

Восстановление сигнала о токе с панелей солнечных батарей опытного образца малого космического аппарата «Аист» с целью оценки параметров вращательного движения

А.В. Седельников¹, Т.А. Ивашова¹, С.Л. Сафронов¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. В работе решается задача оценки параметров вращательного движения малого космического аппарата (МКА) «Аист» с использованием данных о токе с панелей солнечных батарей. Проведен спектральный анализ сигнала. Восстановлен непрерывный сигнал по его дискретным отсчетам с помощью ряда Котельникова. Оценена угловая скорость вращательного движения МКА «Аист». Проведён сравнительный анализ результатов с результатами, полученных другими авторами. Сделаны выводы об изменениях параметров вращательного движения МКА «Аист» за время его орбитального полёта.

1. Введение

При эксплуатации малых космических аппаратов (МКА) могут возникать различные нештатные ситуации, связанные с отказами основных средств измерения. В работе [1] описана ситуация перехода МКА связи в состояние неуправляемого вращения после нештатной ситуации. В его телеметрической информации отсутствовали данные о параметрах его вращательного движения и кинетическом моменте двигателей-маховиков, которые использовались в качестве исполнительных органов системы ориентации и управления орбитальным движением. С помощью данных о токе с панелей солнечных батарей, автор работы [1] установил, что модуль угловой скорости вращения МКА находился в пределах $0,60...0,75 \pm 0,2^{\circ}/с$. Это позволило принять своевременное решение о разгрузке кинетического момента двигателей-маховиков.

При лётных испытаниях наноспутника «Munin» отказ магнитометра привёл к тому, что более достоверными данными об эволюциях МКА вокруг центра масс стала информация о токосъёме с солнечной батареи [2].

Таким образом, использование данных о токе является актуальным при отказе штатных средств измерения с целью попытки управления вращательным движением МКА при его частичной работоспособности.

Возникают ситуации, когда МКА отработал запланированный срок активного существования. При этом деградировала аккумуляторная батарея. В результате чего практически вся целевая и обеспечивающая аппаратура неработоспособна. Однако поступает телеметрия, в которой содержатся данные о токе с панелей солнечных батарей. Такая ситуация характерна для

лётного образца (ЛО) и опытного образца (ОО) МКА «Аист» [3, 4]. Эти МКА эксплуатировались в неуправляемом полёте. Поэтому данные о токе могут служить не первичной информацией для эффективного функционирования системы ориентации и управления орбитальным движением, а исходным материалом для оценки параметров вращательного движения МКА. Изучение вращательного движения МКА в условиях длительного воздействия возмущающих факторов при отсутствии управляющих воздействий представляет большой интерес.

2. Сравнение оценок угловой скорости вращения МКА различными средствами

Штатными средствами измерений для оценки угловой скорости вращения МКА до деградации аккумуляторной батареи на ЛО и ОО МКА «Аист» были магнитометры, которые по данным исследований [5] работали корректно. Поскольку измерений для ОО МКА «Аист» было проведено значительно больше, чем для ЛО МКА «Аист», выберем этот аппарат для дальнейших исследований.

В первую очередь необходимо исследовать разницу в оценках угловой скорости с помощью показаний магнитометров и данных о токе с панелей солнечных батарей, чтобы убедиться в корректности оценки угловой скорости по данным о токе. К сожалению, из-за особенностей самих измерений эту проверку можно провести лишь ограниченно. Во время работы магнитометров данные о токе поступали раз в минуту, в то время как алгоритм обработки первичной информации с магнитометров [6] формировал измерения с интервалом раз в 6 секунд. Поэтому проверка могла проводиться только в частотной области $0 \dots \pi/60 \text{ рад/с}$. На рисунке 1 представлены результаты сравнения оценок угловой скорости с помощью датчиков магнитометра и данных о токе с панелей солнечных батарей поканально для измерений 09.09.2014 г.

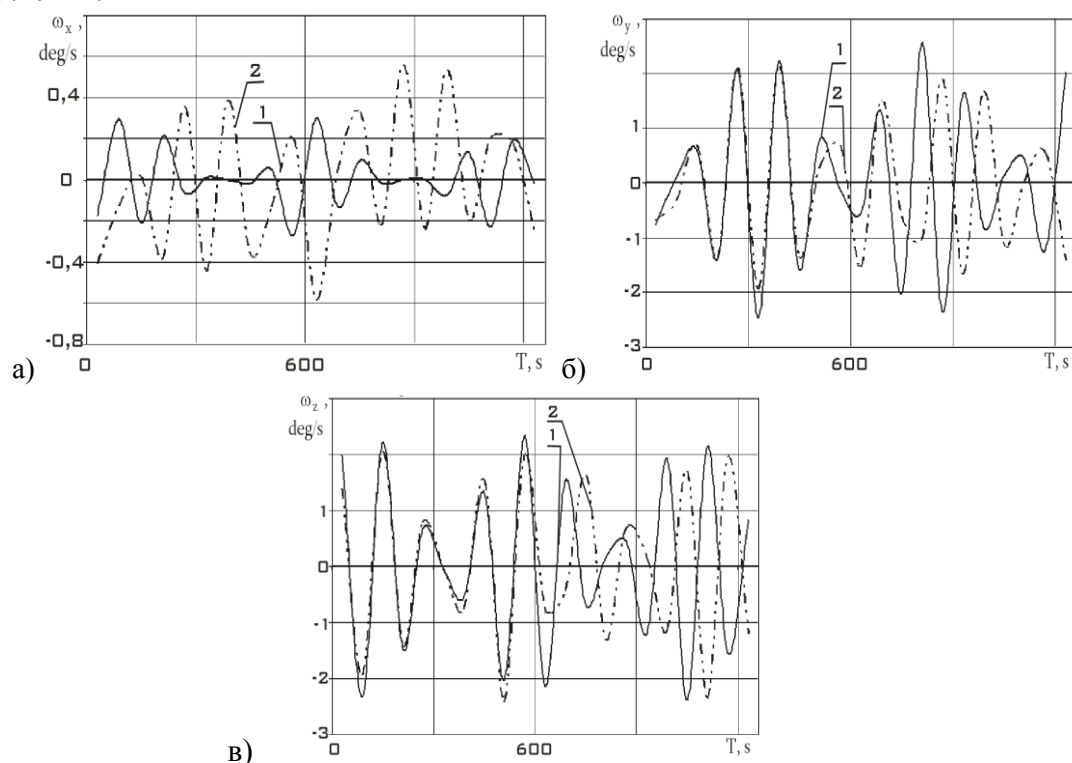


Рисунок 1. Оценки компонентов угловой скорости вращения ОО МКА «Аист» по данным о токе с панелей солнечных батарей (1) и датчиков магнитометра (2).

Оценка угловой скорости вращения ОО МКА «Аист» по измерениям вектора индукции магнитного поля Земли проводилась по следующей формуле [6]:

$$\vec{\omega}_i = \frac{\vec{B}_e \times \left(\dot{\vec{B}}_e - \frac{d\vec{B}_e}{dt} \right)}{B_e^2},$$

где $\vec{\omega}_i$ – вектор угловой скорости вращения МКА вокруг центра масс в момент времени t_i ; \vec{B}_e – вектор индукции магнитного поля Земли; $\frac{d\vec{B}_e}{dt}$ – локальная производная вектора индукции магнитного поля Земли в связанной с МКА системе координат, которая обусловлена в основном движением МКА вокруг центра масс; $\dot{\vec{B}}_e$ – абсолютная скорость изменения вектора индукции магнитного поля Земли, которая обусловлена в основном движением центра масс МКА.

Оценка угловой скорости вращения ОО МКА «Аист» по данным о токе с панелей солнечных батарей проводилась по следующим формулам [4]:

$$\omega_{ki} = \frac{\arccos\left(\frac{i_{ki}}{i_{\max}}\right) - \arccos\left(\frac{i_{ki-1}}{i_{\max}}\right)}{t_i - t_{i-1}},$$

где i_{ki} и i_{ki-1} – измеренные значения силы тока в моменты времени t_i и t_{i-1} соответственно; i_{\max} – максимальное значение силы тока, которое считается постоянным и одинаковым для всех граней ОО МКА «Аист»; $k = x, y, z$.

Анализ зависимостей на рисунке 1 показывает, что существенные различия на приведённом временном отрезке наблюдаются только у компоненты угловой скорости ω_x . Однако в работе [3] отмечается, что согласованность датчиков магнитометра по этому каналу измерений была неудовлетворительной. Поэтому, сославшись на исследования [3], можно считать, что в целом числовые характеристики угловой скорости (математическое ожидание и дисперсию) корректно оцениваются с помощью данных о токе с панелей солнечных батарей.

3. Оценка угловой скорости вращения МКА по данным о токе с панелей

После деградации аккумуляторной батареи данные о токе с панелей солнечных батарей стали единственным источником первичной информации для оценки угловой скорости вращения ОО МКА «Аист». В этот период оказалось возможным реализовать временной интервал между измерениями 1 с. Таким образом, частотная область была расширена до отрезка $0.. \pi \text{ рад/с}$. Оценка модуля угловой скорости вращения ОО МКА «Аист» для 01.06.2018 и 04.08.2018 приведена на рисунке 2.

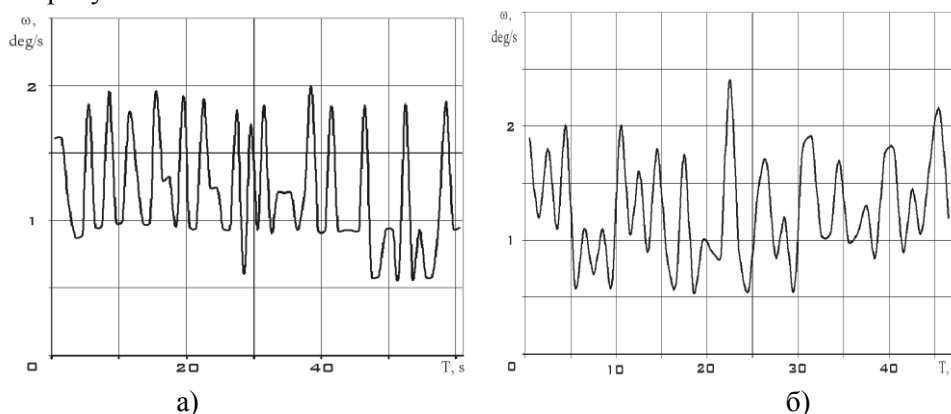


Рисунок 2. Оценки модуля угловой скорости вращения ОО МКА «Аист» по данным о токе с панелей солнечных батарей 01.06.2018 и 04.08.2018.

Как видно из рисунка 2, в обоих случаях наблюдается значимая высокочастотная составляющая сигнала. С физической точки зрения её присутствие можно было бы объяснить действием периодической силы, создающей момент вокруг центра масс МКА. Однако многочисленные исследования орбитального движения МКА этого не подтверждают. Тогда можно предположить, что высокочастотная составляющая является искажением сигнала. Чтобы разобраться в этом вопросе глубже, исследуем восстановленный сигнал о токе с панелей солнечных батарей. Будем проводить восстановление сигнала рядом Котельникова [7]. На рисунке 3 показан восстановленный сигнал для токов, соответствующий рисунку 2 б, и сравнение оценок модуля угловой скорости по дискретным отсчётам тока с панелей и восстановленному сигналу.

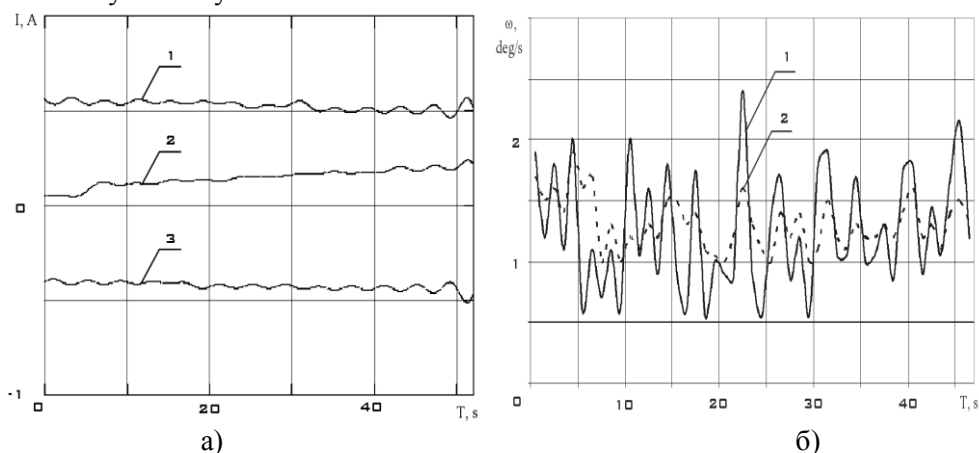


Рисунок 3. Восстановленные сигналы для токов с панелей солнечных батарей 04.08.2018
(а): 1 – ток i_x ; 2 – ток i_y ; 3 – ток i_z . Оценка модуля угловой скорости вращения ОО МКА «Аист» по восстановленному сигналу (б): 1 – по дискретному сигналу (рисунок 2б); 2 – по восстановленному сигналу.

Как видно из рисунка 3 б, высокочастотная составляющая существенно уменьшилась. Следовательно, она большей частью представляла собой шум, наложенный на сигнал. Значимые различия на рисунке 3 б могут объясняться и низкой точностью исходных данных о токе, которая составляла два знака после запятой при максимальном значении тока 1 А.

4. Литература

- [1] Давыдов, А.А. Определение параметров вращательного движения малого спутника связи по данным измерений тока солнечных батарей / А.А. Давыдов // Космические исследования. – 2011. – Т. 49, № 4. – С. 345-354.
- [2] Овчинников, М.Ю. Магнитные системы ориентации малых спутников / М.Ю. Овчинников, В.И. Пеньков, Д.С. Ролдугин. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2016. – 366 с.
- [3] Sedelnikov, A.V. Fast Analysis of Onboard Measurements of the Earth Magnetic Field for the Purpose of Microaccelerations Decrement on Board of the «AIST» Small Spacecraft During its Uncontrolled Orbital Flight / A.V. Sedelnikov // International Review of Aerospace Engineering. – 2018. – Vol. 11(2). – P. 76-83.
- [4] Sedelnikov, A.V. Mean of Microaccelerations Estimate in the Small Spacecraft Internal Environment with the Use of Fuzzy Sets // Microgravity Science and Technology. – 2018. – Vol. 30(4). – P. 503-509.
- [5] Седельников, А.В. Тест проверки корректности работы магнитометров на лётном образце малого космического аппарата «Аист» / А.В. Седельников, Ю.Я. Пузин, А.С. Филиппов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2018. – № 2. – С. 34-39.
- [6] Сёмкин, Н.Д. Измерение параметров магнитного поля и анализ возмущений на борту малых космических аппаратов «Аист» / Н.Д. Сёмкин, В.В. Сазонов, К.Е. Воронов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2015. – Т. 18, № 4. – С. 67-73.

[7] Федина, М.Е. Полные системы в задачах восстановления сигнала / М.Е. Федина, С.Я. Новиков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 2(5). – С. 1069-1071.

Restoration of the current signal from solar panels of AIST small spacecraft for estimate the parameters of the rotational motion

A. Sedelnikov¹, T. Ivashova¹, S. Safronov¹

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. This paper solves the problem of estimating the rotational motion parameters of the AIST small spacecraft with using current data from solar panels. The spectral analysis of the signal was performed. The continuous signal was restored by its discrete readings using the Kotelnikov series. The estimated angular velocity of rotation of the AIST small spacecraft. A comparative analysis of the results obtained with the results of other authors. Conclusions about changes in the rotational motion parameters the of the AIST small spacecraft during its orbital flight are made.