

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕШАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ

Н.В. Лебедева, С.В. Соловьёв

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва
Россия, 141070 Московская обл., Королёв, ул. Ленина, 4А
E-mail: post@rsce.ru

Ключевые слова: космический аппарат, анализ состояния, прогнозирование, телеметрическая информация, временные ряды.

Аннотация: Предложена методика, реализующая функции автоматизированного анализа и прогнозирования состояния космического аппарата (КА). Рассмотрен комбинированный математический подход для выявления изменений тенденций значений телеметрических параметров (ТМП) при оперативном анализе состояния пилотируемого космического корабля. Вычислены корреляции между параметрами и проведён анализ возможного автоматического определения момента времени при котором происходит изменение в поведении тенденции в значении ТМП. Показано что этот момент времени также является началом появления аномального процесса в оборудовании КА, что может быть признаком зарождения нештатной ситуации в КА. Рассмотрены и обоснованы комбинации способов анализа данных и приведения к единому виду решающей функции. На основе описанного математического подхода разработана методика анализа и прогнозирования состояния оборудования КА.

1. Введение

В процессе осуществления контроля при управлении полета КА реализуется задача анализа поступающей телеметрической информации (ТМИ), содержащей значения ТМП. В настоящее время данная процедура осуществляется специалистами группы управления с использованием ограниченных средств автоматизации, поэтому результат анализа в первую очередь зависит от уровня подготовки специалиста, опыт его работы и других факторов. Такой подход имеет свои достоинства и очевидные недостатки. Также эксплуатация КА характеризуется наличием целого ряда режимов и полетных операций, при которых состояние оборудования КА изменяется, что является причиной появления тенденций в изменении значений ТМП, которые также являются характеристикой состояния и функционирования оборудования КА. Внедрение элементов автоматизации в процесс анализа ТМИ является наиболее действенным способом не только устранения недостатков и исключения зависимости от человеческого фактора, но также решить задачу прогнозирования состояния КА и обнаружения нештатных ситуаций на этапе их зарождения. При решении поставленной задачи, КА рассматривается как сложная техническая система - это позволяет применять при создании методики элементы существующих методов оценки,

касающиеся сложных технических систем. Важнейшей задачей для оценки состояния сложной технической системы является своевременное обнаружение незначительных изменений ТМП, которые находятся в рамках допустимых значений для данных ТМП и нет очевидного обоснования считать ТМП взаимосвязанными, однако, спустя время именно их изменения очевидно свидетельствуют о наступлении НШС. Сложность решения данной задачи усугубляется необходимостью выполнять анализ состояния КА в режиме реального времени, что при отсутствии автоматизированного анализа не позволяет оперативно получать однозначное понимание сложившейся ситуации. В сложившейся ситуации предлагается рассмотреть новые модели, методы и средства анализа состояния сложных технических систем с использованием интеллектуальных технологий, т.к. применение «классических» стохастических моделей не дают нужного эффекта, а иногда их принципиальная невозможность учета в модели априорной информации и настройка моделей в условиях различных возмущений в процессе космического полета при большой длительности эксплуатации КА создаёт состояние, когда полноценную модель не получается сделать окончательной (возможной для эксплуатации при анализе состояния).

2. Математический аппарат

Рассмотрев в общем случае изменение характеристик параметров бортовых систем (БС), был сделан вывод, что одинаковый подход к анализу данных не даёт возможности оперативно оценить изменение характеристик в состоянии БС. Диапазон допустимых значений получается избыточно большой. Для каждого состояния предлагается своя комбинация математического аппарата для поиска тенденций в изменении состояния оборудования КА. Предлагается разделить интервалы для анализа на периоды, в которых есть базовые особенности работы БС.

1. Готовность. Состояние готовности характеризуется стабильностью значений ТМП и наличием дискретного параметра, который принимает фиксированное значение. в данном состоянии для контроля предлагается использовать следующий метод с учетом анализа временных рядов: мониторинг стабильности математических ожиданий. Формат решающей функции предлагается представить как сумму отклонений от математического ожидания. При превышении отклонения предлагается автоматизировать процесс отображения для этого решающая функция прибавляет значение 1 к предыдущему значению решающей функции. Граница суммы отклонений должна быть исследована и для каждой БС предлагается устанавливать её диапазон исходя из статистических данных. С целью возможной интерпретации процесса предлагается фиксировать и исследовать вектор направления распространения изменения значений ТМП.

$$\text{Решающая функция для этого периода: } Y_t = \begin{cases} \sum_{i=1}^n |M_{pi} - P_i(t)| & \text{если } t < t_a \\ x(t)H + \sum_{i=1}^n |M_{pi} - P_i(t)| & \text{если } t \geq t_a \end{cases},$$

где $P_i(t)$ – значение i -го параметра на время t ; M_{pi} – математическое ожидание P_i параметра; n – количество учтённых параметров в решающей функции, в исследовании количество n совпадает с количеством параметров в системе; $H \in R^n$ – физически возможный вектор направления распространения изменения значений ТМП; $x(t)$ – скалярный процесс с неизвестными характеристиками, моделирующий изменения значений ТМП; t – время; t_a – время «разладки».

2. Динамика. Исследование изменений состояния БС в период динамических операций показало, что в данном процессе наблюдается изменение одного или нескольких дискретных параметров и нестабильность математических ожиданий других параметров. Контроль в данном периоде включает следующие мероприятия с акцентом на анализе временных рядов: анализ изменения формул описывающих характер ТМП, методы анализа временных рядов, такие как сглаживание скользящим средним и экспоненциальное сглаживание, используются для отслеживания нестабильности значений ТМП во времени. Вычисление корреляции между «основным» параметром и зависимыми. Формирование решающей функции строится на корреляциях ТМП. Сравнение текущих значений с базовыми данными для выявления аномалий и нештатных ситуаций с применением анализа временных рядов.

Статистика полётов позволяет сформировать функцию, описывающую статистическое поведение параметров, входящих в состав контролируемой БС определённо. Критериями использования различных коэффициентов являются дискретные параметры, которые определяют скорость и плавность изменения параметров.

$$f_{\text{прогноз}}(t) = \begin{cases} P_{\text{прогноз } 1}(t) = a_1 t^6 + b_1 t^5 + c_1 t^4 + d_1 t^3 + e_1 t^2 + g_1 t + P_{\text{исх } 1} \\ P_{\text{прогноз } n}(t) = a_n t^6 + b_n t^5 + c_n t^4 + d_n t^3 + e_n t^2 + g_n t + P_{\text{исх } n} \end{cases},$$

где $P_{\text{прогноз } i}(t)$ – функция поведения параметра P_i на интервале проведения динамической операции, выполненная на основании статистических данных; $a_i \dots g_i$ – коэффициенты функции, позволяющие максимально точно описать статистические данные изменения поведения параметра P_i на интервале проведения динамической операции; $P_{\text{исх } i}$ – начальная точка отсчёта поведения параметра P_i , для исследования характерно равенство $P_{\text{исх } i} = P_i(t = 0)$; $f_{\text{прогноз}}(t)$ – функция описывающая статистическое поведение параметров входящих в состав контролируемой БС, критерием использования статистических параметров являются дискретные параметры (например, величина импульса для КДУ).

Решающая функция для этого периода:

$$Y_t = \begin{cases} \sum_{i=1}^n |\sigma_{P_{\text{реш}} - P_i}| + \sum_{i=1}^n |P_{\text{прогноз } i}(t) - P_i(t)| & \text{если } t < ta \\ x(t)H + \sum_{i=1}^n |\sigma_{P_{\text{реш}} - P_i}| + \sum_{i=1}^n |P_{\text{прогноз } i}(t) - P_i(t)| & \text{если } t \geq ta \end{cases},$$

где $P_{\text{реш}}$ – выделенный заранее по статистическим данным параметр, относительно которого возможно структурировать динамику изменения; $|\sigma_{P_{\text{реш}} - P_i}|$ – модуль отклонения корреляции между $P_{\text{реш}}$ и другим параметром в этой БС.

3. Переходный период, характеризуется возвращением дискретного параметра к фиксированному значению и продолжающейся нестабильностью ТМП. Для контроля и анализа в данном периоде предлагается применять следующие методы с учетом анализа временных рядов: формирование обобщённого вектора состояния для ТМП, анализ изменения его поведения в сравнении со статистическим. На основе анализа данных временных рядов предпринимаются меры по коррекции и оптимизации процессов для восстановления стабильности, если это необходимо.

3. Методика автоматизированного анализа и прогнозирования состояния

Основными требованиями к автоматизированной методике анализа и прогнозирования следует считать как минимум следующие:

- определение аномалии и НШС не прогнозируемые аналитически;
- достоверность результатов работы методики;
- автоматическая работа в реальном в масштабе времени.

Используя приведенные требования и изложенный математический аппарат представлена методика автоматизированного анализа и прогнозирования состояния оборудования КА с использованием решающей функции. Применение подобного подхода позволяет говорить о реализации отдельных элементов интеллектуального анализа данных ТМИ.

4. Заключение

В процессе оценки изменения состояния БС КА были выявлены характерные совокупности изменений, позволяющие выделить критерии для формирования периодов для анализа данных. Сформированные для каждого периода решающие функции позволяют оперативно выявлять ненормальные и нехарактерные тенденции. Скорость их выявления добавляет время для оценки появляющейся тенденции, а следовательно, есть возможность сфокусироваться на анализе зафиксированного вектор направления распространения изменения значений ТМП. Сложность оценки переходного периода, его физическое стремление к восстановлению нормального состояния БС, анализируется значительно проще и логичнее. Применение алгоритма контроля состояния КА на базе сформированного математического метода позволит заблаговременно определять потенциальные нештатные ситуации в процессе управления полетом.