

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ ПО ИХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ НА ГРАНИЦЕ ЗЕМНОЙ ТЕНИ

В.П. Епишев¹, Г.Ф. Карпенко², П.П. Сухов², А.В. Клабукова², С.К. Волков²

¹ Лаборатория космических исследований, Ужгородский национальный университет 88000, Ужгород, ул. Далекая, 2а, lkd.uzhgorod@gmail.com

² НИИ АО, Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова Одесса, парк Т. Шевченко, 14, psukhov@ukr.net

В работе приводится алгоритм вычисления эффективной площади отражения и линейных размеров ГСС по фотометрическим наблюдениям на границе земной тени космических аппаратов: “Sicral”, “Intelsat-1002”, “USA-164” (Milstar-2 F3), “Arabsat-2B”, “Intelsat-802”, “Cosmos-2397”.

Ключевые слова: геостационарные спутники, фотометрия, граница земной тени, панели солнечных батарей, коэффициент отражения, эффективная площадь, блеск спутника.

Проблема космического мусора техногенного происхождения и астероидно-кометной опасности становится все более актуальной. И первоочередной задачей, которую необходимо решать оперативно и уже сейчас, является разработка новых подходов к отождествлению искусственных космических тел и последующему контролю за их поведением. Ряд информативных характеристик о космических объектах (КО) могут дать фотометрические наблюдения за ними [1, 2]. К таким характеристикам можно отнести, например, размеры их эффективных площадей отражения солнечной радиации [3].

Среди элементов конструкции различных ИСЗ, в том числе и геостационарных (ГСС), наибольший вклад в отражение света дают панели солнечных батарей (СБ). Для активных ГСС панели СБ ориентированы относительно Солнца. Тогда величину отраженного от элементов конструкции ГСС светового потока можно определить как $F(\psi) = F_0 \cdot \gamma \cdot \cos \psi$, где F_0 – падающий на объект поток, γ – коэффициент отражения, ψ – «спутникоцентрический» фазовый угол во время наблюдения (Солнце – ГСС – наблюдатель):

$$\cos \psi = \frac{(\vec{v}_{\text{ES}} \cdot \vec{v}_{\text{SO}})}{d \cdot |\vec{v}_{\text{ES}}|}, \quad (1)$$

$$\text{где } \vec{v}_{\text{SO}} = -d \cdot \begin{Bmatrix} \cos \alpha \cdot \cos \delta \\ \sin \alpha \cdot \cos \delta \\ \sin \delta \end{Bmatrix} -$$

вектор «спутник–наблюдатель», (α, δ) – прямое восхождение и склонение КО во время наблюдения, d – топоцентрическое расстояние КО (для ГСС – константа), $\vec{v}_{\text{ES}} = \vec{v}_{\text{EO}} + \vec{v}_{\text{OS}}$ – вектор «спутник–

$$\text{Солнце}», \vec{v}_{\text{EO}} = R_{\text{AE}} \begin{Bmatrix} \cos \alpha_{\text{e}} \cdot \cos \delta_{\text{e}} \\ \sin \alpha_{\text{e}} \cdot \cos \delta_{\text{e}} \\ \sin \delta_{\text{e}} \end{Bmatrix} -$$

вектор «Солнце–наблюдатель», $R_{\text{AE}} = 1.49597 \cdot 10^8$ (км) – среднее расстояние от Земли до Солнца, $(\alpha_{\text{e}}, \delta_{\text{e}})$ – склонение и прямое восхождение Солнца во время наблюдения; $\vec{v}_{\text{OS}} = -\vec{v}_{\text{SO}}$ – вектор «наблюдатель–спутник» на момент наблюдения.

Эффективную площадь отражения $S \cdot \gamma$ можно вычислить из формулы для определения звездной величины космического объекта по его блеску:

$$m_{\lambda} = m_{\lambda}^{\ominus} - 2,5 \lg \left[\frac{S \gamma_{\lambda} F(\psi)}{d^2} \right], \quad (2)$$

где, m_{λ}^{\ominus} – звездная величина Солнца в соответствующем синем (В) и желтом (V) спектральном диапазоне; $m_B^{\ominus} = -26.^m05$, $m_V^{\ominus} = -26.^m77$, S – видимая наблюдателем площадь поверхности КО, освещенная Солнцем; γ_{λ} – спектральный коэффициент отражения; $F(\psi)$ – фазовая функция; d – топоцентрическое расстояние до объекта. В (2) вместо $S\gamma_{\lambda}F(\psi)$ подставим $S\gamma_{\lambda} \cos\psi$.

Тогда

$$S\gamma_{\lambda} = d^2 10^{\frac{m_{\lambda}^{\ominus} - m_{\lambda}}{2.512}} / \cos\psi, \quad (3)$$

где $\cos\psi$ вычисляется по формуле (1). Отсюда и проводились вычисления эффективных площадей отражения.

Ниже приведены кривые изменения эффективных площадей отражения на границе земной тени для КО: “Sicral”, “Intelsat-1002”, “Arabsat-2B”, “USA-164”, “Intelsat-802”, “Cosmos-2397”.

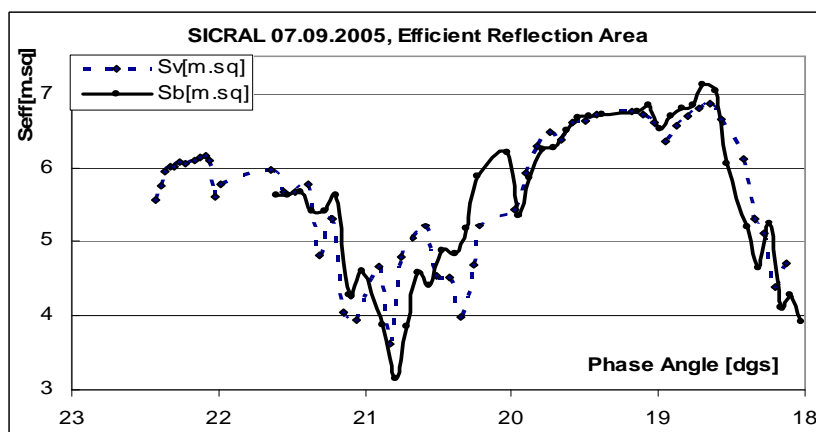


Рис. 1. Изменение эффективной площади отражения для ГСС “Sicral” при его вхождении в тень Земли. Фильтры V, B.

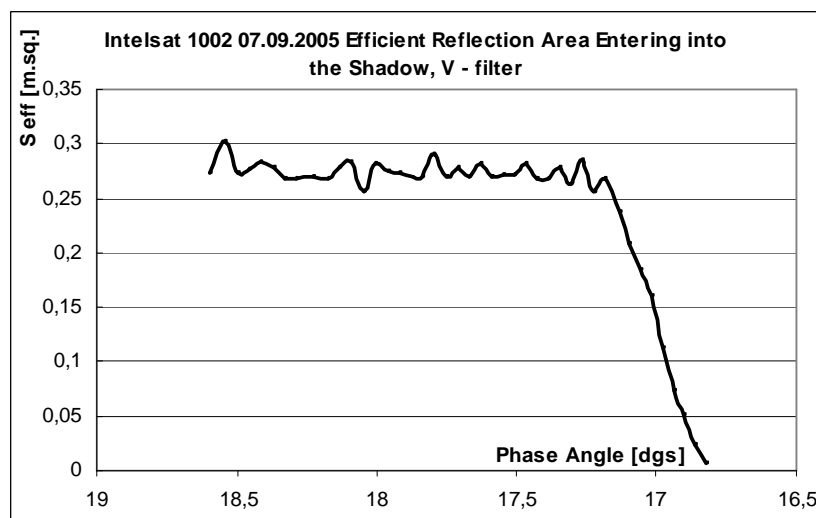


Рис. 2. Изменение эффективной площади отражения “Intelsat-1002” от фазового угла при его вхождении в тень Земли. Фильтр V.

В столбцах таблицы приведены: название и дата наблюдения ГСС; спектральная область наблюдений – V, B; геометрическое альbedo – A_{geom} ; эффективная площадь отражения – $S\gamma_{\lambda}$ [m^2]; среднеквадратичная ошибка определения звезд-

ных величин – σ_{mag} ; известный из печати максимальный размер ГСС – $\rho_{publish}$ [m]; вычисленный его максимальный размер – ρ [m]; долгота подспутниковой точки – $\lambda_{sub\ point}$.

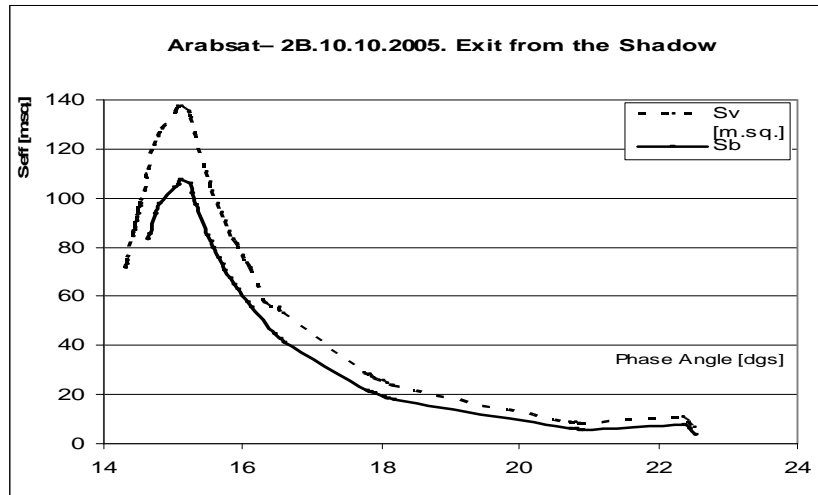


Рис. 3. Изменение эффективной площади отражения ГСС “Arabsat–2B” от фазового угла при его выходе из тени Земли. Фильтры V, B.

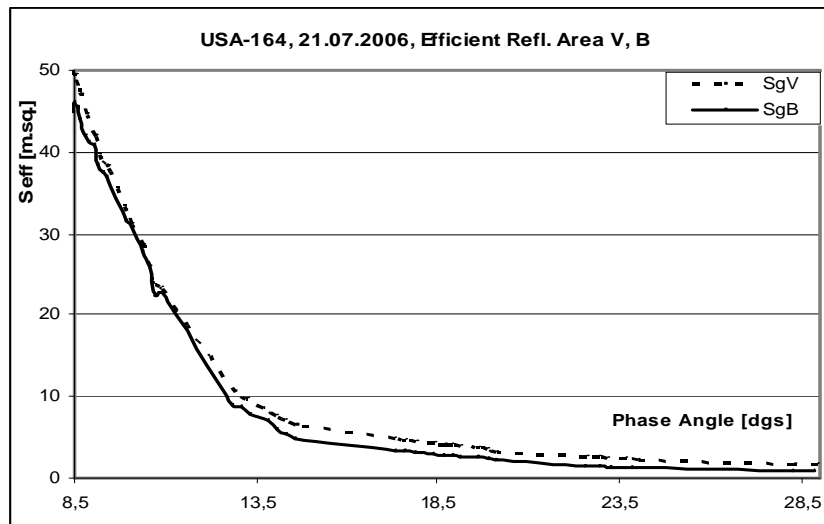


Рис. 4. Изменение эффективной площади отражения ГСС “USA-164” (Milstar-2 F3) от фазового угла при его выходе из тени Земли. Фильтры V, B.

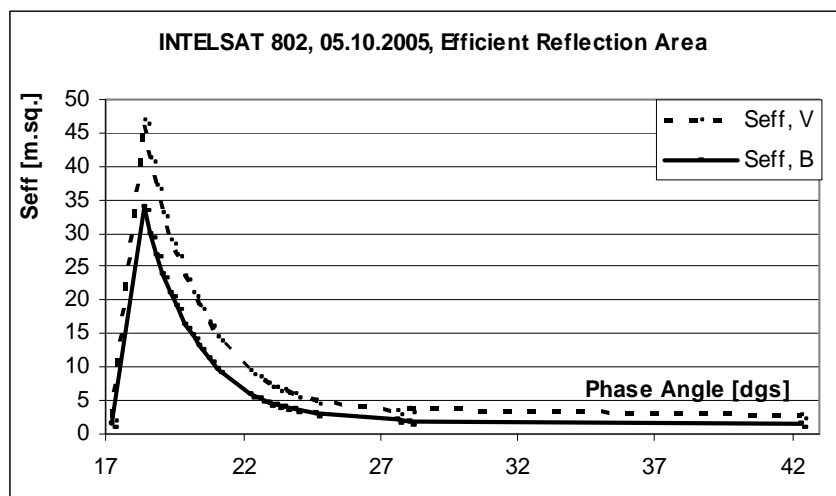


Рис. 5. Фрагмент кривой изменения эффективной площади отражения ГСС “Intelsat-802” от фазового угла при его выходе из тени Земли. На $\psi = 18^{\circ}24'$ зафиксирована зеркальная вспышка. Фильтры V, B.

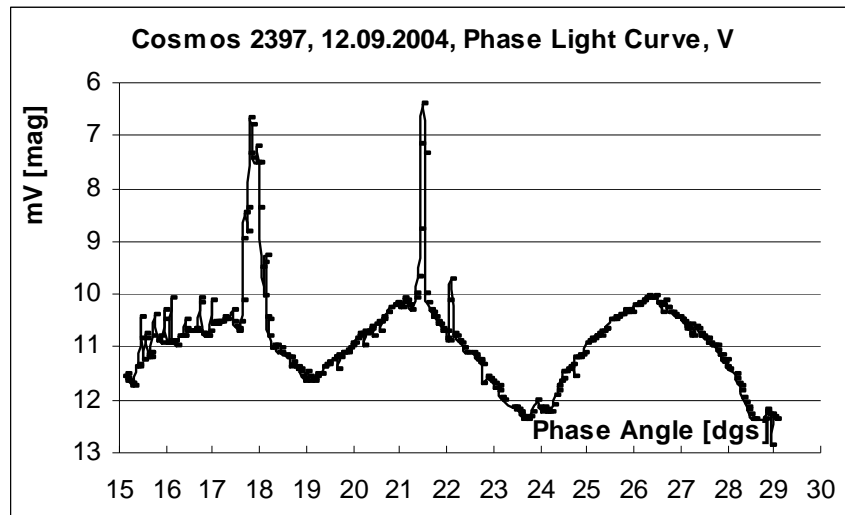


Рис. 6. Фазовая кривая блеска для спутника “Cosmos-2397”.
 На $\psi = 17^\circ 49'$ и $\psi = 21^\circ 29'$ – зеркальные вспышки. Фильтр V.

Таблица

Результаты вычислений

| Название ГСС, дата наблюдений | Фильтр | A_{geom} | $S_{\lambda}^{###}$ [m ²] | σ_{mag} | $\rho_{publish}$ [m] | ρ [m] | $\lambda_{sub-point}$ |
|--|--------|------------|--|----------------|-------------------------|------------|-----------------------|
| Sicral, 07.09.2005 | V | 0.15 | 5.32 | 0.03 | 24.5 | 24.5 | 16° E |
| | B | 0.15 | 3.73 | 0.04 | | 24.5 | |
| Intelsat-1002, 07.09.2005 | V | 0.57 | 46.87 | 0.03 | 45 | 44.1 | 359°E |
| Arabsat-2B, 10.10.2005 | V | 0.53 | 28.82 | 0.03 | 25 | 24.2 | 30°.5E |
| | B | 0.40 | 21.75 | 0.03 | | 23.8 | |
| USA-164, (Milstar-2 F3) 21.07.2006 | V | 0.59 | 32.25 | 0.05 | Нет данных | 25.6 | 03°.9 E |
| | B | 0.44 | 24.0 | - | | 25.0 | |
| Cosmos-2397 12.09.2004 | V | 0.27 | 3.56 | 0.002 | Нет данных | 9.8 | 23° E |
| Intelsat-802, 05.10.2005 | V | 0.60 | 32.9 | 0.03 | 25 | 25.9 | 32°.9 E |
| | B | 0.45 | 34.1 | -‘- | | 25.2 | |
| Intelsat-802, 10.10.2005 | V | 0.42 | 27.07 | -‘- | 25 | 23.5 | 32°.9 E |

Алгоритм вычислений следующий: Вычисление инструментальных звёздных величин → выведение блеска КО за атмосферу и приведение блеска КО к стандартной фотометрической системе Джонсона → расчет блеска КО на расстояние 36 тыс. км → вычисление фазовых углов для всех моментов наблюдения и построение фазовой кривой блеска → вычисление эффективных площадей отражения для всех наблюдаемых значений фазовых углов → вычисление фазовых коэффициентов → приведение блеска и

эффективных площадей ГСС на фазовый угол $\psi = 0^\circ$.

Максимальный линейный размер рассчитывался для $\psi=0$, когда наблюдаемая площадь отражения максимальна ($\cos\psi = 1$) в предположении, что отражающая поверхность плоская и имеет прямоугольную форму: $\rho_{max} = (S\gamma/A_{geom})^{1/2}$. Эффективная площадь так же приведена на нулевую фазу, т.е. $\psi=0$.

Вычисление фотометрических и оптико-геометрических характеристик объекта, как правило, требует длительных

наблюдений ГСС при разных условиях освещенности. Нами предпринята попытка определить эти характеристики КО на границе земной тени, когда кривая блеска ГСС наиболее информативна. В случае, когда известны размеры ГСС, можно достаточно надежно определить коэффициент отражения (геометрическое альбедо - A_{geom}) близкий к реальному. При известных отражательных характеристиках покрытия поверхности спутника и его СБ в интегральном свете или в спектральных диапазонах, максимальный линейный раз-

мер ГСС можно определить с достаточной достоверностью.

Зеркальные вспышки света от поверхности ГСС на границе тени исключались весовым усреднением. Геометрическое альбедо вычислялось как отношение максимального значения эффективной площади отражения к площади КО, установленной по известным габаритным размерам: $A_{geom} = S\gamma/S_0$.

Литература

1. Епишев В.П. Исследование ориентации и поверхности ИНТ методом электрофотометрии // Автореф. дисс. канд. физ-мат. наук. – Одесса, 1985. – 17 с.
2. Didenko A.V., Usoltzeva L.A. Methods of geostationary satellites' identification by the photometric information // Transaction of the KAU. – 2001. – № 2. – P. 83-91.
3. Диденко А.В., Усольцева Л.А. Использование эффективной площади отражения геостационарного спутника при идентификации его типа // Известия НАН РК, Серия физико-математическая. – 2007. – № 4. – С. 18-24.
4. Gunter's space page. <http://www.skyrocket.de/space>

THE MEASUREMENT OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF GEOSTATIONARY SATELLITES FROM THEIR PHOTOMETRIC MONITORING ON THE BORDER THE EARTH'S SHADOW

V.P.Epishov¹, G.F.Karpenko², P.P.Sukhov², A.V.Klabukova²,
S.K.Volkov²

¹ Laboratory of Space Researches, Uzhhorod National University
st. Daleka 2a, 88000, Uzhhorod, lkd.uzhgorod@gmail.com

² AO Research Institute, Odessa National University of Mechnikov,
Park T. Shevchenko 14, Odessa, psukhov@ukr.net

In the paper we give an algorithm for calculating the effective area of reflection and the linear dimensions from the photometric observations at the boundary of Earth's shadow for geostationary satellites: "Sicral", "Intelsat-1002", "USA-164" (Milstar-2 F3), "Arabsat-2B", "Intelsat-802", "Cosmos-2397".

Key words: Geostationary satellites, photometry, border of Earth shadow, solar array, the reflection coefficient, effective area, shine of satellite.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГЕОСТАЦІОНАРНИХ СУПУТНИКІВ ЗА ЇХ ФОТОМЕТРИЧНИМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ НА ГРАНИЦІ ЗЕМНОЇ ТІНІ

**В.П. Єпішев¹, Г.Ф. Карпенко², П.П. Сухов², А.В. Клабукова²,
С.К. Волков²**

¹ Лабораторія космічних досліджень, Ужгородський національний університет
88000, Ужгород, вул. Далека, 2а, lkd.uzhgorod@gmail.com

² НДІ АТ, Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова
Одеса, парк Т. Шевченка, 14, psukhov@ukr.net

В роботі приведений алгоритм обчислення ефективної площі відбивання світла і лінійних розмірів ГСС за результатами фотометричних спостережень на границі земної тіні космічних апаратів: “Sircal”, “Intelsat”, “USA-164”(Milstar-2F3), “Arabsat”, “Intelsat-802”, “Cosmos-2397”.

Ключові слова: геостационарні супутники, фотометрія, границя земної тіні, панелі сонячних батарей, коефіцієнт відбивання, ефективна площа, блиск супутника.