

Содержание и структура задач диагностики аномалий в работе бортовых систем космического аппарата

© О.И. Абанин, С.В. Соловьёв

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Обоснована возможность автоматизированного решения задач обнаружения аномалий в работе бортовых систем (БС) космического аппарата (КА), выявления и прогнозирования отклонений в процессе эксплуатации КА — изменений значений телеметрических параметров (ТМП). Раскрыты содержание и структура задач диагностики аномалий в работе БС КА. Проанализировано текущее состояние процесса контроля при управлении полетом КА. Указаны недостатки существующих методов контроля телеметрической информации (ТМИ) о состоянии КА и возможные пути их решения. Описан принцип решения задач анализа ТМИ с помощью метода вейвлет-преобразования. Предложен способ автоматизации процесса анализа на основе разрабатываемого специального математического аппарата. Приведено краткое описание математических преобразований, на которых основан предлагаемый метод диагностики аномалий в работе БС КА.

Ключевые слова: космический аппарат, управление полетом, контроль, телеметрическая информация, автоматизация, вейвлет-преобразование, анализ состояния, диагностика

Введение. Накопленный опыт космических полетов и эксплуатации КА наглядно демонстрирует, что надежность и безопасность осуществления полета любого КА определяются не только конструктивным и функциональным совершенством самого КА, но и уровнем технологий, методов и средств управления его полетом. Для эффективного управления полетом современных КА требуется автоматизировать решение ряда задач, которые напрямую обеспечивают надежность и безопасность эксплуатации КА.

Управление полетом КА — сложный многоступенчатый технологический процесс, состоящий из последовательности действий, логически связанных между собой.

Получение информации, необходимой для решения задач управления космическим полетом и в конечном итоге для принятия решений по дальнейшему продолжению полета, осуществляется в значительной степени в результате анализа ТМИ, получаемой от БС КА. ТМИ является наиболее полной, достоверной и оперативной информацией для определения текущего состояния КА, правильности выполнения программы полета, а также в определенной степени прогноза состояния КА на некоторую перспективу.

Для процесса управления полетом анализ ТМИ имеет большое значение, поскольку позволяет получить исчерпывающее знание

о техническом состоянии КА в целом и его составных частей (включая полезную нагрузку и научную аппаратуру), на основании которого будет принято решение о дальнейшем выполнении программы полета КА.

Для современных КА характерны следующие особенности:

- увеличение сроков активного существования КА;
- усложнение конструкции КА и увеличение числа ТМП;
- функциональное усложнение исполняемых задач КА и полетных операций (ПО).

Цель настоящей статьи — обосновать необходимость решения такой актуальной задачи, как автоматизация всего процесса управления, для эффективного и надежного управления полетом КА с учетом перечисленных особенностей. Это в значительной части относится к анализу ТМИ, поскольку данная информация наиболее объемна, разнородна по физической природе, постоянно и разнонаправленно изменяется в процессе орбитального полета КА.

Текущее состояние процесса контроля при управлении полетом КА. Процесс контроля бортовых систем КА при управлении полетом осуществляется бортовым и наземным комплексами управления (БКУ и НКУ) КА.

Функционирующий на орбите КА нуждается в непрерывном управлении. Задача непрерывного управления БС КА и текущего контроля решается посредством аппаратно-программных средств БКУ КА.

Наземный комплекс управления решает задачи накопления, хранения, обработки, отображения и анализа ТМИ, поступающей от БС КА. В части анализа ТМИ КА возможности НКУ определяются наличием в центре управления полетом (ЦУП) высокопроизводительных вычислительных комплексов с развитым программным обеспечением, а также возможностью разностороннего моделирования полета. НКУ использует аппаратно-программные средства, располагает специалистами управления, которые осуществляют все необходимые действия по фактическому управлению полетом.

Диагностика аномалий в работе БС при управлении полетом КА происходит в НКУ. Под технической диагностикой аномалий в общем смысле следует понимать область знаний, охватывающую теорию, методы и средства определения технического состояния БС. Аномалия в работе БС — это выявленное локальное отклонение ТМП, находящееся в пределах допустимых значений, фиксируемое в спектре значений сигнала, но не соответствующее нормальному локальному виду этого сигнала (ряда значений ТМП) и имеющее развитие как потенциальная нештатная ситуация (НШС).

Вычислительные возможности БКУ ограничены. Обработка больших объемов поступающей ТМИ требует высокопроизводительных вычислительных средств, которыми обладает НКУ. В качестве КА как объекта контроля могут выступать Международная космическая станция (МКС) и транспортные пилотируемые (ТПК) и грузовые (ТГК) корабли (ТПК «Союз» и ТГК «Прогресс»), БКУ которых менее производительны по сравнению с НКУ.

Текущее состояние процесса контроля в части анализа ТМИ, поступающей с КА в НКУ, характеризуется следующим:

- традиционные и часто применяемые методы анализа ТМИ при управлении полетом КА включают алгоритмы, которые составляют специалисты, причастные к разработке данного конкретного КА;
- основным инструментом анализа является метод «допускового» контроля;
- анализ состояния БС напрямую зависит от внимательности, опыта и квалификации специалиста по контролю.

Привязанность традиционных методов анализа ТМИ к особенностям конструкции и режимам функционирования конкретного КА приводит к увеличению объема и сложности программного обеспечения, а также к усложнению алгоритма контроля. Возникают задержки в исполнении алгоритма, затрудняется задача его верификации.

Помимо метода «допускового» контроля, осуществляется вторичная обработка ТМИ, при которой формируются и анализируются интегральные и комплексные параметры БС (например, параметр «норма», располагаемое время). Заключение о правильности функционирования БС КА составляет специалист по контролю.

В ЦУП специалистами по контролю состояния БС КА ведется мониторинг случившихся недопустимых отклонений, а не развивающихся аномальных процессов. Устанавливаются факт нарушения работы БС и необходимость принятия срочных мер без возможности заблаговременного обнаружения предвестников возникновения НШС. Специалистами по управлению полетом выполняется достаточно большое число рутинных и повторяющихся действий. При длительных сеансах связи или непрерывном цикле наблюдения (например, как у геостационарных КА) у специалиста группы анализа может ослабеть внимание, поскольку человек способен воспринять, обработать и проанализировать ограниченный объем информации, а поток информации с КА часто превышает предел восприятия. В этом случае приходится привлекать большее число специалистов.

Важными предпосылками для автоматизации процесса контроля при управлении полетом КА являются:

- необходимость устранения множества рутинных, постоянно повторяющихся операций, выполнение которых специалистами ЦУП может быть заменено работой автоматизированной системы;

- обработка большого количества информации и мониторинг огромного числа ТМП для получения достаточного объема информации, которая требуется для принятия решений при управлении полетом;
- длительность полетов и накопление значительного количества информации в процессе эксплуатации (например, МКС функционирует уже на протяжении 20 лет).

Для анализа ТМИ КА ограничено используются современные информационные технологии. Уровень автоматизации процесса контроля при управлении полетом КА характеризуется в основном только автоматическим отображением предупреждения о выходе значения ТМП за установленные штатные границы и последующим оповещением о возникновении НШС.

В настоящее время происходит интенсивное развитие информационных технологий. Под понятием *информационная технология* подразумевается совокупность программно-технологических средств и методов сбора, хранения, обработки и распространения информации. Внедрение информационных технологий в процесс анализа состояния БС КА связано с интеллектуальными методами анализа ТМИ КА.

Интеллектуальный анализ данных в узком смысле — это процесс обнаружения в необработанных данных практически полезных и доступных для интерпретации знаний, необходимых для принятия определенных решений. В широком смысле это — концепция анализа данных, которые могут быть неточными, неполными, противоречивыми и при этом иметь большой объем.

Одним из предпочтительных методов интеллектуализации и автоматизации процесса анализа ТМИ КА является метод вейвлет-преобразования. Он базируется на следующих особенностях ТМИ. Как известно, значения ТМП в составе ТМИ КА, поступающей в НКУ, на начальных этапах обработки привязывается к шкале времени. В результате сплайновой аппроксимации значений получается кривая (рис. 1), которую можно рассматривать как «сигнал»: от КА приходит не аналоговый сигнал, а последовательность значений ТМП, совокупность которых рассматривается в качестве сигнала для дальнейшего математического преобразования и анализа.

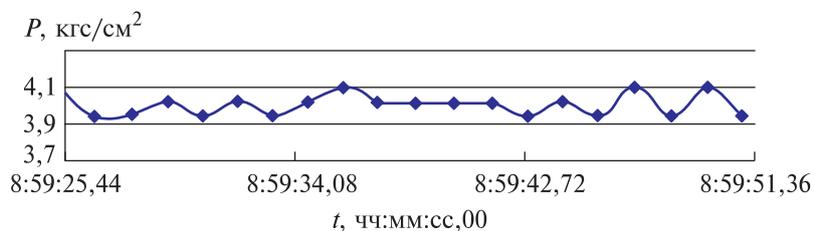


Рис. 1. Пример визуализации последовательного ряда значений ТМП давления хладона за дросселем системы кондиционирования воздуха (1 кгс = 98066,5 Па)

Обнаружение полезной информации и знаний в этом сигнале уже не может быть выполнено вручную и требует нетривиальной автоматизации [1, 2].

Из анализа текущего состояния процесса контроля при управлении полетом КА следует, что контроль значений ТМП состояния КА должен включать не только идентификацию их отклонения от желаемых значений, но и определение причин и источников отклонений, а также тенденций развития физических процессов на борту КА.

Необходимо оперативно выявлять процессы изменения контролируемого ТМП, предшествующие возникновению потенциальной НШС, которая с использованием традиционных методов обнаруживается только в момент наступления.

Предположим, имеется сигнал, составленный из последовательного ряда значений выбранного ТМП, и требуется обнаружить потенциальную НШС с помощью метода «допускового» контроля. Есть границы-отрезки допустимых значений (верхняя и нижняя): $[P_1, P_1']$, $[P_2, P_2']$.

Система контроля значений ТМП, использующая метод «допускового» контроля, способна обнаружить появление нежелательного процесса только при превышении ТМП значения P_1 (рис. 2), определить время наступления НШС при дальнейшем развитии аномального отклонения и располагаемое время. Превышение порогового значения свидетельствует о возникновении НШС, которая ведет к изменению или прерыванию выполнения ПО, а возможно, и к изменению программы полета.

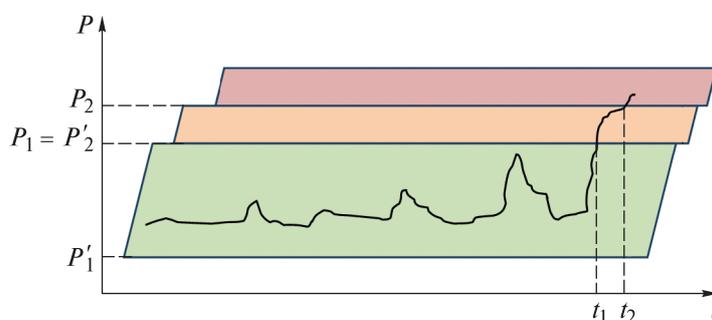


Рис. 2. Упрощенная иллюстрация работы метода «допускового» контроля:

зеленый — область допустимых значений; оранжевый — область значений, вышедших за пределы допустимых; красный — область необратимого изменения НШС

Самый ранний момент обнаружения отклонения может соответствовать случаю, когда опытный и высококвалифицированный специалист по контролю и анализу ТМИ обнаружит отклонение к моменту времени t , меньшему, но близкому к t_1 .

Внедрение современных информационных технологий и специального математического аппарата, а также автоматизация процесса анализа позволят выполнять обработку сигнала и фиксировать возникающее отклонение (аномалию) заблаговременно, когда значения ТМП находятся в пределах $[P_1(t_1), P_1'(t_1)]$. Время на выполнение процедуры анализа в таком случае будет определяться исключительно производительностью вычислительных средств НКУ, которая достаточно высока. Автоматизация процесса анализа позволит избежать существующих на сегодняшний день недостатков технологии анализа ТМИ КА.

Задачи диагностики аномалий в работе БС КА. Совершенствование процесса контроля при управлении полетом КА в целях реализации эффективной диагностики аномалий в работе БС связано с решением следующих подзадач:

- создание возможности заблаговременного обнаружения аномальных процессов, являющихся предвестниками возможных НШС;
- определение тенденций развития наблюдаемых аномальных процессов;
- устранение сбоев в последовательном ряде значений ТМИ о состоянии КА.

Под понятием *тенденция* имеется в виду самостоятельная характеристика, определяющая скорость и направление изменения значения ТМП.

Дополнительным приложением к решению задачи анализа ТМИ КА является обнаружение сбойных значений ТМП, которые присутствуют в ТМИ КА. Возникшее отклонение может представлять собой не реальное существенное измерение, а сбойное значение. Нужно определять причину возникновения сбойных значений и сопоставлять их с возникновением аналогичных сбоев других параметров. Методы анализа ТМИ КА должны позволять идентифицировать реальные неисправности и устранять сбойные значения автоматически.

Итак, в структуре задач диагностики аномалий в работе БС КА можно сформировать следующие группы задач, связанные друг с другом.

1. *Автоматизация и интеллектуализация.* Автоматизация должна способствовать более оперативному решению задачи анализа и устранению человеческого фактора в понижении эффективности процесса обработки и диагностики состояния БС КА. Задача интеллектуализации процесса анализа ТМИ ставится для детального понимания поведения ТМП, описывающих процессы, происходящие на КА, изменения и идентификации БС с последующим прогнозированием.

Существуют специальные организационные методы, которые призваны решить сложные проблемы управления полетом КА. К ним относятся:

- выделение определенных фаз полета, фиксирование ответственных ПО (например, выведение, стыковка, внекорабельная деятельность, маневры и т. п.);
- выделение большего количества ресурсов контроля состояния КА, привлечение большой группы специалистов по управлению;
- привлечение разработчиков тех или иных систем, параметры которых находятся под наблюдением в процессе выполнения определенных ПО.

В среде специалистов службы управления существует устойчивое и аргументированное мнение о необходимости увеличения и внедрения средств автоматизации анализа, в первую очередь — для продолжительных фаз полета КА. Особенно это важно при управлении полетом ТГК и ТПК на участке совместного полета с МКС, поскольку ТПК является спасательным кораблем и должен обеспечивать аварийную эвакуацию экипажа за ограниченный интервал времени. При контроле конфигурации полета ТПК, ТГК и МКС ограниченная группа специалистов вынуждена решать задачи мониторинга большого количества объектов и ТМП. Стоит отметить, что автоматизация в данном случае направлена не на детализацию процесса контроля параметров при выполнении динамических операций, а на совершенствование контроля состояния БС, т. е. на получение углубленных знаний о состоянии контролируемого объекта при совместной эксплуатации орбитального комплекса.

2. *Анализ.* Для обеспечения оперативности анализа ТМИ при управлении полетом КА ставится задача повышения быстродействия идентификации отклонений, своевременной диагностики аномалий в работе БС. Выполняется исследование ТМИ с целью нахождения скрытых отклонений в больших объемах поступающих данных. Требуется разработать метод, позволяющий определять время и место возникновения нежелательных отклонений и аномалий, оценки скорости и тенденций развития этих неблагоприятных процессов, которые предшествуют возникновению реальной нештатной ситуации. Все это позволяет максимально рано и точно определить располагаемое время для устранения потенциально опасной ситуации в работе БС КА.

3. *Прогнозирование и идентификация.* На сегодняшний день существует задача разработки методов предсказания НШС, построения прогнозирующих моделей, определения тенденции изменения ТМП [3].

По отношению к анализу инженерных данных сравнительно новым инструментом в прикладной математике является вейвлет-преобразование (ВП). Концепция вейвлетов представляет собой синтез идей, возникших за последние десятилетия в математике, технике и физике. Вследствие своего междисциплинарного происхождения вейвлеты получили характерный для них высокий потенциал

для анализа данных в различных сферах науки и техники [4]. Предлагаемый метод анализа ТМИ основан на использовании математического аппарата ВПр. Стоит отметить, что ВПр не является обобщенной методикой для любого типа сигналов и представляет собой математический инструмент, требующий подстройки под конкретную анализируемую систему. Вейвлет-преобразование — это интегральное преобразование, свертка двух функций, одна из которых — вейвлет, а вторая — функция исследуемого сигнала [5]. У ВПр анализирующая функция — локализованный всплеск или вейвлет $\psi(t)$. Вейвлетом может называться функция, которая удовлетворяет ряду условий, важнейшими из которых являются:

$$1) \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0;$$

$$2) \int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty.$$

Для проведения ВПр выполняется построение семейства вейвлет-функций. Скалярное произведение этих функций и исходного сигнала составляет матрицу коэффициентов преобразования, имеющего возможность отразить как частотные, так и временные изменения сигнала. Для построения семейства применяются масштабный коэффициент a и сдвиг по времени τ . Масштаб представляет собой частотную меру, определяющую детализацию преобразования и обратно пропорциональную частоте. Масштабирование как математическая операция расширяет или сжимает сигнал. Таким образом,

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right),$$

где $\psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right)$ — исходный «материнский» вейвлет [6].

Формула непрерывного ВПр (НВПр):

$$W(a, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{a,\tau}^*(t) dt,$$

где $f(t)$ — функция анализируемого сигнала; $\psi_{a,\tau}^*(t)$ — функция, комплексно-сопряженная с выбранным вейвлетом.

Суть ВПр в следующем: если при заданных масштабе и сдвиге значение вейвлет-коэффициента оказывается относительно большим, то в исходном сигнале существует участок, похожий на анализируемый вейвлет. Из этого следует, что имеется возможность обнару-

жения в заданном ряде значений ТМП изменений, похожих на вейвлеты.

Результаты ВПр с геометрической точки зрения — это поверхность в трехмерном пространстве, а с точки зрения анализа ТМИ — частотное наполнение сигнала и моменты времени возникновения соответствующих этим частотам изменений в сигнале, т. е. факт появления аномалии [7].

Для ТПК поступление данных ТМП происходит только в течение сеанса связи — интервала 10...20 мин на витке. Применим дискретное ВПр к последовательному ряду значений ТМП.

Пусть Δt — период дискретизации; $t_n = n\Delta t$ — дискретные моменты времени; $x_n = f(n\Delta t)$ — дискретные значения функции, соответствующие этим моментам времени. Значения масштаба варьируются следующим образом: $a = 2^m$, $m \in Z$, сдвиги кратны числу l : $\tau = al$, $l \in Z$.

Используя дискретную систему параметров, можно получить семейство вейвлетов:

$$\psi_{m,l} = 2^{-m/2} \psi(2^{-m}t - l).$$

Обозначим количество масштабных строк индексом m , число отсчетов в сигнале — N , $N = 2^m$. При сдвиговой ортогональности прямоугольных базисных функций (БЗФ) прямое преобразование для непрерывных сигналов выполняется по формуле

$$C_{m,l} = \int_{i\Delta t}^{(i+1)\Delta t} f(x) \psi_{m,l}(2^{-m}t - l) dt.$$

Процесс контроля ТМИ о состоянии КА представляет собой обработку и анализ дискретных значений сигнала какого-либо параметра $\bar{X}(t)$ (рис. 3).

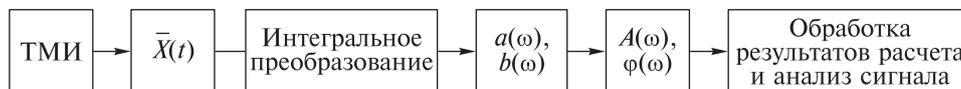


Рис. 3. Последовательность математической обработки сигнала

Набор значений ТМП КА образует вектор \bar{x} , в каждой ячейке которого содержится значение параметра в i -й момент времени:

$$\bar{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ — отсчеты сигнала.

Аналогично смыслу скалярного произведения двух непрерывных функций в пространстве L_2 , скалярное произведение дискретных сигналов характеризует их схожесть и выражается в виде усредненного произведения [8, 9]:

$$\langle x(t) y(t) \rangle = \frac{1}{2T} [x(t) y(t)].$$

Для преобразования Фурье (ПФ), на принципах которого основано ВПр, в качестве БЗФ принимаются:

$$\begin{cases} \alpha_\omega(t) = \cos(\omega t); \\ \beta_x(t) = -\sin \omega t. \end{cases}$$

Подобие сигналов характеризуется коэффициентами преобразования:

$$a_x(\omega) = 2 \langle x(t) \cos \omega t \rangle_t; \quad b_x(\omega) = -2 \langle x(t) \sin \omega t \rangle_t. \quad (1)$$

Разложение сигнала в ряд по гармоническим составляющим для первых двух частот:

$$\begin{aligned} \langle x(t) \alpha_{\omega_1}(t) \rangle &= a(\omega_1); \quad \langle x(t) \beta_{\omega_1}(t) \rangle = b(\omega_1) \rightarrow A(\omega_1); \quad \varphi(\omega_1); \\ \langle x(t) \alpha_{\omega_2}(t) \rangle &= a(\omega_2); \quad \langle x(t) \beta_{\omega_2}(t) \rangle = b(\omega_2); \rightarrow A(\omega_2); \quad \varphi(\omega_2); \end{aligned}$$

Таким образом, ПФ для случая дискретных сигналов — это переход от зависимости $x(t)$ к зависимости $a_x(\omega)$ и $b_x(\omega)$.

Рассмотрим исходный сигнал в интервале времени (окне стационарности). Если выделенный интервал исходного сигнала умножить на оконную функцию $h(t)$, выполняющую локализацию сигнала и задающую его форму, возникнет возможность получить сведения не только о спектральном составе сигнала, но и о временной локализации его составных компонент, пиков во временной области [10]. Но такое оконное ПФ (ОПФ) начинает фиксировать амплитудные изменения не в момент их возникновения, а в момент их попадания в окно сигнала, задолго до того, как эти изменения начнут возникать на самом деле. Отличие ВПр от ОПФ состоит в том, что в случае ВПр на оконную функцию умножается не сигнал, а БЗФ по принципу выражения, описанному в (1). В случае использования ВПр БЗФ представляют собой локализованные всплески гармонических функций. Результат ОПФ слабо зависит от ширины окна рассматриваемого сигнала, определяется лишь его свойствами и видом локализованной, ограниченной БЗФ — вейвлета.

Рассмотренный выше математический аппарат ВПр реализуется в программных комплексах на практике для анализа реальных сигналов в виде кратномасштабного анализа [11–14].

Автоматизацию метода диагностики аномалий в работе БС при управлении полетом КА предполагается выполнять с помощью специального программного обеспечения, основанного на реализации описанного выше математического ВПр. Математический анализ сигнала, построенного из последовательных значений ТМП состояния КА, для диагностики аномалий в работе его БС проводится по схеме, представленной на рис. 4, со следующими уточнениями:

- выполняется компоновка данных из нескольких носителей — файлов с ТМИ для разных отрезков времени; формируется единый ряд значений и осуществляется объединение данных ТМИ, записанных в режимах: а) непосредственной передачи от КА в ЦУП; б) записи, отложенной передачи и воспроизведения;

- осуществляется удаление лишней информации при объединении участков значений, в которых имеются пробелы, провалы или пропадание ТМИ, а также приведение всех отсчетов сигнала к единому формату времени;

- при обработке результатов расчета и анализе сигнала используется алгоритм, позволяющий выполнить диагностику отклонений и идентифицировать аномалию на основании информации о распределении вейвлет-коэффициентов.

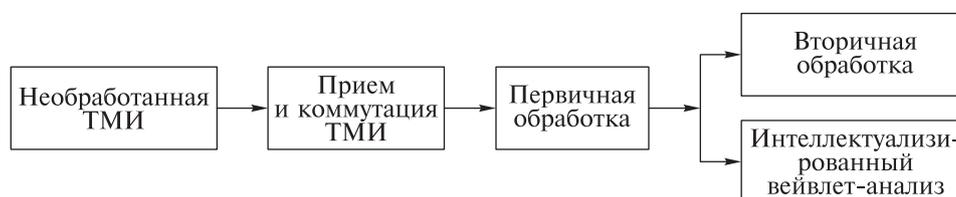


Рис. 4. Тривиальная схема последовательности анализа ТМИ

Таким образом, значительный вклад в реализацию решений рассмотренной структуры задач диагностики аномалий в работе БС при управлении полетом КА может быть внесен с использованием предлагаемого метода вейвлет-преобразования, которое выполняется на этапе вторичной обработки ТМИ.

Заключение. Анализ текущего состояния процесса контроля при управлении полетом показывает, что в части анализа ТМИ КА имеется ряд особенностей и ограничений, составляющих недостатки существующих методов. Поэтому целесообразно внедрение различных методов автоматизации и интеллектуализации данного процесса. Перспективная задача анализа ТМИ — разработка методов обнаружения аномалий в состоянии КА для обеспечения заблаговременного

реагирования и недопущения развития аномалии до критического состояния. В качестве одного из перспективных методов диагностики аномалий в работе БС КА предлагается использование специального математического аппарата, основанного на вейвлет-преобразовании сигнала, сформированного из последовательных значений ТМП.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Frawley W., Piatetsky-Shapiro G., Matheus C. Knowledge Discovery in Databases: An Overview. *AI Magazine*, 1992, pp. 213–228.
- [2] Барсегян А.А., Куприянов М.С., Холод И.И. *Анализ данных и процессов*. Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2009, 512 с.
- [3] Сакрутина Е.А., Бахтадзе Н.Н. Идентификация систем на основе вейвлет-анализа. *Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления (Москва, ВСПУ-2014)*. Москва, ИПУ РАН, 2014, с. 2868–2889.
- [4] Добеши И. *Десять лекций по вейвлетам*. Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001, 464 с.
- [5] Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. *Успехи физических наук*, 1996, т. 166, № 11, с. 1145–1170.
- [6] Дьяконов В.П. *Вейвлеты. От теории к практике*. Москва, Солон-Р, 2002, 448 с.
- [7] Козинев И.А. Обнаружение локальных свойств анализируемых сигналов и процессов с использованием вейвлет-преобразования. Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. *Информационно-управляющие системы*, 2015, № 1, с. 4.
- [8] Петухов А.П. *Введение в теорию базисов всплесков*. Санкт-Петербург, издательство СПбГТУ, 1999, 132 с.
- [9] Дремин И.Л. и др. Вейвлеты и их использование. *Успехи физических наук*, 2001, т. 171, № 5, с. 465–501.
- [10] Коньшева В.Ю., Максимов Н.А., Шаронов А.В. Вейвлет-анализ в задачах контроля и диагностики линейных динамических систем. *Труды МАИ*, 2017, вып. 97, с. 3. URL: http://trudymai.ru/upload/iblock/911/Konysheva_Maksimov_Sharonov_rus.pdf
- [11] Дьяконов В., Абраменкова И. *MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник*. Санкт-Петербург, Питер, 2002, 608 с.
- [12] Переберин А.В. О систематизации вейвлет-преобразований. *Вычислительные методы и программирование*, 2002, т. 2, с. 15–40.
- [13] Воробьев В.И., Грибунин В.Г. *Теория и практика вейвлет-преобразования*. Санкт-Петербург, ВУС, 1999. 204 с.
- [14] Малла С. *Вэйвлеты в обработке сигналов*. Москва, Мир, 2005, 671 с.

Статья поступила в редакцию 25.03.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Абанин О.И., Соловьёв С.В. Содержание и структура задач диагностики аномалий в работе бортовых систем космического аппарата. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 6. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-6-1890>

Абанин Олег Игоревич — студент 6-го курса МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: анализ временных рядов, управление полетом космического аппарата, интеллектуальные системы управления. e-mail: olegaban@mail.ru

Соловьёв Сергей Владимирович — канд. техн. наук, ведущий конструктор ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва. Область научных интересов: проектирование автоматических космических аппаратов, управление полетом. e-mail: sergey.soloviev@scsc.ru

The content and structure of tasks of diagnosing anomalies in spacecraft onboard systems operation

© O.I. Abanin, S.V. Soloviev

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The paper substantiates the possibility of the automated solution to the problems of detecting anomalies in the operation of onboard systems of a spacecraft, identifying and predicting deviations in the process of spacecraft operation based on changes in the values of telemetric parameters. The study provides insight into the content and structure of the tasks of diagnosing anomalies in the operation of onboard spacecraft systems, and analyzes the current state of the spacecraft flight control process. Within the research, we point out the drawbacks of the existing methods for monitoring telemetric information on the state of a spacecraft, and introduce possible solutions. We describe the principle of solving these problems of analyzing telemetric information using the wavelet transform method, and propose a method for automating the analysis process based on the special mathematical apparatus being developed. The paper gives a brief description of the mathematical transformations on which the proposed method for diagnosing anomalies in the operation of onboard systems is based.

Keywords: spacecraft, flight control, control, telemetric information, automation, wavelet transform, state analysis, diagnostics

REFERENCES

- [1] Frawley W., Piatetsky-Shapiro G., Matheus C. Knowledge Discovery in Databases: An Overview. *AI Magazine*, 1992, pp. 213–228.
- [2] Barsegyan A.A., Kupriyanov M.S., Kholod I.I. *Analiz dannykh i protsessov* [Data and process analysis]. 3rd ed. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2009.
- [3] Sakrutina E.A., Bakhtadze N.N. Identifikatsiya sistem na osnove veyvlet-analiza [Identification of systems based on wavelet analysis]. *Trudy XII Vserossiyskogo soveshchaniya po problemam upravleniya (Moscow, VSPU-2014)* [Works of XII All-Russian conference on the problems of control-2014]. Moscow, ICS RAS, 2014, pp. 2868–2889.
- [4] Dobeshi I. *Desyat lektsiy po veyvletam* [Ten lectures on wavelets]. Izhevsk, RKHD Publ., 2001, 464 p.
- [5] Astafeva. N.M. *Uspekhi fizicheskikh nauk — Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)*, 1996, vol. 166, no. 11, pp. 1145–1170.
- [6] Dyakonov V.P. *Veivlety. Ot teorii k praktike* [Wavelets. From theory to practice]. Moscow, Solon-R Publ., 2002, 448 p.
- [7] Kozinov I.A. *Informatsionno-upravlyaiushchie sistemy — Information and Control Systems*, 2015, no. 1, p. 4.
- [8] Petukhov A.P. *Vvedenie v teoriyu bazisov vspleskov* [Introduction to wavelet theory]. St. Petersburg, SSTU Publ., 1999, 132 p.
- [9] Dremin I.L., et al. *Uspekhi fizicheskikh nauk — Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)*, 2001, vol. 171, no. 5, pp. 465–501.
- [10] Konyshcheva V.Yu., Maksimov N.A., Sharonov A.V. *Trudy MAI (Proceedings of MAI)*, 2017, no. 97. Available at: http://trudymai.ru/upload/iblock/911/Konyshcheva_Maksimov_SHaronov_rus.pdf

- [11] Dyakonov V., Abramenkova I. *MATLAB. Obrabotka signalov i izobrazheniy. Spetsialny spravochnik* [MATLAB. Signal and image processing. Special Handbook]. St. Petersburg, Piter Publ., 2002, 608 p.
- [12] Pereberin A.V. *Vychislitelnye metody i programmirovaniye — Numerical Methods and Programming*, 2001, vol. 2, pp. 15–40.
- [13] Vorobyev V.I., Gribunin V.G. *Teoriya i praktika veyvlet-preobrazovaniya* [Theory and practice of wavelet transform]. St. Petersburg, VUS Publ., 1999, 204 p.
- [14] Mallat S. *A wavelet tour of signal processing: the sparse way*. 3rd ed. Academic Press, 1998 [In Russ.: Malla S. *Veyvlety v obrabotke signalov*. Moscow, Mir Publ., 2005, 671 p.].

Abanin O.I., 6th year student, Bauman Moscow State Technical University. Research interests: time series analysis, spacecraft flight control, intelligent control systems.
e-mail: olegaban@mail.ru

Soloviev S.V., Cand. Sc. (Eng.), Leading Designer, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. Research Interests: automated spacecraft design, flight control.
e-mail: sergey.soloviev@scsc.ru