

Инновационная система диагностирования технического состояния космической техники

Innovative system for diagnosing the technical condition of space technology

doi 10.26310/2071-3010.2023.292.2.013



С. В. Кудрявцев,
к. т. н., заместитель начальника отдела
✉ skudr61@yandex.ru

S. V. Kudryavtsev,
Ph. D., Deputy Head of Department



В. М. Розовенко,
аспирант, инженер
✉ RozovenkoVM@laspace.ru

V. M. Rozovenko,
graduate student, engineer

В статье описывается концепция инновационной системы диагностирования технического состояния изделий космической техники. Указанная система дополняет штатные системы контроля технического состояния и предназначена для повышения точности, оперативности и достоверности получения результатов испытаний, определения возможных причин неисправностей и формирования управляющих воздействий, направленных на восстановление работоспособности космической техники.

The article describes the concept of an innovative system for diagnosing the technical condition of space technology products. This system complements the standard technical condition monitoring systems and is designed to improve the accuracy, efficiency and reliability of obtaining test results, identifying possible causes of malfunctions and forming control actions aimed at restoring the performance of space technology.

Ключевые слова: диагностирование, управление, техническое состояние, космическая техника, испытания, нечеткие множества.

Keywords: diagnostics, control, technical condition, space technology, testing, fuzzy sets.

Введение

Практика разработки космической техники (КТ) указывает на необходимость совершенствования средств технического диагностирования ее состояния. Наиболее актуальной является задача принятия решений в процессе испытаний КТ, в ходе которых качество оценки уровня надежности, безотказности и функционального состояния изделий определяет правильность выбора параметров контура управления, работоспособность и эффективность выполнения целевых задач космическими аппаратами (КА) [1].

Существующие в настоящее время системы контроля технического состояния, испытательные комплексы в целом обеспечивают необходимую оценку соответствия образцов КТ заданным требованиям, однако для принятия решений об их состоянии часто требуется большой объем проверок. В качестве эффективных средств оценки функционального состояния постоянно усложняющихся образцов КТ рассматриваются различные средства технического диагностирования, основанные на искусственном интеллекте [2]. За счет алгоритмической обработки всей совокупности знаний о результатах текущих и ранее выполненных экспериментов такие системы позволяют оперативно принимать решения, обеспечивая более высокий уровень достоверности результатов при возможно ограниченном количестве испытаний КТ. Такие системы могут позволить выявить причины и спрогнозировать развитие возможных отказов КТ с целью формирования предупреждающих управляющих воздействий, направленных на их предотвращение.

1. Архитектура инновационных систем диагностирования

Инновационная система диагностирования (ИСД) может быть разработана на основе архитектуры экспертных систем [3] (рис. 1).



Рис. 1. Общая структура ИСД на базе экспертной системы

В ряде случаев, при формализации знаний экспертов, возникает необходимость использования нечетких категорий. Так задачи диагностирования состояния образцов КТ, решаемые строгими процедурами



Рис. 2. Типовая архитектура ИСД на основе модели нечеткой системы

по результатам испытаний, могут быть дополнены экспертными оценками технического состояния с применением теории нечетких множеств. Теория нечетких множеств позволяет учитывать трудноформализуемые знания в виде опыта и интуиции лиц, принимающих решения.

Таким образом, для комплексного решения вопроса диагностирования состояния КТ возможно применение модели нечеткой системы, сочетающих различные модели и алгоритмы, априорные и апостериорные статистические данные, эвристические способы принятия эффективных решений в условиях случайных событий и неопределенности.

Типовая архитектура ИСД с использованием модели нечеткой системы представлена на рис. 2. Особенностью архитектуры является наличие блока обработки лингвистических значений и нечеткой арифметики в типичной схеме экспертных систем с наличием двух областей памяти: базы знаний (БЗ) и рабочей области (РО).

2. Идеология построения ИСД с использованием модели нечеткой логики

Выбор алгоритмов программного обеспечения ИСД обусловлен спецификой предметной области. Предметная область комплексных наземных испытаний КТ определяется программами, методиками и инструкциями по выполнению конкретного перечня работ.

Анализ испытательных работ, выполняемых на АО «НПО Лавочкина», показывает, что оценки параметров состояния объекта могут иметь как фиксированные количественные, так и качественные значения. Качественные оценки могут задаваться в виде лингвистических термов: мало, много, средне и т. д.

Язык представления знаний может быть оформлен в виде продукционной сети, которая определяется синтаксической диаграммой (рис. 3). В синтаксической диаграмме часть, заключенная между словами «ЕСЛИ» и «ТО» называется посылкой правила, а часть после «ТО» — следствием правила.

В ходе испытаний (автономных, комплексных) осуществляется оценка большого количества функ-

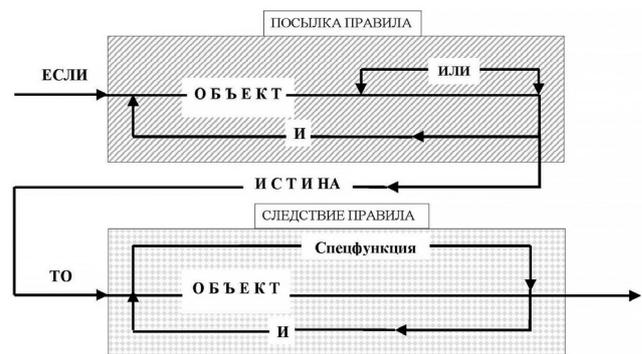


Рис. 3. Синтаксическая диаграмма

циональных параметров на соответствие режимов функционирования различных систем объекта заданным требованиям. Вся совокупность оцениваемых параметров подразделяется на группы, соответствующие системам изделия: электрической, пневмо-вакуумной, гидравлической, топливной и др.

На вход испытываемого образца КТ поступают заданные тестовые сигналы в виде параметров α , β , γ (рис. 4). На выходе формируются целевые параметры, которые задаются экспертами в виде лингвистических переменных. После преобразований в модели нечеткой системы формируются функции принадлежности обобщенных характеристик, описывающих состояние как отдельных элементов и систем, так и изделия КТ в целом.

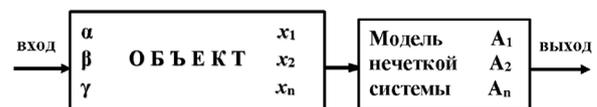


Рис. 4. Схема технологического процесса оценки технического состояния объекта

3. Алгоритм модели нечеткой системы

Для формирования алгоритма оценки уровня технического состояния изделия КТ в соответствии с методическими указаниями специалистами определяются области изменения каждого выходного параметра x . На основе опроса экспертов формируются

терм-множества для каждого параметра из совокупности набора x , например:

x_1 (температура)=ниже нормы+норма+выше нормы;

x_2 (давление)=низкое+среднее (норма)+высокое.

Значения x , полученные в ходе испытаний, являются входными параметрами для модели нечеткой системы. Допустимая область изменения значений уровня технического состояния системы и изделия в целом A также формируются с помощью экспертного опроса на основе практического опыта испытаний КТ или моделирования. Полученные данные оформляются в виде таблицы 1.

На следующем этапе строится набор логических правил, описывающих технологический процесс проверки параметров систем образца КТ в виде:

Если $x=N$, то $A=M$.

В соответствии с правилом Л. Заде/4/осуществляется композиция нечетких отношений для отдельной системы и изделия КТ в целом. При этом функции принадлежности могут быть сформированы в виде треугольника или трапеции/3/.

Таблица 1.

Носители нечетких множеств лингвистических переменных оцениваемых параметров объекта

| Наименование лингвистической переменной | Термы | Носитель нечеткого множества |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------|
| x_1 (температура) | ниже нормы норма выше нормы | 80-120 121-130 131-140 |
| x_2 (давление) | Низкое среднее высокое | 2.1-2.4 2.5-2.6 2.7-2.8 |
| A (уровень технического состояния) | Низкий средний высокий | Ниже 0.98 0.98-0.99 Выше 0.99 |

Интегральные нечеткие оценки могут быть преобразованы с применением математических методов (методы Чью-Парка, Чанга, Джейна, Дюбуа-Прада) в количественные значения, по которым устанавливаются динамика и допустимые отклонения технических характеристик отдельных систем и изделия в целом.

Заключение

Рассмотренная концепция ИСД отражает логику принятия решений человеком и реализует идеологию экспертных оценок с применением методического подхода теории нечетких множеств. Цель создания инновационной системы диагностирования — обеспе-

чение безопасной эксплуатации, повышение функциональной надежности и эффективности применения космических средств.

Дальнейшее совершенствование ИСД будет связано с развитием подсистемы пополнения знаний и совершенствованием алгоритмов обработки априорных и апостериорных данных, наращиванием возможностей системы за счет моделирования рабочих процессов и актуализации методологии структурной идентификации параметров функционирования объектов испытаний. При этом ключевой задачей является синтез различных видов экспертных, имитационных, нейросетевых моделей, а также их сопряжение со штатными системами контроля технического состояния образца КТ в единый интеллектуальный комплекс, который в интерактивном режиме позволит лицу, принимающему решения, формировать выводы и рекомендации о необходимости продолжения (завершения) испытаний, потребности и возможности доработок, внедрении новых технических решений и т. д.

Архитектура построения ИСД может в дальнейшем быть реализована в бортовых средствах, позволяя выявлять отклонения в режимах функционирования образцов КТ, обеспечить прогноз развития потенциальных режимов функционирования и нештатных ситуаций, а также принятие своевременных управленческих действий по парированию отказов и устранению неисправностей в полете.

Главное достоинство ИСД состоит в том, что устанавливается связь полученных данных функционирования, знаний и опыта экспертов на различных этапах жизненного цикла изделия КТ с количественной оценкой его технического состояния.

Преимущество представленной концепции ИСД — возможность накопления знаний в виде формализованной информации, на которую ссылаются или используют в процессе логического вывода, и сохранение их длительное время. В отличие от человека объем информации в подобных разработках неограничен, что дает дополнительный потенциал ИСД как саморазвивающейся самонастраивающейся системы к любой новой информации, взаимосвязи данных и обеспечит повышение объективности оценок и качество КТ.

Идеология ИСД может быть распространена на различные виды организационно-технических систем, способствуя повышению эффективности их функционирования, сокращению сроков и повышению качества проверочных работ, а также развитию квалификации специалистов в области систем искусственного интеллекта. Стратегическая цель создания подобных систем состоит в практической реализации принципа обеспечения функционирования организационно-технических систем по техническому состоянию, что позволит снизить их аварийность, а также временные и финансовые затраты на эксплуатацию.

Список использованных источников

1. Кудрявцев С. В., Розовенко В. М. К вопросу оценки технического уровня и качества изделий космической техники на основе модели нечеткой системы // Вестник — Научно-технический журнал НПО им. С. А. Лавочкина, Химки, № 3. 2022, С. 61–67.

2. 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.
3. Кудрявцев С. В., Розовенко В. М. Применение экспертной модели на этапах испытаний космической техники//Системный анализ, управление и навигация: 25-я Международная конференция, Евпатория, 2021. С. 100–101.
4. Кудрявцев М. С. Применение модели нечетких множеств в задачах оценки состояний организационно-производственных систем.//Системный анализ, управление и навигация: 25-я Международная конференция, Евпатория, 2021 г., с. 99–100.

References

1. Kudryavtsev S. V., Rozovenko V. M. On the issue of assessing the technical level and quality of space technology products based on a fuzzy system model//Bulletin — Scientific and Technical Journal of NPO im. S. A. Lavochkina, Khimki, No. 3. 2022, pp. 61–67.
2. Loskutov A. I., Sirota S. V., Sakulin A. N. Improvement with the help of an expert system for testing objects of rocket and space technology//Problems of management. 2011. No. 4. P. 68–73.
3. Kudryavtsev S. V., Rozovenko V. M. Application of an expert model at the stages of testing space technology//System analysis, control and navigation: 25th International Conference, Evpatoria, 2021. pp. 100–101.
4. Kudryavtsev M. S. Application of the fuzzy set model in problems of assessing the states of organizational and production systems.//System analysis, control and navigation: 25th International Conference, Evpatoria, 2021. pp.99–100.