

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.01.063>

УДК 528.3

П. П. Сухов, В. П. Епишев, К. П. Сухов, Г. Ф. Карпенко, И. И. Мотрунич

¹ Научно-исследовательский институт «Астрономическая обсерватория» Одесского национального университета им. И. И. Мечникова, Одесса

² Лаборатория космических исследований Ужгородского национального университета, Ужгород

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ОРБИТЕ ГЕОСИНХРОННОГО СПУТНИКА «SBIRS-GEO-2»

Новое поколение геосинхронных спутников SBIRS системы раннего предупреждения ВВС США призвано заменить предыдущие спутники DSP-серии. В настоящее время с территории Украины можно наблюдать несколько ГСС серии DSP и один «SBIRS-Geo-2». За два года по двум спутникам получено более 30 кривых блеска в фотометрической системе B, V, R. В результате комплексных фотометрических и координатных исследований предложена модель поведения на орбите «SBIRS-Geo-2» в сравнении с поведением на орбите спутника DSP. Спутники DSP обеспечивают мониторинг земной поверхности до широт $\pm 83^\circ$ с периодом 50 с. Количество спутников серии DSP должно быть до восьми. Для контроля всей поверхности Земли, в том числе полярных регионов, с 15...16-с интервалом достаточно иметь на геостационарной орбите четыре спутника серии SBIRS, расположенных через 90° вдоль экватора. Такие выводы были сделаны на основе анализа фотометрических и координатных наблюдений с использованием моделирования динамики их поведения на орбите.

Ключевые слова: геостационарный спутник, кривая блеска, «SBIRS-Geo», DSP, фазовый угол.

Геосинхронные спутники (ГСС) серии SBIRS (Space Based Infrared System) — новое поколение космических аппаратов системы раннего предупреждения BMEWS (*Ballistic Missile Early Warning System*) ВВС США, которые должны заменить спутники серии DSP (Defense Support Program). Задача SBIRS — обнаружение стартов ракет по факелам менее чем за 20 с, идентификация боевых и ложных целей на среднем участке полета. Кроме контроля космических

запусков, SBIRS могут фиксировать метеоры, болиды, лесные пожары, большие и маленькие ракеты, вход КА в атмосферу, надводные взрывы, а также вести разведку территорий военных действий в ИК-диапазоне [<http://mwrf.com/systems/update-sbirs-geo-satellites-track-missiles-using-infrared-data>, http://en.wikipedia.org/wiki/Space-Based_Infrared_System].

По состоянию на декабрь 2016 г. группировка SBIRS состоит из четырех КА: два ГСС — «SBIRS-Geo 1» (2011-019A) и «SBIRS-Geo-2» (2013-011A), а также два спутника на высокоэл-

© П. П. СУХОВ, В. П. ЕПИШЕВ, К. П. СУХОВ,
Г. Ф. КАРПЕНКО, И. И. МОТРУНИЧ, 2017

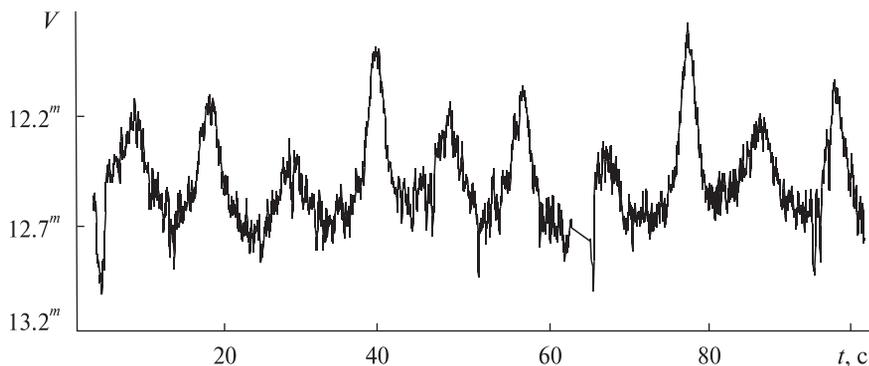


Рис. 1. Фрагмент кривой блеска ГСС DSP-18, V-фильтр, 30 сентября 2014 г, $T_3 = 0.2$ с

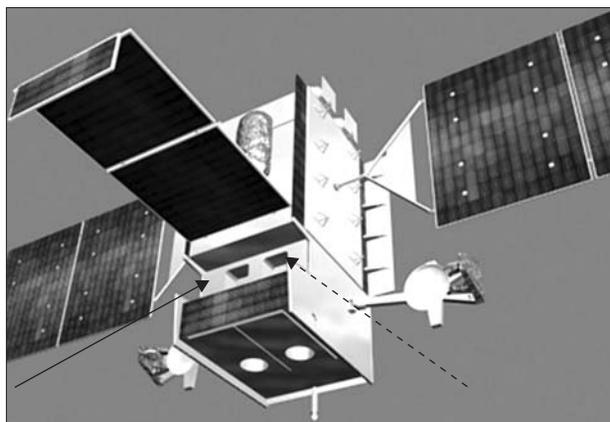


Рис. 2. Вид «SBIRS Geo-2». Пунктирная стрелка — scanner sensor, сплошная стрелка — starrer sensor

липтической орбите — USA 184 (2006-027A) и USA 200 (2008-010A).

Платформа A2100M для КА SBIRS разработана фирмой Lockheed Martin. Полезная нагрузка из двух ИК-телескопов системы короткой Шмидт и двух ИК-датчиков — фирмой Northrop Grumman. Датчик широкого поля с углом $FOW = 14^\circ$ (scanner sensor) — для пошагового обзора поверхности Земли за короткое время (режим «стеклоочистителя»). Датчик узкого поля с углом $FOW = 4^\circ$ (starrer sensor) — для детального просмотра конкретной области. Сканеры могут работать независимо. Масса спутника на орбите 2 547 кг, мощность нагрузки — около 345 Вт. Размер КА на орбите — $14.81 \times 6.83 \times 6.00$ м. Начальная долгота подспутниковой точки $\lambda = 23^\circ E$, наклон орбиты $i = 4.9^\circ$, эксцентриситет $e = 0.0003$.

Для сканирования поверхности Земли КА предыдущего поколения семейства DSP враща-

ются вокруг своей продольной оси со скоростью шесть оборотов в минуту. На рис. 1 приведен фрагмент кривой блеска ГСС DSP-18, переведенного в 2009 г. с $\lambda = 145^\circ E$ на $\lambda \approx 20^\circ E$.

Данный КА, как и большинство других из этой серии, начиная с DSP-14, имеет четыре панели солнечных батарей (СБ). Таким образом, при одном обороте этого КА вокруг собственной оси на кривой его блеска будет наблюдаться четыре максимума. Из приведенной кривой видно, что период появления этих максимумов $P_M = 10.44$ с, а шесть оборотов КА будут длиться 62.64 с. Из информации об этом КА следует, что он сканирует один и тот же район земной поверхности через примерно 50 с. То есть, ось оптики телескопа должна описывать в пространстве конус за шесть оборотов КА вокруг собственной продольной оси ($P = 62.64$ с). То, что ось собственного вращения данного КА изменяет свое направление даже на одном обороте, частично можно объяснить разной по величине амплитудой изменения блеска от различных СБ (рис. 1).

Согласно опубликованным данным ГСС SBIRS используют иной принцип сканирования земной поверхности. Внутри двигающейся платформы КА, представляющей параллелепипед, находятся два телескопа (рис. 2). Сканирование производится с помощью двух поворачивающихся по двум координатам зеркал, расположенных в окнах на одной из граней корпуса КА. Кроме двух панелей СБ, на спутнике расположена еще одна, согнутая на конце под углом 90° , калибровочная для ИК-диапазона.

Наблюдения данного ГСС проводились с использованием скоростного фотометра на основе

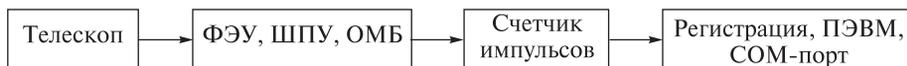


Рис. 3. Блок-схема электрофотометра-колориметра

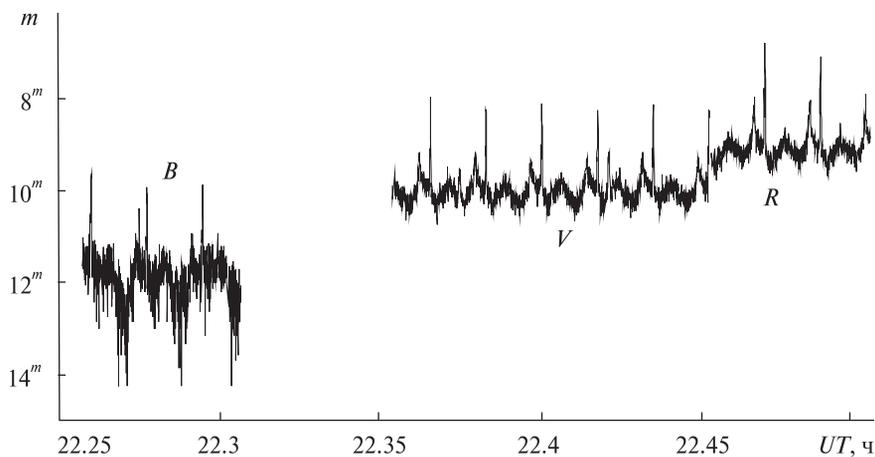


Рис. 4. Кривые блеска «SBIRS-Geo-2» в полосе *B* (22.25 — 22.30 ч), *V* (22.35 — 22.45 ч), *R* (22.45 — 22.50 ч), полученные 29 августа 2014 г. ($T_g = 0.1$ с, фазовый угол 7°)

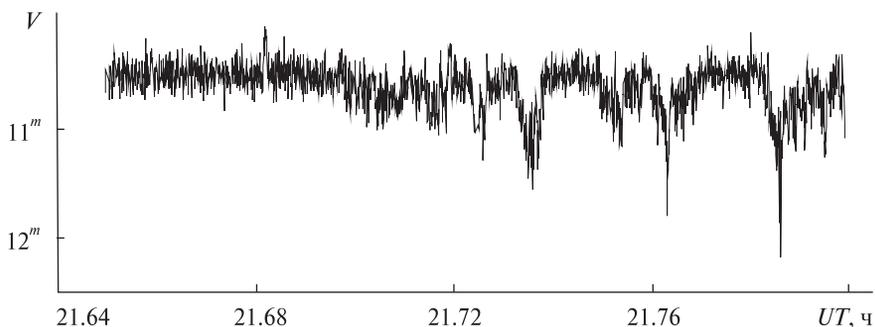


Рис. 5. Кривая *V*-блеска «SBIRS-Geo-2», полученная 1 октября 2014 г. ($T_g = 0.2$ с, фазовый угол 15°)

ФЭУ-79, работающего в режиме счета импульсов. Блок-схема электрофотометра-колориметра приведена на рис. 3. Электрофотометр-колориметр включает: касегреновский телескоп диаметром главного зеркала 50 см, фотоэлектронный умножитель ФЭУ-79, ШПУ — широкополосный усилитель-дискриминатор с полосой пропускания до 100 МГц, оптико-механический блок (ОМБ), включающий вращающуюся по заданной программе турель с *B*, *V*, *R*-светофильтрами, линзу Фабри, стабилизированный по току и температуре эталонный источник света на основе светодиода АЛ-102 [4]. Фотокатод ФЭУ охлаждается полупроводниковыми эле-

ментами на основе эффекта Пельтье с точностью до 0.5°C . В ОМБ имеется набор диафрагм, обеспечивающий поле зрения $40''$, $25''$ и $10''$. Реализована «прыгающая» диафрагма — после получения заданного программой количества отсчетов от объекта, диафрагма с помощью электромагнита «прыгает» на фон рядом с объектом.

Калибровка проводилась по звездам спектральных классов G2—G8 широкополосного *WBVR*-каталога ГАИШ [2]. Он представлен и достаточно равномерно охватывает экваториальную зону. Для оперативного учета мгновенного значения коэффициента экстинкции применялся метод пары разновысотных звезд.

При обработке результатов фотометрии использовался пакет прикладных программ, составленный Г.Ф. Карпенко, в такой последовательности: выведение блеска КА за атмосферу и приведение его к стандартной фотометрической системе Джонсона → приведение блеска КА на расстояние 36000 км → вычисление фазовых углов для моментов наблюдения и построение фазовой кривой блеска → вычисление эффективных площадей отражения для наблюдаемых значений фазовых углов → приведение блеска, эффективных площадей отражения и других характеристик КА на фазовые углы $\psi = 0^\circ$ и $\psi = 25^\circ$.

За период с 22 августа 2014 г. по сентябрь 2016 г. в пункте наблюдения Маяки (Одесская обл.) авторами получено более 30 кривых блеска в полосах B , V , R . На рис. 4 и 5 показаны выбранные кривые блеска «SBIRS-Geo-2», полученные при малых фазовых углах спутника ψ и близких временах экспозиции T_ψ .

Наиболее информативной оказалась запись блеска в полосах B , V , R за 29 августа 2014 г., когда удалось зарегистрировать ряд зеркальных бликов, наиболее ярких в красной области (полоса R) на фоне периодического изменения блеска с наибольшей по величине амплитудой в полосе B (рис. 4), что практически наблюдалось на большинстве кривых. Когда Солнце было западнее объекта в канале R , такая периодичность изменения блеска не наблюдалась.

Результаты позиционных наблюдений и наличие зеркальных бликов на кривых блеска позволили надежно определить на интервалах наблюдений положение «SBIRS-Geo-2» на орбите, направления «спутник — центр Земли» и нормали к бликующей детали, фазовый угол, изменение долготы и широты подспутниковой точки и другие углы в экваториальной спутникоцентрической системе координат. Вектор нормали определялся по методу, описанному в работе [1]:

$$\vec{n} = \vec{v}_\odot + \vec{v}_s,$$

где

$$\vec{v}_\odot = \begin{bmatrix} \cos \alpha_\odot \cos \delta_\odot \\ \sin \alpha_\odot \cos \delta_\odot \\ \sin \delta_\odot \end{bmatrix}$$

и

$$\vec{v}_s = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \delta \\ \sin \alpha \cos \delta \\ \sin \delta \end{bmatrix}$$

— экваториальные координаты направлений «спутник — Солнце» и «спутник — наблюдатель». Тогда экваториальные координаты направления нормалей будут равны

$$\vec{n} = [X_n, Y_n, Z_n]^T,$$

$$\alpha_n = \arctg[Y_n/X_n],$$

$$\delta_n = \arcsin Z_n.$$

Вычисление фазового угла. Вычисление фазовых углов спутника ψ_i на моменты наблюдений $\{T_i\}$ ($i = 1, N$):

$$\cos \psi_i = \frac{(\vec{v}_{\odot S}^i \cdot \vec{v}_{SO}^i)}{d \cdot |\vec{v}_{\odot S}^i|},$$

где d — топоцентрическое расстояние КА,

$$\vec{v}_{SO}^i = -d \cdot \begin{Bmatrix} \cos \alpha_i \cdot \cos \delta_i \\ \sin \alpha_i \cdot \cos \delta_i \\ \sin \delta_i \end{Bmatrix} \quad (1)$$

— вектор «спутник — наблюдатель», α_i и δ_i — прямое восхождение и склонение КА в момент T_i , $\vec{v}_{\odot S}^i = \vec{v}_{\odot O} + \vec{v}_{OS}^i$ — вектор «спутник — Солнце»,

$$\vec{v}_{\odot O} = R_{AE} \begin{Bmatrix} \cos \alpha_\odot \cdot \cos \delta_\odot \\ \sin \alpha_\odot \cdot \cos \delta_\odot \\ \sin \delta_\odot \end{Bmatrix}$$

— вектор «Солнце — наблюдатель», $R_{AE} = 1.49597 \times 10^8$ км — среднее расстояние от Земли до Солнца, α_\odot и δ_\odot — координаты Солнца на момент наблюдения, $\vec{v}_{OS}^i = -\vec{v}_{SO}^i$ — вектор «наблюдатель — спутник» в момент времени T_i .

Эффективную площадь отражения спутника $S\gamma_\lambda$ можно оценить так:

$$S\gamma_\lambda = d^2 \cdot 10^{(m_\odot - m_\lambda)/2.512} \cdot \sec \psi, \quad (2)$$

где m_λ — наблюдаемая звездная величина, γ_λ — цветовой коэффициент отражения от поверх-

ности КА. Все величины, входящие в формулу (2), могут быть достаточно надежно измерены или рассчитаны на основе наблюдений. Параметр $S\gamma_\lambda$ для однотипных объектов зависит от пространственной ориентации КА, долготы подспутниковой точки и координат наблюдателя.

В табл. 1 приведены оценки динамических характеристик ГСС «SBIRS-Geo-2» за 22 и 29 августа 2014 г.: экваториальные координаты Солнца (α_\odot , δ_\odot) и наблюдателя (α_0 , δ_0) на интервале наблюдений; геоцентрические координаты α_g , δ_g спутника на орбите; экваториальные координаты направления нормали к бликующей детали на объекте (α_n , δ_n) и направления вектора движения КА по орбите (α_x , δ_x); значение угла ν между направлениями от КА к центру Земли и нормалью к бликующей детали; значение фазового угла ψ ; долготы λ и широты φ положения объекта на орбите; видимая скорость ω_λ , ω_φ перемещения КА по

долготе и широте на момент наблюдений. Географические координаты пункта наблюдения (Одесса) составляют $\lambda = 30.27^\circ$ и $\varphi = 46.40^\circ$.

Как показал анализ, вид кривых изменения блеска «SBIRS-Geo-2» существенно зависит от положения Солнца относительно объекта (западное или восточное) и положения КА относительно местного меридиана. Спутник не только вращается вокруг Земли с суточным периодом, но и осуществляет либрационное движение вдоль экватора в пределах $9...10^\circ$. Например, среднее значение его долготы составляло $\lambda \approx 28.5^\circ$ для наблюдений 29 августа 2014 г. и $\lambda \approx 20.6^\circ$ для 3 мая 2016 г.

Наиболее четко изменения блеска во всех трех цветовых каналах проявляется, когда КА во время наблюдений практически находится в районе местного меридиана пункта наблюдений, а Солнце подсвечивает его с восточной стороны. Если Солнце находится западнее КА, изменение его блеска, в том числе и глубокие провалы (рис. 5), проявляются в основном в синих и желтых лучах.

Таблица 1. Расчетные значения динамических характеристик ГСС «SBIRS-Geo-2»

Параметры	22 августа 2014 г.	29 августа 2014 г.
<i>UT</i>	22 ^h 34 ^m 30 ^s — 22 ^h 40 ^m 50 ^s	22 ^h 15 ^m 00 ^s — 22 ^h 29 ^m 40 ^s
α_\odot , град	151.85	158.25
δ_\odot , град	11.56	9.13
α_0 , град	158.95...160.54	160.78...164.27
δ_0 , град	8.37...8.23	8.21...7.87
α_g , град	159.07...160.65	160.93...164.43
δ_g , град	1.31...1.17	1.16...0.85
α_n , град	—	159.51...161.27
δ_n , град	—	8.67...8.51
α_x , град	249.12...250.64	250.48...253.98
δ_x , град	2.01...2.02	2.06...2.08
ν , град	9.41...9.80	7.65...8.28
ψ , град	7.68...9.17	2.67...6.08
λ , град	28.95...28.94	28.52...28.49
φ , град	-1.31...-1.17	-1.16...-0.86
ω_λ , град/мин	0.0016	0.0017
ω_φ , град/мин	0.0233	0.0205

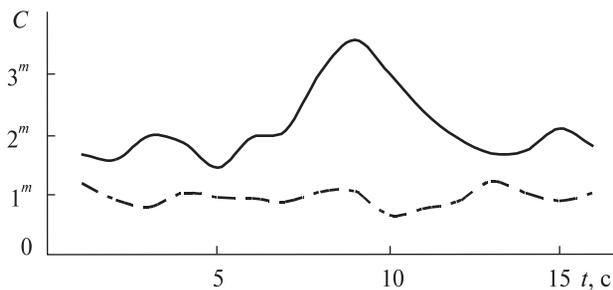


Рис. 6. Изменение колор-индекса «SBIRS-Geo-2» 29 августа 2014 г. за период $P_0 = 15.66$ с. Верхняя кривая — $B-V$, нижняя — $V-R$

Это вызвано, на наш взгляд, периодическим затенением дальней от наблюдателя панели солнечных батарей корректирующей ИК-панелью. Довольно слабая периодичность в изменениях блеска проявляется, когда объект удален на некоторое угловое расстояние от местного меридиана на запад.

Таким образом, ориентация КА «SBIRS-Geo-2» представляется следующей. КА размещен на орбите так, что его продольная ось совпадает с направлением вектора его движения по орбите в восточном направлении. Сторона объекта, на которой размещены окна с зеркалами и калибровочная в ИК-диапазоне панель, обращена к земной поверхности. Световой поток от КА к наблюдателю формируется панелями солнечных батарей, калибровочной панелью и гранями корпуса. Его периодическое изменение наиболее четко по амплитуде проявляется в синей полосе B , потом в желтой полосе V и далее — в красной R -полосе, что указывает на колебательное движение корпуса ГСС и панелей солнечных батарей вокруг продольной оси КА с периодом $P = 62.64$ с. Информация о колебательных движениях корпуса ГСС в открытых источниках не приводится.

Когда ГСС находится вблизи местного меридиана, а Солнце в нижней кульминации пересекает местный меридиан, у наблюдателя появляется возможность увидеть зеркальные отблески от одного из зеркал, развернутого под углом к северной части земного полушария. Наблюдения 29 августа 2014 г., когда удалось зафиксировать такие отблески, показали, что такая возможность на практике маловероятна. Она реальна только в моменты пребывания данного ГСС

вблизи местного меридиана на фазовых углах не более $6.0 \dots 6.5^\circ$, причем направления со спутника на Солнце и наблюдателя по координате δ должны почти совпадать (в пределах 1.5°). Это связано с глубоким размещением зеркал в окнах корпуса КА и их быстрым вращением. Ко всему сюда еще добавляется погодный фактор и периодическое пребывание КА в тени Земли. Вращение зеркал происходит с периодом $P_0 = 15.66$ с. Так что за один полный колебательный период 62.64 с они успевают четыре раза сканировать полосу шириной 9000 км в северном и южном полушариях вплоть до полюсов.

Наблюдаемые на кривой блеска за 29 августа 2014 г. зеркальные блики на вершинах нескольких максимумов блеска в фильтре R , порождены не вращающимися зеркалами, а отражением света от согнутой под прямым углом части калибровочной панели, в моменты, когда в результате колебаний КА она достигает максимального отклонения в северном направлении. Это позволило нам оценить величину угла такого колебания, совершаемого корпусом КА вокруг своей продольной оси. Его значение $\nu - \delta_g$ на момент наблюдений, было близким к 7° . То есть, КА осуществляет колебания на угол $7.0 \dots 7.5^\circ$ в одну и другую стороны, и таким образом расширяет длину контролируемой полосы земной поверхности с захватом обоих полюсов, в то время как предыдущие поколения спутников такой системы сканируют земную поверхность до широт $\pm 83^\circ$.

В табл. 2 для данного ГСС на три даты наблюдений приведены: экспозиция T_s и склонение Солнца δ_\odot , используемые цветовые каналы B, V, R фотометра, значения стандартизированной звездной величины m КА на фазовых углах $\Psi = 0$ и 25° (погрешность 0.05^m), значения цветового коэффициента γ_λ отражения от поверхности КА (погрешность ± 0.02), эффективная отражательная площадь $S\gamma_\lambda$. Отражательная эффективная площадь $S\gamma_\lambda$ вычислялась по формуле (2). Вычисленное значение угла наклона панелей солнечных батарей к лучу зрения составило $\varepsilon \approx 1^\circ$.

В случае зеркальных бликов, появляющихся при определенных условиях, проводилось сглаживание кривой с использованием фазовой функ-

Таблица 2. Фотометрические характеристики «SBIRS-Geo-2»

Дата, 2014 г.	T_s , с	δ_{\odot}	Sp	m ($\psi = 0^\circ$)	m ($\psi = 25^\circ$)	γ_λ	$S\gamma_\lambda, M^2$ ($\psi = 0^\circ$)
29 августа	0.1	+09°07'	B	14.23 ^m	14.33 ^m	0.003	0.128
			V	12.41	12.52	0.180	0.377
			R	10.40	10.50	0.035	1.49
30 августа	0.1	+08°46'	B	13.398	13.505	0.006	0.274
			V	9.465	9.573	0.132	5.611
			R	10.172	10.28	0.021	1.823
01 октября	0.2	-03°11'	V	12.36	12.47	0.009	0.396

ции модели КА в виде пластины с диффузным ламбертовским рассеиванием. Проводя процедуру интерпретации участка диффузной составляющей, предложенной в работе [3], на нулевой фазовый угол, можно вычислить соответствующее значение $(S\gamma_\lambda)_0$ для нулевой фазы.

Именно, данные колор-индексов и стандартизованных значений блеска m в разных полосах (рис. 6) подтверждают, что в отраженном от данного КА световом потоке преобладает «красная» составляющая. Но периодические колебания КА и затенения панелей солнечных батарей ярче проявляются в синей составляющей.

ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований и компьютерного анализа предлагается следующая модель функционирования на орбите представителя нового поколения американской системы раннего предупреждения «SBIRS-Geo-2» в сравнении с более ранним представителем системы DSP-18. Спутник поколения системы DSP, как отмечалось выше, вращается с периодом 10.44 с вокруг своей продольной оси, направленной в подспутниковую точку и выполняющей конусообразное движение с $P = 62.64$ с. Это позволяет ГСС сканировать одну и ту же поверхность с частотой около 50 с в относительно большой полосе до 83° южной и северной широты.

Для контроля всей земной поверхности в таком случае потребуется до восьми КА.

Новое поколение системы раннего предупреждения пока включает два ГСС SBIRS. Кроме улучшенных технических характеристик приемников ИК-излучения, их продольная ось ориентирована вдоль вектора своего движения по орбите, что позволяет им не вращаться, а совершать с тем же периодом $P = 62.64$ с лишь колебательные движения к южному и северному полюсам на угол 7.0...7.5°. На КА размещены два телескопа и два сканирующих зеркала, которых находятся под углом к плоскости экватора и развернуты, соответственно, в сторону юга и севера. Оба зеркала совершают конусообразное вращение с периодом $P_0 = 15.66$ с. То есть, каждое из зеркал (одно над южным, а другое над северным полушариями) за период одного колебания КА выполняет четыре сканирующих вращения, контролируя в отдельности одну и ту же область земной поверхности примерно через 16 с. Спутники системы DSP за одно и то же время $P = 62.64$ с контролируют одну и ту же область через 50 с, оставляя при этом без внимания близполярные области. За то же время оба SBIRS, совершая покачивания вокруг продольной оси, контролируют и близполярные области Земли. Кроме того, SBIRS из-за наклона орбиты $i = 4.9^\circ$ совершают за сутки еще и либрационное движение, которое в итоге расширяет контролируемую полосу поверхности Земли.

Таким образом, для полного контроля всей поверхности Земли каждые 15–16 с достаточно иметь четыре таких ГСС, размещенных вдоль экватора через 90°.

1. Епишев В. П. Определение ориентации ИНТ в пространстве по их зеркальному отражению // Астрометрия и астрофизика. — 1983. — Вып. 50. — С. 89–93.
2. Корнилов В. Г., Волков И. М. и др. Каталог WBVR-величин ярких звезд северного неба // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга. — 1991. — 63. — 400 с.
3. Северный С. А., Смирнов М. А., Багров А. В. Определение формы искусственного спутника Земли по фотометрическим наблюдениям // Науч. информ. — 1986. — Вып. 58. — С. 103–106.
4. Сухов П. П., Чайчук Р. А. Светодиодный эталон яркости // Новая техника в астрономии. — 1984. — С. 20–23.

Стаття надійшла до редакції 13.06.16

REFERENCES

1. Epishev V. P. Opredeleniye orientatsii INT v prostranstve po ikh zerkal'nomu otrazheniyu. *Astrometriya i astrofizika AN USSR*, N 50, 89–93 (1983).
2. Kornilov V. G., Volkov I. M. i dr. Katalog WBVR-velichin yarkikh zvezd severnogo neba. *Trudy GAISH*, 63, 400 p. (1991).
3. Severnyy S. A., Smirnov M. A., Bagrov A. V. Opredeleniye formy iskusstvennogo sputnika Zemli po fotometricheskim nablyudeniya. *Nauchnyye informatsii*, N 58, 103–106 (1986).
4. Sukhov P. P., Chaychuk R. A. Svetodiodnyy etalon yarkosti. *Novaya tekhnika v astronomii*, 20–23 (1984).

П. П. Сухов¹, В. П. Епишев², К. П. Сухов¹, Г. Ф. Карпенко¹, И. И. Мотрунич²

¹Науково-дослідний інститут «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова, Одеса

²Лабораторія космічних досліджень Ужгородського національного університету, Ужгород

РЕЗУЛЬТАТИ КОМПЛЕКСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ НА ОРБІТІ ГСС «SBIRS-GEO-2»

Нове покоління супутників серії SBIRS системи раннього попередження ВПС США замінюють попередні серії DSP. В даний час з території України можна спостерігати кілька

ГСС-супутників серії DSP і один «SBIRS-Geo-2». За два роки спостережень за двома супутниками було отримано понад 30 кривих блиску у фотометричній системі B, V, R . В результаті комплексних фотометричних і координатних досліджень запропоновано модель поведінки на орбіті «SBIRS-Geo-2» в порівнянні з поведінкою на орбіті супутника DSP. Супутники DSP забезпечують моніторинг земної поверхні до широт 83° з періодом 50 с. Кількість супутників серії DSP має бути до восьми. Для контролю всієї поверхні Землі, зокрема полярних регіонів, з 15–16-с інтервалом досить мати на геостационарній орбіті чотири супутники серії SBIRS, розташованих через 90° уздовж екватора. Такі висновки були зроблені на основі аналізу фотометричних і координатних спостережень з використанням моделювання динаміки їх поведінки на орбіті.

Ключові слова: геостационарний супутник, крива блиску, «SBIRS-Geo», DSP, фазовий кут.

P. P. Sukhov¹, V. P. Epishev², K. P. Sukhov¹, G. F. Karpenko¹, I. I. Motrunich²

¹Astronomical Observatory of I. I. Mechnikov National University of Odessa, Odessa

²Laboratory for Space Research at Uzhgorod National University

THE RESULTS OF COMPLEX RESEARCH OF GSS SBIRS-GEO 2 BEHAVIOR IN THE ORBIT

The new generation of geosynchronous satellites SBIRS of US Air Force early warning system series (Satellite Early Warning System) replaced the previous DSP-satellite series (Defense Support Program). Currently from the territory of Ukraine, several GSS of DSP series and one SBIRS-Geo 2 are available to observation. During two years of observations, we have received and analyzed for two satellites more than 30 light curves in B, V, R photometric system. As a result of complex research, we propose a model of SBIRS-Geo 2 orbital behavior compared with the same one of the DSP-satellite. To control the entire surface of the Earth with 15–16 sec interval, including the polar regions, 4 SBIRS satellites located every 90° along the equator are enough in GEO orbit. Since DSP-satellites provide the coverage of the Earth's surface to 83° latitudes with a period of 50 sec, DSP-satellites should be 8. All the conclusions were made based on an analysis of photometric and coordinate observations using the simulation of the dynamics of their orbital behavior.

Keywords: geostationary satellite, photometry, light curve, SBIRS-Geo 2, DSP, phase angle.