

Фотометрия геостационарных спутников на малых фазовых углах

П.П. Сухов

НИИ Астрономическая обсерватория Одесского национального университета им. И.И. Мечникова

Принято считать, что для определения фотометрических, оптико-геометрических и динамических характеристик геостационарного спутника (ГСС), необходимых для его идентификации, нужны длительные (полгода — год) фотометрические наблюдения при разных положениях космического аппарата (КА) относительно наблюдателя. Автор предлагает проводить фотометрию ГСС в моменты времени, когда экваториальные спутники (с нулевым наклонением и нулевым эксцентриситетом) имеют малые фазовые углы. То есть записывать кривые блеска при входе и выходе из тени Земли вблизи дат равноденствий, когда блеск спутника увеличивается на несколько звездных величин. В этом случае для фотометрии ГСС можно эффективно использовать телескопы с диаметром зеркала 50–70 см. Также можно получить значительно больше информации об объекте, чем при длительных наблюдениях на больших фазовых углах.

ФОТОМЕТРІЯ ГЕОСТАЦІОНАРНИХ СУПУТНИКІВ НА МАЛИХ ФАЗОВИХ КУТАХ, Сухов П.П. — Прийнято вважати, що для визначення фотометричних, оптико-геометричних і динамічних характеристик геостационарних супутників (ГСС), необхідних для його ідентифікації, потрібні тривалі (півроку — рік) фотометричні спостереження при різних положеннях космічного апарата (КА) щодо спостерігача. Автор пропонує проводити фотометрію ГСС в моменти часу, коли екваторіальні супутники (з нульовим нахилом і нульовим эксцентриситетом) мають малі фазові кути. Тобто записувати криві блиску при вході і виході з тіні Землі поблизу дат рівнодень, коли блиск супутника збільшується на декілька зоряних величин. В цьому випадку для фотометрії ГСС можна ефективно використовувати телескопи з діаметром дзеркала 50–70 см. Також можна одержати значно більше інформації про об'єкт, ніж при тривалих спостереженнях на великих фазових кутах.

PHOTOMETRICAL OBSERVATIONS OF GEOSTATIONARY SATELLITES ON SMALL PHASE ANGLES, by Sukhov P.P. — For determination photometrical and dynamic features geostationary satellites (GSS) required for his identifications as a rule, need long (the half of the year – year) photometrical observations under different positions GSS for observer. The author proposes to carry out photometry GSS times when equatorial satellites (with zero inclination and zero eccentricity) have a small phase angles. That is writing the light curves when GSS entering and output from Earth's shadow near dates equinox, when brightness satellite increases on several magnitude. In this, case possible effectively to use the telescopes with diameter of the mirror 50–70 cm. You can also get much more information about the object than on the long-term observation of large phase angles.

Ключевые слова: геостационарный спутник; фотометрические характеристики; идентификация; фазовый угол; тень Земли; равноденствие.

Key words: geostationary satellite; photometric of the features; identification; phase angle; Earth's shadow; equinox.

Быстрый рост количества спутников Земли в околоземном космическом пространстве делает чрезвычайно актуальной задачу контроля их движений, каталогизацию, прогнозирование движений, их распознавание, то есть идентификацию.

На начало 2013 года геостационарная орбита (ГСО) перенасыщена объектами техногенного происхождения. На ней также много дрейфующих, либрационных, маневрирующих объектов. Имеется более 20 орбитальных позиций, в которых находится группировка геостационарных спутников (ГСС), образующих компактный кластер из нескольких ГСС и имеющих практически нулевое наклонение к экватору и нулевой эксцентриситет. В таких случаях распознавание по орбитальным параметрам близко расположенных друг к другу космических аппаратов (КА) не всегда дает уверенную идентификацию [1, 2, 3]. В этих случаях для отождествления ГСС необходима дополнительная, некоординатная информация об объекте, полученная из радиолокационных, лазерных, оптических наблюдений.

Следует отметить, что радиолокация не контролирует геостационарную орбиту. К тому же радиолокационные наблюдения нуждаются в больших финансовых затратах, не всегда эффективны, и поэтому проводятся эпизодически. Регулярный контроль ГСО проводят только оптические телескопы, проводящие позиционные и фотометрические наблюдения ГСС. Фотометрия ГСС позволяет определить физические и отражательные характеристики поверхности спутника, объясняет, может определить признаки аварийности КА, особенно когда с ним отсутствует связь. Набор фотометрических характеристик того или иного класса ГСС позволяет идентифицировать объект, то есть отнести объект к тому или иному классу спутников.

Блеск геостационарного спутника можно представить известной формулой:

$$m_{\lambda} = m_{\lambda}^c - 2,5 \lg \left[\frac{S_{\lambda} F(\psi)}{d^2} \right],$$

где: m_{λ}^c — звездная величина Солнца в соответствующем спектральном диапазоне, S — видимая наблюдателем площадь КА, освещенная Солнцем, (γ_{λ}) — спектральный коэффициент отражения, $(S\gamma_{\lambda})$ — эффективная площадь отражения, $F(\psi)$ — фазовая функция, ψ — спутникоцентрический фазовый угол, d — топоцентрическое расстояние до объекта. В этой формуле не учтена подсветка от Луны, отражение и рассеивание света от Земли. На высоте 36 000 км ими можно пренебречь, так как они составляет менее 0.02^m [4].

Видимый блеск ГСС зависит от многих факторов, и далеко не всегда они могут быть смоделированы математически. Основные причины, влияющие на видимый блеск КА таковы: 1) фазовый угол — ψ ; 2) дальность до объекта — d ; 3) ракурс наблюдения; 4) наличие механически связанных, но движущихся самостоятельно элементов конструкции, вызывающих «затенение» соседних элементов, или движение всей конструкции как единого целого; 4) время нахождения объекта на орбите (старение материалов конструкции) и время года при наблюдении.

К *фотометрическим характеристикам* ГСС можно отнести следующие: 1) эффективная площадь отражения $(S\gamma_{\lambda})$; 2) спектральный коэффициент отражения (γ_{λ}) ; 3) фазовый коэффициент (β) ; 4) показатель цвета (колер-индекс) в системе UBВ Джонсона $(B-V)$ и $(V-R)$; 5) звездная величина, приведенная к стандартному расстоянию и фазовому углу $\psi = 0^\circ$.

Оптико-геометрические характеристики: 1) линейные размеры КА; 2) доминирующая форма объекта.

Динамические характеристики ГСС: 1) период вращения вокруг центра масс, или одной из осей; 2) ориентация КА в пространстве, определяемая вектором нормали к бликующей поверхности КА (X_n, Y_n, Z_n — компоненты вектора).

Ввиду прикладного значения не все характеристики спутника публикуются.

Принято считать, что для определения фотометрических, оптико-геометрических и динамических характеристик объекта, необходимых для идентификации ГСС по фотометрическим признакам, нужны длительные (полгода–год) фотометрические наблюдения ГСС при разных положениях КА относительно наблюдателя. Как правило, длительная фотометрия проводится на больших фазовых углах спутника при $\psi > 30^\circ$. Но в этом случае есть следующие проблемы:

Во-первых, при фазовых углах $\psi > 30^\circ$ ГСС очень слабый, порядка $12^m - 15^m$. Для фотометрии в режиме счета фотонов (на основе ФЭУ) таких слабых ГСС, в течение всей наблюдательной ночи необходимо использовать телескоп с диаметром зеркала около 1 метра и более. Такие телескопы редко доступны специалистам по фотометрии ГСС. Во-вторых, при проведении синхронных наблюдений при $\psi > 30^\circ$ одного ГСС с базисным расстоянием в сотни, тысячи километров, каждый наблюдатель будет видеть КА под разными углами. Сравнивать, или объединять такие кривые блеска некорректно. Для сравнения кривых блеска наблюдателям нужно длительное время «записывать» кривую блеска, чтоб получить участки кривой блеска с одинаковыми фазовыми углами. Последнее условие часто ограничено погодными условиями в пунктах наблюдений. Можно сказать следующее: фотометрия геостационарных спутников не нашла широкого применения из-за слабого блеска ГСС и недоступности в использовании телескопов с диаметров главного зеркала более 1 метра (за редким исключением).

Автор предлагает проводить фотометрию ГСС в моменты времени, когда экваториальные спутники (с нулевым наклоном и нулевым эксцентриситетом) имеют малые фазовые углы. То есть записывать кривые блеска при входе и выходе из тени Земли *вблизи дат равноденствий*. В таком случае для фотометрии ГСС можно эффективно использовать телескопы с меньшим диаметром зеркала, порядка 50–70 см.

Преимущества наблюдений на малых фазовых углах близ равноденствий обусловлены следующими основными факторами:

- фазовые углы ψ минимальны, блеск КА увеличивается на несколько звездных величин и является максимальным вследствие квази зеркального отражения от поверхности КА;
- определяя отражательные характеристики вблизи равноденствий ГСС с известными размерами, можно с достаточной точностью определить его реальные спектральные коэффициенты отражения;
- по зеркальным вспышкам можно методом Епишева [5] определить ориентацию ГСС в пространстве и объяснить динамику поведения ГСС на орбите (штатный, внештатный режим работы);
- можно выявить наличие на платформе «не задекларированной» полезной нагрузки в виде телескопов, приемо-передающих сферических, параболических антенн, и других устройств. Наличие такой полезной нагрузки вносит заметный вклад в спектральные и отражательные характеристики ГСС [6];
- уменьшение временного разрешения фотометрических наблюдений ГСС в моменты входа и выхода из тени даёт дополнительную информацию о структуре поля отражения данного ГСС, что также позволяет выявить наличие полезной нагрузки по изменению показателей цвета;
- если в даты близ равноденствий определены отражательные характеристики поверхности и сол-

нечных панелей в интегральном, или в отдельных спектральных диапазонах, то максимальный линейный размер можно определить с достаточной достоверностью.

В результате при фотометрии ГСС близ равноденствий, за более короткое время можно получить:

1. Более достоверную фотометрическую и динамическую информацию об объекте, провести анализ поведения КА на орбите.
2. «Проведя» стандартизацию кривых блеска к фотометрической системе можно сравнивать и объединять наблюдения по одному спутнику, проводимые одновременно в нескольких пунктах.
3. В течение наблюдательной ночи можно получить кривые блеска нескольких спутников и получить значительно больше информации об объекте, чем при длительных наблюдениях на больших фазовых углах.

В итоге это позволит значительно сократить время для получения фотометрических характеристик, необходимых для идентификации КА. То есть в зависимости от модели земной тени используемой в расчетах, суммарное количество ночей, когда «экваториальный» ГСС может находиться в тени Земли, составляет около 88 ночей относительно весеннего и осеннего равноденствий. Длительность пребывания спутника в тени Земли также зависит от даты наблюдений относительно даты равноденствия и составляет от 10 мин. до 72 мин. Минимальные и максимальные фазовые углы экваториальных ГСС при входе в тень Земли относительно дат равноденствия составляют от $13,5^\circ$ до $16,5^\circ$ [7].

Наблюдения на малых фазовых углах перспективны не только для фотометрии ГСС, но и для фотометрических наблюдений низкоорбитальных спутников.

1. *Didenko A.V., Demchenko B.I., 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.
2. *Диденко А.В.* Исследование фотометрических характеристик геостационарных ИСЗ методом электрофотометрии: Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. — Алма-Ата, 1991. — 122 с.
3. *Епишев В.П.* Исследование ориентации и поверхности ИНТ методом электрофотометрии: Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. — Ужгород, 1985. — 125 с.
4. *Смирнов М.А.* Фотометрические наблюдения искусственных небесных тел: Дисс. ... докт. физ.-мат. наук. — Институт астрономии РАН, 1994. — 164 с.
5. *Епишев В.П.* Определение ориентации ИНТ в пространстве по их зеркальному отражению // Астрометрия и астрофизика АН УССР. — 1983. — С. 89–93.
6. *Sukhov P.P., Karpenko G.F., Epishev V.P., Motrunych I.I.* Photometrical research of GSS «Intelsat 10-02» // Odessa astronomical publications. — 2009/2010. — **22**. — P. 55–59.
7. *Karpenko G.F., Murnikov B.A., Sukhov P.P.* The conditions of an active equatorial GSS entering the Earth's shadow // Odessa Astronomical Publications. — 2009/2010. — **22**. — P. 25–27.

Поступила в редакцию 12.06.2013