

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКЦИИ МКС И АМПЛИТУДЫ ШУМОВ ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

А.А. Пругько^{1,2}

aleksej.pa@gmail.ru

А.В. Сумароков¹

anton.sumarokov@rsce.ru

¹ ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва», г. Королёв, Московская обл., Российская Федерация

² Московский физико-технический институт (государственный университет) г. Долгопрудный, Московская обл., Российская Федерация

Аннотация

Приведены методы спектрального анализа для выявления реальных частот собственных колебаний конструкции Международной космической станции, а также методы определения величины шумов гироскопического измерителя угловой скорости. Предложено имеющуюся телеметрическую информацию раскладывать в спектр по частотам, используя преобразование Фурье. Проанализировано несколько участков телеметрических данных угловой скорости Международной космической станции, полученной с гироскопического измерителя угловой скорости. Показано, что собственные частоты и их амплитуды, найденные при анализе спектров телеметрических данных, хорошо согласуются с теоретическими значениями. Определены значения шумов гироскопического измерителя угловой скорости, используемого на Международной космической станции, на участках спектра, где нет ярко выраженных возбужденных собственных частот конструкции. Полученные значения шумов хорошо согласуются со значениями из паспортных данных измерителя угловой скорости

Ключевые слова

Международная космическая станция, собственные частоты, спектральный анализ, преобразование Фурье, гироскопический измеритель вектора угловой скорости

Поступила в редакцию 26.07.2017
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. Международная космическая станция (МКС) является уникальной космической лабораторией, на базе которой проводятся различные космические эксперименты [1], наблюдения за поверхностью Земли [2], отрабатываются технологии и новое оборудование, позволяющие обеспечить продолжительное пребывание человека в космосе, а также постоянное присутствие человека на околоземной орбите. Знание характеристик конструкции МКС, таких как ее упругие характеристики, позволяет создавать алгоритмы управления движением МКС, которые учитывают и минимизируют значения нагрузок на наиболее критические элементы ее конструкции [3, 4]. Дополнительно следует отметить, что ввиду уникальности МКС для последующего анализа доступен значитель-

ный объем телеметрических данных (параметров движения, измерений бортовых приборов), которые можно получать с частотой работы системы управления движением и навигации МКС, составляющей 5 Гц. Полученные телеметрические данные используются для анализа работы системы управления МКС, выявления упругих характеристик конструкции, а также для определения реальных характеристик измерительных приборов, установленных на МКС и работающих в условиях невесомости.

В настоящей работе для выявления реальных частот собственных колебаний конструкции МКС, а также определения значений шумов гироскопического измерителя угловой скорости предлагается использовать методы спектрального анализа. Для этого имеющуюся телеметрическую информацию надо раскладывать в спектр по частотам, используя преобразование Фурье [5]. В рамках настоящей работы проанализировано несколько участков телеметрических данных угловой скорости МКС, полученных с гироскопического измерителя угловой скорости. Показано, что найденные при анализе спектров телеметрических данных значения собственных частот и их амплитуд хорошо согласуются с теоретическими значениями.

Дополнительно по участкам спектра, где нет ярко выраженных возбужденных собственных частот конструкции, можно определить величину шумов используемого на МКС гироскопического измерителя угловой скорости.

Постановка задачи. Одними из основных телеметрических данных, получаемых с борта МКС, являются показания гироскопического измерителя угловой скорости ω_{meas} . Эти показания в реальности являются суперпозицией трех основных компонент:

$$\omega_{\text{meas}} = \omega_{\text{ISS}} + \omega_{\text{vib}} + \nu. \quad (1)$$

Первая компонента ω_{ISS} — это абсолютное значение угловой скорости МКС как твердого тела. Международная космическая станция в основном летает в режиме поддержания равновесной ориентации, т. е. когда сумма гироскопического, аэродинамического и гравитационного моментов близка к нулю [6]. Равновесная ориентация близка к орбитальной системе координат [7], имеющей начало в центре масс O МКС и определяемой следующим образом: ось $Ox_{\text{орб}}$ направлена по вектору скорости, ось $Oy_{\text{орб}}$ — по радиус-вектору от центра Земли, ось $Oz_{\text{орб}}$ дополняет систему $Ox_{\text{орб}}y_{\text{орб}}z_{\text{орб}}$ до правой. В этой ориентации угловая скорость плавно меняется со временем, что вызвано работой системы управления МКС. Вторая компонента

$$\omega_{\text{vib}} = \sum_{k=1}^N \omega_{\text{vib}}^k (f_k)$$

— это упругие добавки к угловой скорости, вызванные колебаниями конструкции МКС [3], являющиеся суперпозицией упругих колебаний различных тонов, определяемых частотами f_k и парциальными амплитудами тона. Третья

компонента в формуле (1) v — это шумы измерителя угловой скорости, представляющие собой белый шум с заданной дисперсией.

Таким образом, для определения упругих характеристик конструкции и характеристик измерителя угловой скорости требуется выделить из измерений ω_{meas} отдельные составляющие ω_{vib} и v .

Определение доминирующих частот конструкции МКС. Если для анализа взять участки телеметрической информации, на которых реализуется режим поддержания ориентации МКС, близкой к орбитальной ориентации, то абсолютную угловую скорость МКС ω_{ISS} на этих участках можно аппроксимировать двумя составляющими. Первая составляющая представляет собой постоянное смещение, а вторая — периодическую функцию, частота которой равняется частоте контура управления (период колебаний составляет несколько минут) и амплитуда много меньше значения орбитальной угловой скорости, составляющей для орбиты МКС $\sim 0,0667$ град/с. На рис. 1 черным цветом показано поведение измерений угловой скорости при поддержании ориентации, близкой к орбитальной. Таким образом, для удаления из измерений ω_{meas} , полученных с

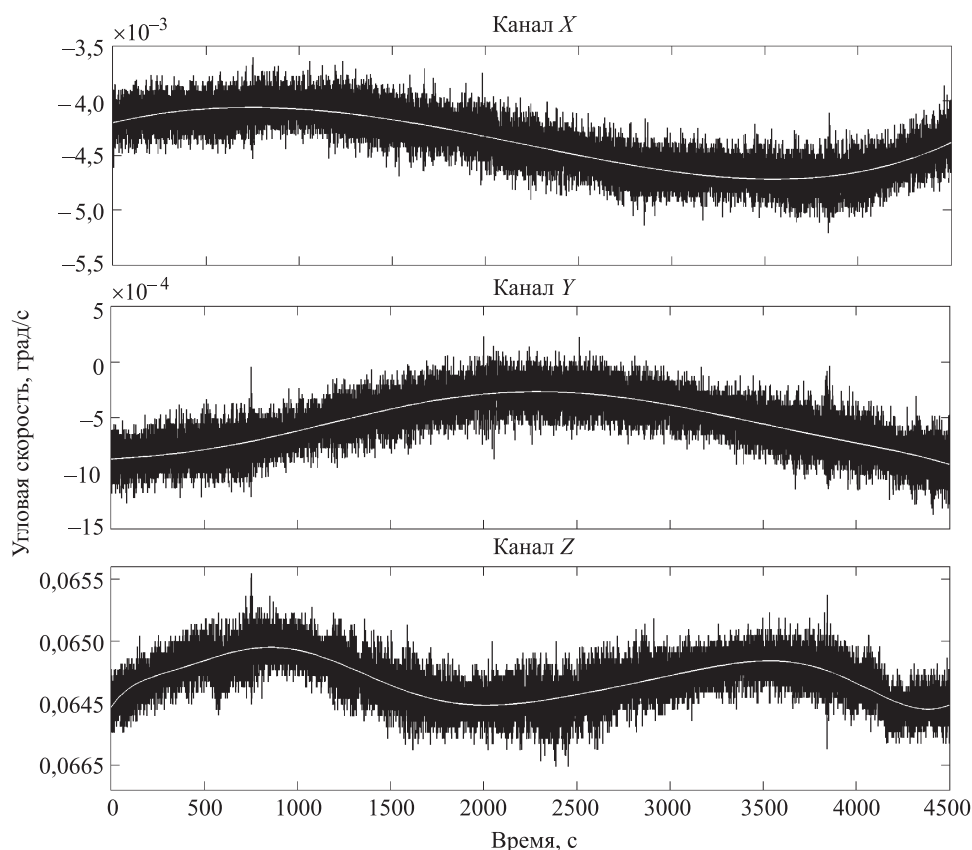


Рис. 1. Поведение измерений угловой скорости при поддержании ориентации МКС, близкой к орбитальной, и их интерполяция полиномами

датчика угловой скорости МКС, информации об абсолютной угловой скорости, в первом приближении можно вычесть постоянную составляющую сигнала, представляющую собой среднее значение сигнала выборки для каждого канала, либо интерполировать сигнал полиномом, как показано на рис. 1 кривой белого цвета.

Вычитая приближенную полиномом абсолютную угловую скорость МКС ω_{ISS}^{int} из измерений ω_{meas} , получаем в первом приближении величину

$$\omega_{meas} - \omega_{ISS}^{int} \approx \omega_{vib} + v. \quad (2)$$

Таким образом, из результирующего спектра убрана низкочастотная составляющая, которая значительно искажает спектр, оставлены лишь более высокие частоты, учитывая тот факт, что значительные колебания конструкции МКС, рассчитанные теоретически с помощью конечно-элементной модели МКС, имеют в диапазоне до 0,1 Гц лишь одну доминирующую частоту 2,96E-03 Гц. В то же время частота контура управления значительно меньше 0,1 Гц. Принимая во внимание тот факт, что амплитуда этих колебаний невелика по сравнению с колебаниями конструкции, воздействием системы управления в (2) можно пренебречь.

Дополнив результат (2) нулями до количества точек N , являющегося ближайшей степенью 2, и применив к результату $x(k)$ ($k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$) для каждого измерительного канала быстрое преобразование Фурье [8], получаем N коэффициентов Фурье:

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{-i \frac{2\pi}{N} nk}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N - 1. \quad (3)$$

В случае сигнала, приведенного на рис. 1, число точек сигнала составляет 22609, таким образом, ближайшая степень 2 будет $N = 32\,768$ точек. Далее, для каждого комплексного коэффициента Фурье (3) рассчитываем абсолютное значение как

$$A(n) = \sqrt{\text{Re}[X(n)]^2 + \text{Im}[X(n)]^2}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N - 1, \quad (4)$$

где $\text{Re}[X(n)]$ и $\text{Im}[X(n)]$ обозначают действительную и мнимую части комплексного коэффициента Фурье (3), $A(n)$ — значение амплитуды для частоты $f_s n/2N$ (f_s — частота дискретизации сигнала).

В результате получается симметричный спектр амплитуд в диапазоне от $-f_s/2$ до $f_s/2$, который состоит из N точек. Ввиду симметричности спектра отбрасываем его часть при отрицательных частотах, после чего строим график одностороннего спектра амплитуд. Максимальная частота поступления телеметрической информации 5 Гц, таким образом, для сигнала, изображенного на рис. 1, в результате преобразований получается спектр в диапазоне от 0 до 2,5 Гц (рис. 2).

На графиках рис. 2 для каждого измерительного канала X , Y и Z выделены доминирующие частоты конструкции в месте установки измерителя угловой

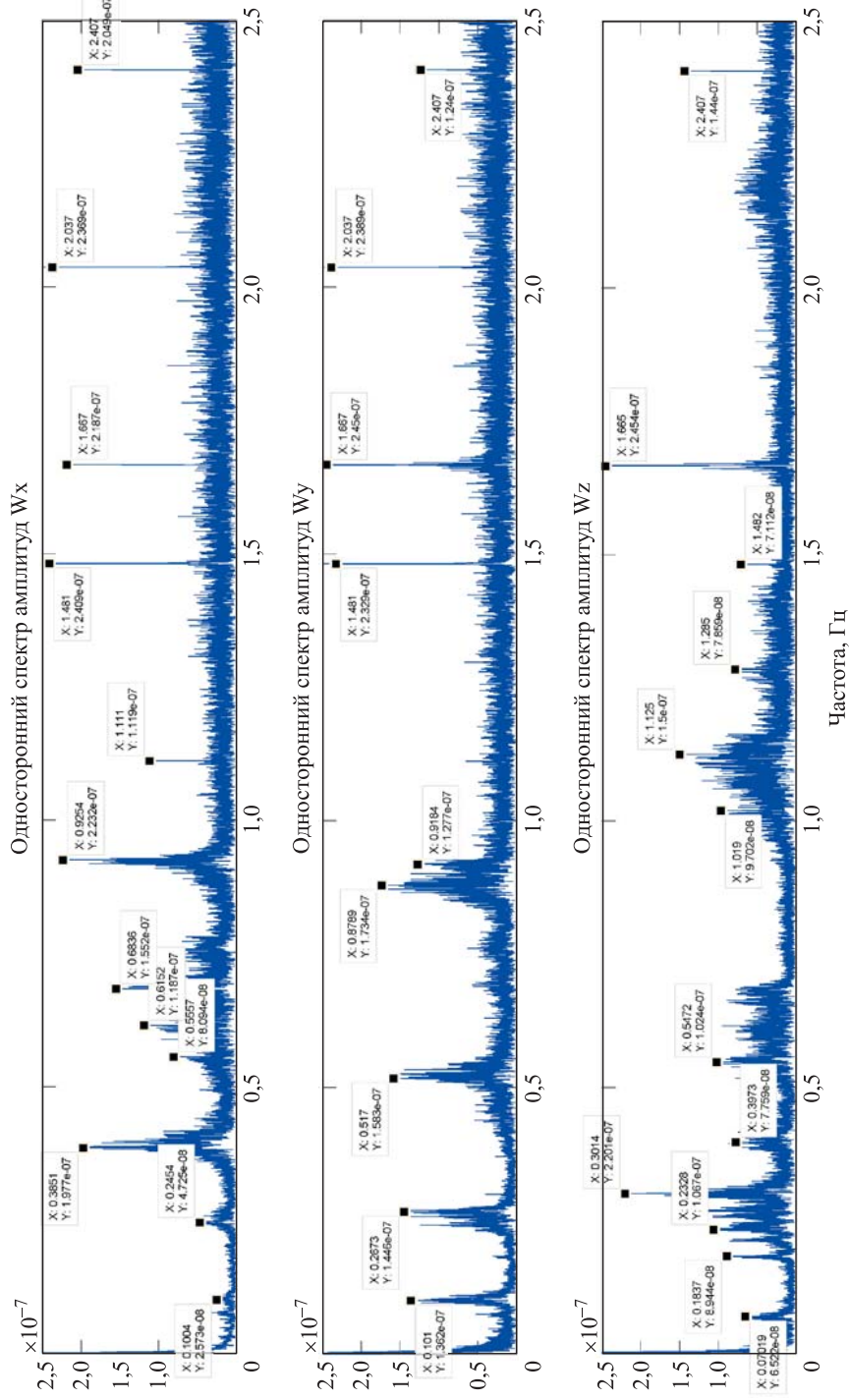


Рис. 2. Односторонний спектр амплитуд сигнала $\omega_{meas} - \omega_{ISS}^{int}$

скорости МКС, соответствующие пикам на спектре. В табл. 1 приведена выборка теоретически рассчитанных доминирующих частот конструкции МКС в месте установки измерителя угловой скорости в диапазоне до 2,5 Гц. Выборка осуществлялась из общего набора 863 теоретически рассчитанных тонов в выбранном диапазоне частот, амплитудный вклад которых по одному или нескольким каналам значителен, в результате было получено 33 тона.

В табл. 1 приведены значения частоты и амплитудных коэффициентов каждого тона для каждого канала.

Таблица 1

Теоретические значения доминирующих частот конструкции МКС

Частота, Гц	Flx	-Flz	-Flу	Частота, Гц	Flx	-Flz	-Flу
2,96E-03	-3,10E-06	-3,94E-05	-4,01E-08	6,83E-01	-3,13E-05	1,57E-05	-2,73E-05
1,00E-01	-7,29E-06	1,33E-06	5,09E-05	7,55E-01	-1,73E-05	-1,17E-05	-3,10E-05
2,52E-01	-1,19E-05	-2,86E-06	-4,51E-05	8,02E-01	-2,39E-05	2,61E-06	4,10E-05
2,55E-01	-5,46E-06	-3,34E-05	-5,69E-06	8,03E-01	-2,85E-05	1,92E-06	5,17E-05
2,73E-01	-2,18E-06	5,52E-05	3,89E-06	8,09E-01	-3,97E-05	5,65E-06	4,05E-05
3,21E-01	-4,91E-05	-1,98E-05	4,48E-06	8,28E-01	3,61E-05	-1,89E-06	-1,37E-05
4,39E-01	3,28E-05	-3,77E-05	-4,16E-05	8,30E-01	2,01E-05	-9,66E-06	3,70E-05
4,79E-01	8,77E-06	-9,88E-06	7,97E-05	8,45E-01	-2,14E-07	1,49E-05	-7,42E-05
5,09E-01	-5,77E-05	2,86E-05	-3,52E-05	8,54E-01	6,79E-05	7,38E-06	4,52E-06
5,22E-01	-6,90E-05	1,74E-05	-9,62E-06	9,46E-01	-4,81E-06	4,05E-05	1,38E-06
5,40E-01	9,03E-05	-2,06E-05	-2,45E-05	1,08E+00	-1,11E-06	6,79E-05	-3,75E-06
5,93E-01	-4,74E-05	-5,75E-05	-1,66E-05	1,22E+00	-9,75E-07	-4,14E-05	1,70E-06
6,13E-01	-5,11E-05	-6,79E-05	-7,95E-06	2,30E+00	-1,32E-06	-4,57E-05	-1,58E-05
6,19E-01	3,51E-05	2,64E-05	2,04E-05	2,33E+00	2,63E-08	-1,10E-04	-1,16E-05
6,25E-01	-3,45E-05	-1,27E-05	-5,06E-06	2,38E+00	-3,04E-06	-7,78E-05	-3,89E-05
6,37E-01	-5,31E-05	-8,55E-06	-7,28E-06	2,38E+00	1,32E-05	-8,53E-06	1,61E-04
6,43E-01	-4,30E-05	1,78E-05	-9,85E-06				

Результаты обработки сигнала измерителя угловой скорости (см. рис. 2) хорошо согласуются с данными табл. 1, где жирным выделены тона, наиболее близкие к доминирующим частотам, приведенным на рис. 2. Различия в частотах объясняются тем, что конфигурация МКС, для которой были рассчитаны теоретические значения собственных частот конструкции МКС на основе модели конечных элементов, не полностью повторяет конфигурацию, для которой анализировалась телеметрия. В частности, две рассмотренные конфигурации отличаются положением некоторых подвижных элементов конструкции, таких как манипуляторы или платформы наведения, а поскольку солнечные батареи отслеживают солнце в процессе поддержания ориентации МКС, то углы их поворота относительно корпуса МКС различаются.

Определение шумов измерителя угловой скорости. На рис. 2 видно, что в полосе частот от 1 до 2,5 Гц присутствуют редкие и узкие пики от влияния собственных частот колебаний конструкции МКС. Данные пики отчетливо распознаются на фоне спектра, подобного спектру белого шума, являющегося третьей компонентой измерений угловой скорости, а именно шумом измерителя. Таким образом, по участкам спектра из указанного диапазона можно судить о величине шумов измерителя. Для каждого измерительного канала для участков, где отсутствуют ярко выраженные собственные частоты колебаний конструкции, путем усреднения можно найти среднеквадратическое отклонение σ_{Sp} по формуле

$$\sigma_{Sp} = \sqrt{\overline{X^2} - \overline{X}^2}; \quad (1)$$

здесь $\overline{X^2}$ — среднее значение квадрата амплитуд спектра выбранного участка; \overline{X}^2 — квадрат среднего значения амплитуд спектра выбранного участка.

В качестве примера для спектра, изображенного на рис. 2, для расчета σ_{Sp} были выбраны частотные участки для каждого канала, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Участки спектра, используемые для вычисления σ_{Sp}

Номер участка	Частотные участки каналов, Гц		
	X	Y	Z
1	1,02–1,462	1,009–1,468	1,51–1,643
2	1,685–2,022	1,708–2,022	1,708–2,022
3	2,059–2,42	2,059–2,5	2,28–2,5

Вычисления σ_{Sp} по всем рассмотренным участкам спектра для каждого измерительного канала дают следующие результаты:

$$\sigma_{Sp}^X \approx 1,227 \cdot 10^{-8};$$

$$\sigma_{Sp}^Y \approx 1,225 \cdot 10^{-8};$$

$$\sigma_{Sp}^Z \approx 9,402 \cdot 10^{-9},$$

где σ_{Sp}^X , σ_{Sp}^Y и σ_{Sp}^Z — значения среднеквадратических отклонений спектра для измерительных каналов X, Y и Z соответственно. При переводе полученных результатов во временную область [8] и в единицы измерения градус в секунду получаются следующие величины σ_{Tm}^X , σ_{Tm}^Y и σ_{Tm}^Z среднеквадратических отклонений шумов для измерительных каналов X, Y и Z соответственно:

$$\sigma_{Tm}^X \approx 1,1125 \cdot 10^{-4} \text{ град/с};$$

$$\sigma_{Tm}^Y \approx 1,1109 \cdot 10^{-4} \text{ град/с};$$

$$\sigma_{Tm}^Z \approx 8,5266 \cdot 10^{-5} \text{ град/с}.$$

Паспортные значения шумов измерителя угловой скорости для каждого измерительного канала составляют $2,08 \cdot 10^{-4}$ град/с, что сравнимо с полученным результатом. Так было обработано порядка десяти участков телеметрических данных различной продолжительности и для разных режимов управления МКС (управление на гиродинах американского сегмента МКС, управление на различных комбинациях двигателей российского сегмента МКС) и для всех обработанных участков были получены приблизительно похожие результаты как по частотам, так и по величинам шумов измерителя угловой скорости. Таким образом, можно судить о том, что значения шумов измерителя угловой скорости в реальности в условиях космической станции оказываются лучше значений шумов, указанных в паспортных данных.

Заключение. С помощью методов спектрального анализа выявлены реальные частоты собственных колебаний конструкции МКС, а также определены величины шумов гироскопического измерителя угловой скорости. Проанализировано несколько участков телеметрических данных угловой скорости МКС, полученных с гироскопического измерителя угловой скорости. Показано, что собственные частоты и их амплитуды, найденные при анализе спектров телеметрических данных, согласуются с теоретическими значениями. Определенная по спектрам частот величина шумов используемого на МКС гироскопического измерителя угловой скорости согласуется с его паспортным значением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сумароков А.В. Об усреднении параметров орбитального движения МКС в космическом эксперименте GTS2 // Материалы XVI конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. С. 334–341.
2. Сумароков А.В. Наведение камеры высокого разрешения при видеосъемке поверхности Земли с МКС // Материалы XVII конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2015. С. 561–568.
3. Прутько А.А., Сумароков А.В. О нагрузках на элементы конструкции многоцелевого лабораторного модуля на автономном участке полета // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 2. С. 123–138. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-2-123-138
4. Тимаков С.Н., Сумароков А.В., Нефедов С.Е., Богданов К.А. Наведение оптической оси телескопа, установленного на поворотной платформе МКС, с учетом упругости конструкции // Материалы конференции «Управление в морских и аэрокосмических системах» (УМАС-2014). СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. С. 557–566.
5. Иванов Г.Е. Лекции по математическому анализу. Ч. 2. М.: МФТИ, 2011. 188 с.
6. Зубов Н.Е., Микрин Е.А., Мисриханов М.Ш. и др. Идентификация положения равновесной ориентации МКС как задача матричного пополнения с устойчивостью // Известия РАН. Теория и системы управления. 2012. № 2. С. 130–144.
7. Сумароков А.В., Тимаков С.Н. Об одной адаптивной системе управления угловым движением спутника связи // Известия РАН. Теория и системы управления. 2008. № 5. С. 131–141.
8. Романюк Ю.А. Основы цифровой обработки сигналов. Ч. 1. Свойства и преобразования дискретных сигналов. М.: МФТИ, 2005. 332 с.

Прутько Алексей Александрович — инженер-математик 2-й категории ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» (Российская Федерация, 141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Ленина, д. 4А); аспирант Московского физико-технического института (государственного университета) (Российская Федерация, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9).

Сумароков Антон Владимирович — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Научно-технического центра ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва» (Российская Федерация, 141070, г. Королёв, Московская обл., ул. Ленина, д. 4А).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Прутько А.А., Сумароков А.В. Использование спектральных методов для анализа собственных частот колебаний конструкции МКС и амплитуды шумов измерителя угловой скорости // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2018. № 4. С. 59–68. DOI: 10.18698/0236-3933-2018-4-59-68

USING SPECTRAL METHODS TO ANALYSE VIBRATION EIGENFREQUENCIES OF THE ISS STRUCTURES AND PEAK NOISE VALUES OF THE ANGULAR VELOCITY METER

A.A. Prut'ko^{1,2}

aleksej.pa@gmail.com

A.V. Sumarokov¹

anton.sumarokov@rsce.ru

¹ S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia, Korolev,
Moscow Region, Russian Federation

² Moscow Institute of Physics and Technology (State University), MIPT, Dolgoprudnyy,
Moscow Region, Russian Federation

Abstract

The study presents spectral analysis methods for identifying actual natural frequencies of the International Space Station structures, as well as methods for determining noise values of the angular velocity meter. We suggest using Fourier transforms to obtain frequency spectra of the existing telemetry data. We analysed several regions of telemetry data listing ISS angular velocity values obtained via the angular velocity meter. We show that the eigenfrequencies and their ranges determined by analysing these telemetry data spectra are in good agreement with theoretical values. We determined peak noise values of the angular velocity meter used at the ISS, based on the spectrum regions where there are no pronounced excited eigenfrequencies of the structure. The noise values obtained are in good agreement with values found in the angular velocity meter specification

Keywords

International Space Station, eigenfrequencies, spectral analysis, Fourier transform, gyroscopic angular velocity vector meter

Received 26.07.2017

© BMSTU, 2018

REFERENCES

[1] Sumarokov A.V. On averaging orbital motion parameters of the international space station during conducting the GTS2 space experiment. *Materialy XVI konferentsii molodykh uchenykh «Navigatsiya i upravlenie dvizheniem»* [Proc. XVI Conf. of Young Scientists "Navigation and Motion Control"]. Sankt-Petersburg, OAO «Kontsern «TsNII «Elektropryor» Publ. 2014, pp. 334–341 (in Russ.).

- [2] Sumarokov A.V. Pointing of high resolution camera in process of video recording of Earth surface from the International Space Station. *Materialy XVII konferentsii molodykh uchenykh «Navigatsiya i upravlenie dvizheniem»* [Proc. XVII Conf. of Young Scientists "Navigation and Motion Control"]. Sankt-Petersburg, OAO «Kontsern «TsNII «Elektropribor», 2015, pp. 561–568 (in Russ.).
- [3] Prut'ko A.A., Sumarokov A.V. On the loads on multipurpose laboratory module construction elements during the autonomous flight phase. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2017, no. 2, pp. 123–138 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3933-2017-2-123-138
- [4] Timakov S.N., Sumarokov A.V., Nefedov S.E., Bogdanov K.A. [Pointing optical axis of telescope mounted on ISS rotating platform taking into account structural elasticity]. *Materialy konferentsii «Upravlenie v morskikh i aerokosmicheskikh sistemakh» (UMAS-2014)* [Proc. Conf. "Control in marine and space systems"]. Sankt-Petersburg, OAO «Kontsern «TsNII «Elektropribor» Publ., 2014, pp. 557–566 (in Russ.).
- [5] Ivanov G.E. *Lektsii po matematicheskomu analizu. Ch. 2* [Lectures on mathematical analysis. P. 2]. Moscow, MIPT Publ., 2011. 188 p.
- [6] Zubov N.E., Mikrin E.A., Misrikhanov M.S., Ryabchenko V.N., Timakov S.N., Chermnykh E.A. Identification of the position of an equilibrium attitude of the international space station as a problem of stable matrix completion. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2012, vol. 51, no. 2, pp. 291–305. DOI: 10.1134/S1064230713020135
Available at: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1064230713020135>
- [7] Sumarokov A.V., Timakov S.N. On an adaptive control system for angular motion of a communication satellite. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2008, vol. 47, no. 5, pp. 795–805. DOI: 10.1134/S1064230708050134
Available at: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1064230708050134>
- [8] Romanyuk Yu.A. *Osnovy tsifrovoy obrabotki signalov. Ch. 1. Svoystva i preobrazovaniya diskretnykh signalov* [Basics of digital image processing. P. 1. Discrete signal properties and transformation]. Moscow, MIPT Publ., 2005. 332 p.

Prut'ko A.A. — Mathematician Engineer of the 2nd rank, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (Lenina ul. 4A, Korolev, Moscow Region, 141070 Russian Federation); post-graduate student, Moscow Institute of Physics and Technology (State University), MIPT (Institutskiy pereulok 9, Dolgoprudnyy, Moscow Region, 141700 Russian Federation).

Sumarokov A.V. — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Senior Research Fellow, Scientific and Technological Centre, S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia (Lenina ul. 4A, Korolev, Moscow Region, 141070 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Prut'ko A.A., Sumarokov A.V. Using Spectral Methods to Analyse Vibration Eigenfrequencies of the ISS Structures and Peak Noise Values of the Angular Velocity Meter. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2018, no. 4, pp. 59–68 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3933-2018-4-59-68