

УДК 523.4

А.В. ДИДЕНКО, Л.А. УСОЛЬЦЕВА

## ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРИОДОВ ВРАЩЕНИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНОГО СПУТНИКА (ГСС) ВОКРУГ ЦЕНТРА МАСС

Описана методология, лежащая в основе обработки фотометрического материала и приведены некоторые типичные примеры определения периодов вращения пассивных ГСС.

Известно, что вариации блеска отраженного от спутника светового потока индивидуальны для каждого конкретного ГСС и могут служить своеобразной характеристикой данного объекта или группы объектов одного типа (класса). В связи с этим весьма заманчивой представляется перспектива использовать их для определения формы наблюдаемого объекта, его ориентации в пространстве, скорости вращения, и ряда других параметров. Такие попытки предпринимались неоднократно, см., например, [1-6].

В данной работе мы остановимся только на одном этапе изучения вариаций блеска - определении периодов вращения ГСС вокруг центра масс на основе фотометрической информации. Здесь описана идеология, которая была положена в основу обработки наблюдательного материала и приведены некоторые типичные примеры. Следует отметить, что задача определения периодов вращения ИСЗ вокруг оси главного кинетического момента достаточно сложна. Фиксируемые изменения блеска связаны с наличием различных типов симметрии в конструкции КА относительно оси вращения, влиянием атмосферных искажений, вносящих как систематические, так и случайные изменения в интенсивность светового потока идущего от объекта. Решение этой задачи, несомненно, представляет как теоретический, так и чисто практический интерес в первую очередь с целью определения ориентации ГСС и построения его геометрического образа.

Независимо от характера поведения блеска фотометрируемого объекта процесс его наблюдений сводится к последовательному получению рядов информации в фильтрах В, V, R, [1]. Накопление квантов ведется в промежутке времени  $T$  с заданным интервалом  $\Delta t$ . В соответствии с требованиями, предъявляемых к точности вычисления блеска и периодов его изменений, значения  $T$  и  $\Delta t$  варьируются в широких пределах

( $\Delta t$  - от 0,001 до 30 сек,  $T$  - от 30 сек до 20 минут). Получаемая в процессе наблюдений информация параллельно выводится на дисплей ЭВМ в цвете соответствующего фильтра. Оперативное выявление переменности ГСС и периода изменения его блеска необходимо для корректировки интервалов  $T$  и  $\Delta t$ . Такая форма регистрации, в случае необходимости, позволяет при последующей обработке провести интегрирование фотометрического сигнала за необходимое время накопления.

Первичный контроль осуществляется с помощью ЭВМ уже на этапе регистрации блеска объекта. По зарегистрированному ряду интенсивностей  $n_i$  за время накопления  $\Delta t$  определяется

среднее значение  $n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i$ , что дает возможность

проверить статистическую гипотезу на основе правила трех сигм. Время, необходимое ЭВМ для проведения данного контроля, достаточно мало и не превышает 0<sup>с</sup>,01. Если соответствующее соотношение будет нарушено, можно утверждать, что произошло статистически значимое изменение интенсивности, связанное с ошибками гидирования, или квалифицировать его как начало вспышки переменного ГСС.

По завершению получения массива информации длительностью  $T$ , проводится предварительное оперативное определение периода изменения блеска, для которого используется метод исследования амплитудно-частотных характеристик флуктуации яркости. Пусть  $N$  и  $\Delta t$  - число отсчетов и время накопления;  $n$  - среднее значение отсчета за время  $\Delta t$ , определяемое статистикой Пуассона. Для обработки массива значений функции  $\{y_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , заданной равномерной сеткой аргументов  $t_0, t_0+h, t_0+2h, \dots$  используется видоизмененный алгоритм преобразования Фурье, предложенный в работе [8]. Рассмотрим



амплитудно-частотный спектр отсчетов  $n_i$

$$A_i = \sum_{i=0}^{N-1} n_i \cos\left(\frac{2\pi k_i}{N}\right), \quad B_i = \sum_{i=0}^{N-1} n_i \sin\left(\frac{2\pi k_i}{N}\right) \quad (1)$$

как компонент вектора  $R_i = (A_i^2 + B_i^2)^{1/2}$ , имею-

щего стандартное отклонение  $\sigma = \left[\frac{(4-\pi)}{2}\right]^{1/2}$ .

Если в потоке излучения есть неизвестный периодический сигнал, то векторы  $A_i$  и  $B_i$  будут содержать слагаемое  $bp \cos \psi$ ,  $bp \sin \psi$ , где  $p$  - период переменного сигнала;  $b$  - число отсчетов за период сигнала;  $\psi$  - фазовый угол переменного источника относительно начала временной вы-

борки. Разлагая полученный вектор  $\vec{R}_i = \vec{R} + p$

в биномиальный ряд, получаем частотный спектр имеющейся выборки. Этот алгоритм не предусматривает применения быстрого преобразования Фурье (БПФ), однако для больших последовательностей  $\{y_i\}$  при ( $N \leq 2000$ ) он оказывается достаточно эффективным.

Для оценки достоверности пиков в спектре мощности  $Y(\omega)$ , указывающей на наличие в  $\{y_i\}$  той или иной периодической составляющей, используется известный критерий Уокера. Все получаемые в течение ночи массивы блеска автоматически проходят соответствующую обработку. Информация о максимальных пиках спектра мощности записывается в файл в виде таблицы.

Вычисленные значения периода рассматриваем в качестве первого приближения, окончательное решение следует из анализа всей информации, полученной по данному объекту в течение ночи или нескольких ночей.

Дальнейшее уточнение периода вращения  $T_0$  осуществляется способом, предложенным в работе [7]. С помощью ЭВМ проводится ряд пробных испытаний в ограниченном интервале, включающем вычисленную величину периода. Для каждого последующего приближения вычисляются фазы всех точек массива. Полученные фазы располагаются в порядке их возрастания, затем для звездных величин, соответствующих упорядоченным фазам, определяются значения параметра Q:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i - m_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^N (m_i - \bar{M})^2}, \quad (3.3.3)$$

где  $N$  - число точек в массиве,  $M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i$ .

Параметр Q зависит от степени рассеяния точек относительно средней кривой блеска и достигает максимального значения при хаотическом положении точек в фазовой плоскости. Следует отметить, что процедура уточнения величины периода начинается с максимального значения, а при уточнении меньших значений учитывается результат предыдущей обработки.

В качестве примера на рис. 1 представлена кривая блеска стабилизированного вращением DSP F-21 (01033A), фильтр V, фазовый угол  $\varphi = 22^\circ$ ,  $\Delta t = 0,5$  сек,  $T = 12$  мин.

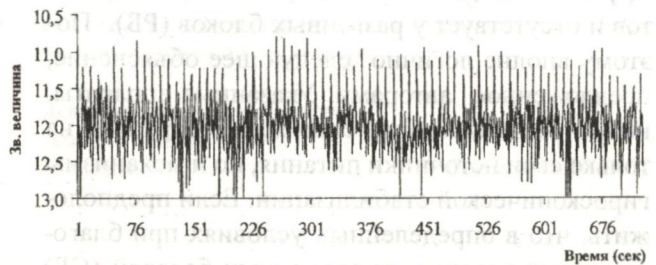


Рис. 1. Кривая блеска объекта DSP F-21 (01033A) в фильтре V при  $\varphi = 22^\circ$ ,  $\Delta t = 0,5$  сек,  $T = 12$  мин.

На рисунке 2 эта же кривая «свернута» за период 10 сек.

За окончательную величину периода принимается значение, вычисленное по достаточно большому количеству кривых блеска (не менее 15) с учетом характера поведения его показателей цвета. Анализ колебаний блеска производится в автоматическом режиме при всех фотометрических наблюдениях.

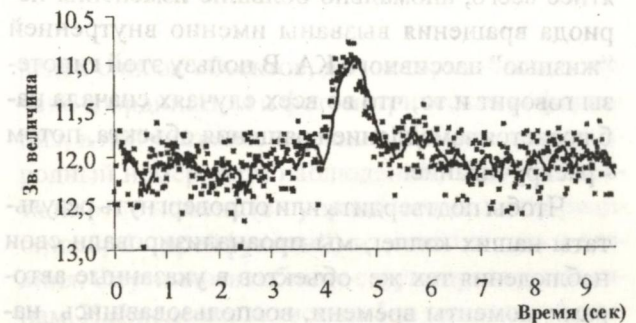


Рис. 2 Кривая блеска объекта DSP F-21 (01033A), «свернутая» за период 10.00 сек в фильтре V,  $\varphi = 22^\circ$ .



Сравнивая результаты измерений одних и тех же КА, полученные на протяжении нескольких лет, мы заметили, что для всех нестабилизированных объектов наблюдаются плавные изменения периодов их вращения. Здесь следует заметить, что обнаруженные нами аномально большие изменения периода вращения проявляются только у ИСЗ, которые в своей активной фазе существования на орбите обладали трехосным типом стабилизации.

В 1997 году А.В. Багровым, В.Г. Выгоном и др., [3,4], было обнаружено резкое изменение периодов вращения относительно центра масс у некоторых пассивных ГСС. Интересно, что этот эффект наблюдается только у пассивных объектов и отсутствует у разгонных блоков (РБ). Поэтому вполне логично следующее объяснение, предложенное авторами. Указанные аппараты, несмотря на пассивное состояние, сохранили не только свои источники питания, но и механизмы гироскопической стабилизации. Если предположить, что в определенных условиях при благоприятном освещении солнечных батарей (СБ) могут частично самопроизвольно включаться гироскопы стабилизации ГСС, то это приведет к резкому замедлению вращения КА. Но, в силу сохранения момента импульса, видимый кинетический момент КА уменьшается за счет раскрутки гироскопов. После того, как условия освещения СБ изменяются или энергия аккумуляторов падает, или еще по какой-то причине гироскопы снова останавливаются. В этот период и наблюдается быстрое раскручивание КА практически до начального уровня. Не факт, что это объяснение соответствует действительности, но вероятнее всего, аномально большие изменения периода вращения вызваны именно внутренней "жизнью" пассивного КА. В пользу этой гипотезы говорит и то, что во всех случаях сначала наблюдается замедление вращения объекта, потом - раскручивание.

Чтобы подтвердить или опровергнуть результаты наших коллег, мы проанализировали свои наблюдения тех же объектов в указанные авторами моменты времени, воспользовавшись нашей фотометрической базой данных (БД). Она включает примерно пять тысяч кривых блеска более чем для 200 ГСС на интервале 25 лет. Согласно нашим данным объекты Raduga-23 (89030A) и Gorizont-12 (86044A) резко увеличили

периоды вращения. Резкое изменение периодов обнаружено и у DSP F2 (71039A), DSP F7 (77007A) и Canyon (75055A), это секретные спутники национального разведывательного управления США. Возможно поэтому авторы [3,4] предполагают, что какое-то время объекты находились в резерве (т.е. были законсервированы), резкое увеличение периода вращения свидетельствует об их активизации. Объяснение кажется маловероятным ввиду солидного возраста данных ГСС, хотя среди действующих аппаратов США есть и долгожители, например Vortex 4 (84009A) и Magnum 1 (85010B). По нашему мнению наиболее вероятным объяснением резкого изменения периода вращения является столкновение с микрометеорными потоками или мини осколками «космического мусора», не приведшими к катастрофическому разрушению объектов. Ниже в таблице приведены вычисленные периоды вращения упомянутых ГСС ( $T_0$ ), полученные в разные даты наблюдений.

Таблица. Периоды вращения вокруг центра масс некоторых ГСС

ГСС	Дата наблюдений	$T_0$ (сек)
DSP F2 (71039A)	08.10.82	10.0
	12.08.00	56.70
	27.09.00	74.96
DSP F7 (77007A)	16.10.84	10.0
	10.08.00	10.36
	25.06.06	5.48
Canyon (75055A)	21.10.80	Стабилизирован
	18.10.04	127.95
	26.05.06	81.13

Несмотря на большой объем информации, имеющейся в нашем распоряжении, нам не удалось обнаружить зависимости периода вращения от типа наблюдаемого КА после прекращения фазы его активного существования. Правда, у некоторых типов (DSP, Transtage и Centaur) периоды вращения объектов внутри группы близки по значению, но это вопрос отдельного исследования, и в данной работе он не рассматривался. Все проведенные нами исследования показывают, что регистрируемые периоды вращения КА вокруг центра масс могут служить индивидуальным косвенным признаком при проведении процедуры идентификации.



Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351

ЛИТЕРАТУРА

1. Диденко А.В., Демченко Б.И., Усольцева Л.А. и др. Зональный каталог геостационарных спутников. Алматы: Гылым, 2000. Вып.2. 108с.

2. Didenko A.V., Demchenko B.I., Nifontov S.G., Usoltseva L.A.. Zone Catalogue and Principles of Identification of Geostationary Satellites // Fifth US / Russian Space Surveillance Workshop. September 24-27. 2003. P. 316-324.

3. Выгон В.Г., Багров А.В., Грошев В.Я. Определение формы и ориентации высокоорбитального ИСЗ «FERRET» по данным фотометрических наблюдений // Сб. Околоземная астрономия. М.: «Космосинформ», 1998. С. 143-157.

4. Багров А.В., Выгон В.Г. и др. Исследование состояния аварийного геостационарного спутника по данным фотометрических наблюдений // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел солнечной системы. Сб. научных трудов конференции под. ред. Л.В. Рыжовой, г. Обнинск 25-29 октября 1999г. М. 2000, С. 276- 290.

5. Клюев, Н.Ф., Кочелаев Ю.С., Терехов В.К. Алгоритмы распознавания космических объектов по результатам измере-

ния их блеска // Околоземная астрономия XXI века. М.: Геос, 2001. С. 24-30.

6. Кочелаев Ю.С., Терехов В.К. Каталогизация и применение некоординатной информации о космических объектах / Околоземная астрономия XXI века. М.: Геос, 2001. С.31-35.

7. Методы исследования переменных звезд / Под. ред. Никонова Б. Б. М.: Мир, 1971. 334 с.

Резюме

Фотометрлік мәліметті өндегенде болатын методология мазмұндалды және пассив геостационарлық Жердің жасанды серіктерінің айналыс периодтарын анықтаудың едеттегі кейбір мысалдары келтіріледі.

Summary

The methodology of photometric material processing is described. Periods of rotation around the own centre of weights for some passive GSS are resulted.

Астрофизический институт  
им. В.Г. Фесенкова МОН РК  
г. Алматы

Поступила 20.04.07