v modeliakh upravleniia i iskusstvennogo intellekta* [Illegible Assemblage in Management and Artificial Intelligence Models]. Moscow, Kniga po Trebovaniuu Publ., 2012. 312 p. (In Russian).
- Borisov V. V., Kruglov V. V., Fedulov A. S. *Nechetkie modeli i seti* [Illegible Models and Networks]. Moscow, Goriachaia liniia-Telekom Publ., 2007. 284 p. (In Russian).
- Mashkin M. N., Romanov O. T. *Intellektual'nye avtomatizirovannye sistemy v informatsionnykh tekhnologiakh* [The Intellectual Automated Systems in Information Technology]. Moscow, VGNA Minfina Rossii Publ., 2011. 236 p. (In Russian).
- Shtovba S. D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Designing of Illegible Systems by Means of MATLAB]. Moscow, Goriachaia liniia-Telekom Publ., 2007. 288 p. (In Russian).
- Jahjaeva G. *Nechetkie mnozhestva i neuronnye seti* [Illegible Assemblage and Neural Networks]. Moscow, Binom Publ., 2011. 320 p. (In Russian).
- Uziel Sandler, Lev Tsitolovsky. *Neural Cell Behavior and Fuzzy Logic*. Springer, 2008. 478 p.