



Кузьмин С.В.

Kuzmin S.V.

аспирант Финансово-технологической академии, Россия, г. Королев

УДК 004.62

СРЕДСТВА СБОРА И ОБРАБОТКИ БЫСТРОМЕНЯЮЩИХСЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА БОРТУ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с обработкой быстроменяющихся параметров (БМП) на борту изделия ракетно-космической техники (РКТ). Показана важность виброакустических параметров и их характеристики. Приводится историческая справка о ключевых этапах в решении задачи получения данных о процессах, протекающих на борту изделия РКТ во время его эксплуатации. Выделены основные конструктивные параметры и требования к аппаратуре по обработке БМП.

Ключевые слова: быстроменяющиеся виброакустические параметры, космический аппарат, изделия ракетно-космической техники.

MEANS OF COLLECTING AND PROCESSING OF THE FAST-CHANGING VIBROACOUSTIC CHARACTERISTIC ONBOARD MISSILE AND SPACE EQUIPMENT

In this article the questions connected with processing of fast-changing parameters (FCP) onboard a product of the missile and space equipment (MSE) are considered. Importance of vibroacoustic parameters and their characteristic is shown. Historical information about key stages is given in the solution of a problem of data acquisition on processes proceeding onboard product MSE during its operation. The key design data and requirements to the equipment on FCP processing are allocated.

Key words: fast-changing vibroacoustic parameters, the spacecraft, missile and space equipment products.

Понятие вибрации и акустики пришло в космическую технику с моментов первых испытаний. Тогда же появилась необходимость получать данные о состоянии изделия и его отдельных элементах в части виброакустических процессов. В особенности из-за того, что данные параметры сопровождают РКТ в течение всего времени эксплуатации [1–4]. Основными и в то же время критическими источниками вибрации являются: двигательная арматура; средний переходник; нижний переходник; арматура конструкции.

При трансляции информации с борта ракетносителя (РН) и разгонного блока (РБ) имеется два обстоятельства, затрудняющих получение досто-

верной информации:

1) потеря радиосвязи в некоторые моменты разделения ступеней;

2) резкое сокращение пропускной способности радиоканалов во время полета РБ, которое в начале в лучшем случае достигает нескольких сот кбит, а к моменту отделения космического аппарата (КА) пропускная способность вообще падает до нескольких десятков кбит.

На рис. 1 представлена схема ракетного разгонного блока.

Особенно обостряется положение при возникновении нештатной ситуации, когда необходимо решать две задачи:

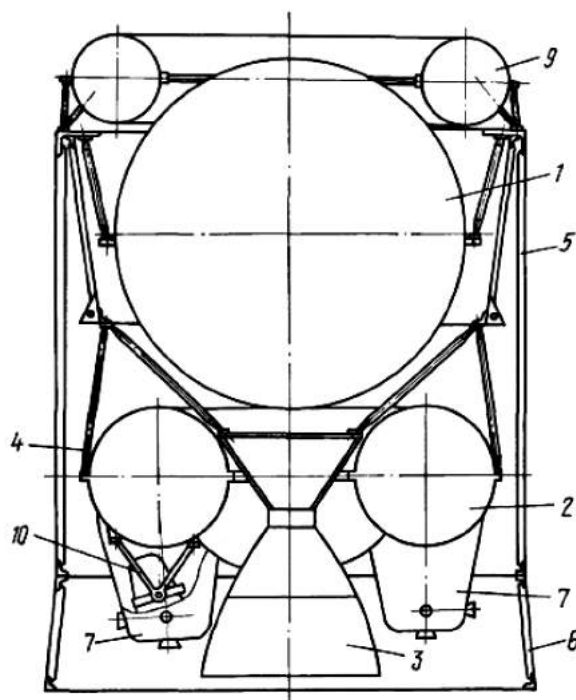


Рис. 1. Схема ракетного разгонного блока:

1 – бак окислителя; 2 – бак горючего; 3 – маршевый двигатель; 4 – межбаковый отсек; 5 – средний переходник; 6 – нижний переходник; 7 – двигательная установка средств обеспечения запуска (ДУ СОЗ); 8 – блок сопел; 9 – приборный отсек; 10 – неподвижное крепление; 11 – трубопроводы

1. Принять срочные меры по возможности устранить или хотя бы парировать возникшее нештатное развитие событий.

2. Передать на землю по возможности максимальное количество измеренной информации для анализа и определения причины возникновения нештатной ситуации. При этом особое место отводится БМП, которые в силу своей специфики первыми откликаются на неблагоприятное развитие событий.

Виброакустические параметры относятся к группе быстроменяющихся параметров, для сбора которых требуется частота опроса от 8 до 20 кГц. Для сравнения, у медленноменяющихся параметров, таких как давление и температура, частота опроса составляет около 10 Гц. В период первых разработок РКТ было предложено проводить обработку информации на борту, так как виброакустические параметры обладают большой информативностью.

В начале 60-х годов были изготовлены экспериментальные приборы на основе LC-фильтров, позволяющие обработать данный поток информации. Но в результате от них пришлось отказаться, так как на тот момент элементная база была достаточно крупных размеров, и прибор получился больших габаритов. Обработку было решено производить на земле, передавая все данные по радиоканалу. Внимание было переведено в сторону направления расширения канала передачи данных. Позднее, в 70-х годах,

удалось произвести обработку данных на борту. В качестве борта были использованы тяжелые военные самолеты. Для обработки использовались барбитовские фильтры (квадратурные фильтры). В начале 80-х годов была разработана аппаратура на основе активных фильтров, но ее не смогли применить на борту из-за большого уровня потребления электроэнергии. В итоге данная разработка применялась на земле. В конце 80-х годов была разработана аппаратура бортовой обработки на основе аналого-дискретных фильтров (операционные усилители с конденсаторами в качестве памяти). Снята с изделий из-за неустойчивой работы в температурном диапазоне.

В настоящее время в связи с развитием элементной базы появилась возможность решить данную задачу. В частности, речь идет о быстродействующих и малопотребляющих процессорах. Однако данная бортовая аппаратура отсутствует либо представлена с характеристиками, не удовлетворяющими современным требованиям.

В последнее время произошло резкое увеличение числа измеряемых вибропараметров, которые необходимо передавать на землю. При этом возможностей расширенного канала недостаточно, особенно на большой высоте. В связи с этим вновь возникла необходимость в обработке вибрационных параметров на борту КА.

В настоящее время существует аппаратура на

отечественной элементной базе, но с малой разрядностью и с большими габаритами. Одно из таких устройств разработано ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС» и представляет собой систему мониторинга большого количества датчиков. Система фильтрует сигналы и передает их на землю без бортового анализа.

Исходя из ситуации на сегодняшний день можно сформировать необходимые требования для реализации бортовой обработки:

- возможность многоканальной обработки, 24 канала;
- высокое быстродействие;
- большая разрядность, 16 разрядов;
- малые габариты;
- малый вес;
- малое энергопотребление, до 10 Вт.

В связи с вышеизложенным был выработан следующий принцип построения бортовых аппаратно-программных средств по сбору, преобразованию, обработке, анализу и передаче информации по БМП:

1. По всем процессам БМП вычисляются характеристики, необходимые для оперативной оценки. Вычисленные характеристики передаются на землю. По возможности также передается непосредственная запись.

2. Одновременно с процедурой вычисления используется устройство для обнаружения всех штатных и нештатных ситуаций на борту изделия.

К штатным ситуациям можно отнести: разделение ступеней, сброс переходников, запуск двигателей. Все штатные воздействия обрабатываются и сравниваются с заданными нормами. При превышении норм устройство действует следующим образом:

- определяет место, где появилось первым нештатное воздействие;
- передает предупреждающий сигнал;
- формирует поток процессов БМП с нештатным воздействием для передачи на землю.

Для оперативной оценки вибрационного состояния отдельных узлов необходимо непрерывно вычислять следующие характеристики измеряемого параметра x :

- среднее значение m_x ;
- $$m_x = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_n, \quad (1)$$

где X_n – отсчет измеренного сигнала $X(t)$ в точке n ; N – количество отсчетов.

С помощью среднего значения X_n можно выделить различные воздействия, значительно превышающие диапазон измерения;

- среднеквадратичное отклонение σ_x :

$$\sigma_x = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} (X_n - m_x)^2. \quad (2)$$

Среднеквадратичное отклонение σ_x позволяет оценивать колебательную составляющую измеренного сигнала, что особенно важно при появлении тренда или скачкообразного изменения характера сигнала;

– максимальное Max_x и минимальное Min_x значения:

$$Max_x = \max \{(x_1 - m_x) \dots (x_n - m_x)\} \quad (3)$$

при $n = 0 \dots N - 1$;

$$Min_x = \min \{(x_1 - m_x) \dots (x_n - m_x)\} \quad (4)$$

при $n = 0 \dots N - 1$.

С помощью Max и Min значений оцениваются пиковые вибронагрузки на тот или иной агрегат или узел;

– амплитудные или спектральные характеристики.

Для вычисления спектральных характеристик виброакустических процессов используются два метода:

- 1) метод БПФ;
- 2) метод фильтрации.

При использовании метода БПФ прежде всего определяются коэффициенты Фурье:

$$A(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_n \cos \frac{2\pi kn}{N}, \quad (5)$$

$$B(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X_n \sin \frac{2\pi kn}{N}, \quad (6)$$

где $X_n = X_n - m_x$.

Спектр мощности:

$$G_{cm}(k) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M [A^2(k) + B^2(k)], \quad (7)$$

где M – частота реализаций.

Спектральная плотность мощности:

$$G_{спм}(k) = \frac{G_{cm}(k)}{\Delta f}, \quad (8)$$

где Δf – полоса частот.

Спектр мощности:

$$A(k) = \sqrt{G_{cm}(k)}. \quad (9)$$

При использовании метода фильтрации прежде всего реализуется цифровая рекурсивная фильтрация в заданных полосах частот с помощью полосовых фильтров Баттерворда второго порядка:

$$y_k(n) = A_{0k} X_{n-2} + A_{2k} X_{n-1} + A_{2k} X_n + B_{0k} y_{n-2} + B_{1k} y_{n-1}, \quad (10)$$

где X_n – входной массив данных; y_n – выходной массив данных; A_{0k} , A_{1k} , A_{2k} , B_{0k} , B_{1k} – коэффициенты фильтра, рассчитанные в соответствии с заданными характеристиками k -го фильтра; k – номер фильтра.

Далее на базе полученных массивов отфильтрованных данных производится вычисление следующих характеристик:

амплитудный спектр:

$$A(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_k(n), \quad (11)$$

амплитудный спектр максимальных значений:

$$A(k)_{max} = \max \{y_k(1) \dots y_k(N)\}, \quad (12)$$

спектр мощности:

$$G_{cm}(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_k^2(n), \quad (13)$$

спектральная плотность мощности:

$$G_{спм}(k) = \frac{1}{N\Delta f} \sum_{n=1}^N y_k^2(n). \quad (14)$$

Для улучшения анализа данных были продуманы дополнительные возможности, предоставляемые работой системы:

- обработка данных в реальном масштабе времени для принятия оперативных мер по предотвращению последствий нештатных ситуаций (в ручном и автоматическом режимах);

- одновременный опрос датчиков с привязкой по времени (позволяет сравнивать показания датчиков в одном промежутке времени, для более точного определения места нештатного воздействия);

- одновременный расчет порядка в двух областях (положительной и отрицательной) в случае несимметричного сигнала (относительно нулевого уровня);

- предсказание развития сигнала на основании его производной;

- дополнительное сокращение передаваемых данных достигается за счет передачи данных в виде экспоненциальной формы, что позволяет сократить объем в два раза. В этом случае передаваемые данные несут информацию о максимальных значениях спектра, что позволяет получить необходимое понимание о происходящих процессах.

Результаты обработки и передачи получаемых данных позволяют использовать бортовую обработку для решения нескольких задач:

- вибромониторинг – передача данных для анализа;

- вибродиагностика – расчет параметров и анализ на предмет выхода за пределы допустимых значений;

- аварийная защита двигателя КА – предотвращение возможных неисправностей за счет перевода работы двигателя в другой режим или полного от-

ключения в случае наличия резервного двигателя.

Совокупность применяемых способов для получения и обработки данных представляет собой интеллектуальную систему анализа состояния виброакустической устойчивости объекта.

Создание подобной интеллектуальной бортовой системы позволит перейти на более качественный уровень в оценке состояния объекта и принятии оперативных мер при возникновении нештатных ситуаций. Отличительной особенностью системы является то, что она должна производить анализ не только БМП, но и медленно меняющихся параметров (ММП). Увеличение количества обрабатываемых данных позволит соотносить изменение одних параметров одновременно с изменениями других, что дает наиболее точное понимание протекающих процессов. Применение данной системы не ограничивается лишь космическими технологиями, она может быть применена в любых системах, обладающих вибрацией при работе.

Список литературы:

1. *Артюшенко В.М.* Анализ систем управления космическим летательным аппаратом [Текст] / В.М. Артюшенко, М.И. Видов // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2011): сб. статей II Международной заочной научно-технической конференции / Поволжский гос. ун-т сервиса. – Тольятти: Изд-во ПВГУС, 2011. – С. 18–29.

2. *Филин В.М.* Оптимизация диагностики космического разгонного блока [Текст] / В.М. Филин, Л.А. Пчелинцев, В.Н. Денчик, В.А. Задеба, В.П. Клиппа, А.С. Ершов, И.И. Кузнецов. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 184 с.

3. *Калошин А.М.* Наземная отработка космических аппаратов [Текст] / А.М. Калошин, Л.А. Пчелинцев, И.И. Кузнецов, А.С. Ершов. – М.: КомКнига, 2005. – 176 с.

4. *Евдокименков В.Н.* Инженерные методы вероятностного анализа авиационных и космических систем [Текст] / В.Н. Евдокименков, В.Г. Динеев, К.А. Карп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 320 с.