МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ.
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сухов Петро Петрович

УДК 528.8; 523.14

ОСОБЛИВОСТІ ФОТОМЕТРІЇ ВИБРАНИХ ГЕОСТАЦІОНАРНИХ СУПУТНИКІВ НА МАЛИХ ФАЗОВИХ КУТАХ

05.07.12 - Дистанційні аерокосмічні дослідження

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в НДІ „Астрономічна обсерваторія” Одеського національного університету імені І.І.Мечникова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор **Прокоф’єва-Михайловська Валентина Володимирівна,** Науково-дослідний інститут «Кримська астрофізична обсерваторія», провідний науковий співробітник.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор **Чурюмов Клим Іванович,** член-кор. НАН України, Київський національний університет імені Т.Шевченка, головний науковий співробітник;

кандидат фізико-математичних наук **Величко Федір Петрович,** старший науковий співробітник Науково-дослідний інститут астрономії Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, провідний науковий співробітник.

Захист відбудеться 24 квітня 2013 року о 16 ^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К26.062.13 в Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1, корпус № 3, ауд.506, кафедра аерокосмічної геодезії.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058 м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1, корпус №8.

Автореферат розісланий „ ” березня 2013р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради К26.062.13
доцент, кандидат фізико-математичних наук Л.С. Чубко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Важливими і перспективними напрямами є спостереження за функціонуючими геостаціонарними супутниками (ГСС) та їх ототожнення на основі комплексного аналізу координатної і фотометричної інформації. Мета спостережень – каталогізація активних, пасивних космічних апаратів (КА), фрагментів космічного сміття, ототожнення невідомих КА, прогнозування, моделювання ситуації на різних висотах навколоземного космічного простору (НКП). Фотометрія КА дозволяє визначити фізичні характеристики КА на основі відбитого та розсіяного світла поверхнею штучних супутників Землі (ШСЗ), пояснює поведінку супутника на орбіті, особливо при умовах відсутності з ним зв'язку. Робота присвячена визначенню і дослідженню фотометричних і динамічних характеристик різнотипних геостаціонарних супутників за «короткими» фотометричними рядами спостережень на ділянці входу та виходу ГСС із земної тіні.

Актуальність теми. На початок 2012 р., за даними Служби контролю космічного простору США, на всіх навколоземних орбітах каталогізовано 16117 КА. З них тільки близько 6% є «активними», тобто працюючими. Геостаціонарна орбіта (ГСО) є найпривабливішою для вирішення військових, навігаційних, комерційних, наукових та інших задач. Близько 80% від загального числа «активних» КА дислоковані на ГСО. Щорічно на ГСО додається два-три десятки нових КА і велика кількість уламків супутників, що зруйнувалися з різних причин. При маневрах, передислокації активних ГСС військового призначення необхідно проводити їхню ідентифікацію, тобто визначати державну приналежність, функціональне призначення, тип об'єкта. Через високу заселеність ГСО ідентифікація КА за орбітальними параметрами не завжди є однозначною. У цьому випадку фотометрична інформація про КА є важливою для ідентифікації.

Вперше, в 60-і роки 20 століття, на можливість отримання фізичних характеристик поверхні КА на малих фазових кутах вказав академік В.Г. Фесенков і його учень О.В. Діденко. Але дотепер є всього декілька робіт в цьому напрямі.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дослідження по темі дисертаційної роботи пов'язано з низкою наукових тем:

НДР між АО ОНУ і НКАУ «Інтерферометр-ОДУ-04». Частина загальнодержавної Національної космічної програми України 2003 – 2007 рр.;

НДР «Інтерферометр-ОДУ-05. Частина загальнодержавної Національної космічної програми України 2003-2007 рр.;

у рамках НДР між АО ОНУ і НКАУ: «Спостереження» за 2005-2006 рр.;

держбюджетною темою № 365 «Дослідження вільного руху ШСЗ та астероїдів і екологічних проблем навколоземного простору». 2006-2008 рр.;

у рамках НДР N 433 «Дослідження вільного руху ШСЗ та астероїдів і екологічних проблем навколоземного простору». 2009-2011 рр.

У цих роботах здобувач був відповідальним виконавцем, виконавцем.

Мета і завдання дослідження.

– Показати можливість застосування методу «коротких» реалізацій на малих фазових кутах ГСС для отримання деяких фотометричних і динамічних характеристик ГСС.

– Зробити аналіз фотометричних і динамічних характеристик ГСС із метою пояснення їхнього поводження на орбіті; штатний, не штатний режим роботи.

– Складання фотометричної Бази даних (БД) про ГСС.

Об'єкт дослідження. Штучні супутники Землі.

Предмет дослідження. Фотометричні і динамічні характеристики супутників, розташованих на геостаціонарній орбіті.

Методи дослідження. Астрофізичний метод фотометрії, що дозволяє дистанційно, на основі аналізу відбитого і розсіяного сонячного світла, знайти характеристики відбиваючої поверхні КА, визначити динаміку КА на геостаціонарній орбіті. Комп'ютерне моделювання, факторний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

– проведено порівняння деяких динамічних характеристик ГСС, отриманих в оптичному діапазоні і при радіолокації з наддовгою базою (РНДБ), обґрунтована перспективність цього напрямку дослідження;

– використовуючи високоточні фотометричні спостереження в широкосмуговій B, V, R фотометричній системі Джонсона, вперше отримані фотометричні характеристики ГСС з новими перспективними космічними платформами сімейств: «Eurostar 3000» і «Eurostar 3000s», Geobus «Italsat-3000».

Обґрунтована:

– можливість отримання фотометричних характеристик КА на короткому тимчасовому інтервалі при малих фазових кутах для ідентифікації ГСС;

– показано, що момент часу, коли ГСС має малі фазові кути, є найбільш спр ятливим та інформативним для визначення орієнтації КА в просторі і пояснення його поводження на орбіті.

Удосконалено:

– алгоритм визначення фотометричних та динамічних характеристик ГСС на малих фазових кутах.

Практичне значення отриманих результатів.

– На основі аналізу кривих блиску визначена вірогідна причина позаштатної (аварійної) роботи ГСС «Cosmos 2397». Результати аналізу кривих блиску супутника «Cosmos 2397» були надані виробникові даного КА – Науково-виробничому об’єднанню ім. Лавочкіна (Москва).
– Описаний характер відображення і динаміка руху на орбіті ГСС нового покоління «Інтелсат 10-02» із платформою «Eurostar 3000». Аналіз кривих блиску в B, V, R смугах показав, що даний апарат працює в штатному режимі.
– На прикладі трьох типів космічних комунікаційних платформ показано, що ефективні площі відбиття однотипних ГСС мають близькі значення при обліку тимчасових чинників, що впливають на зміну коефіцієнта спектрального відображення. Аналогічно і для зоряних величин, приведених до стандартної відстані.
– Прикладне значення даної роботи полягає в тому, що спосіб здобуття фотометричних характеристик різних класів ГСС на короткому часовому інтервалі можна використовувати для створення некоординатного каталогу як доповнення до каталогу елементів орбіт ГСС, що полегшить ототожнення КА при контролі навколоземного космічного простору.
– Сформована і підтримується інформаційна база даних для більше ніж 55 комунікаційних, військових КА, що включає орбітальні параметри, динамічні, оптичні характеристики ГСС, для цілей ідентифікації.
– Отримані дані були використані зацікавленими відомствами України та Росії: Національним космічним агентством України, Службою контролю і аналізу космічної обстановки України, Харківським військовим університетом, КБ «Південне», Центром контролю космічного простору Росії, Науково-виробничим об’єднанням ім. Лавочкіна (Москва).

Особистий внесок автора. В роботах [1-2, 5-10] автор брав рівноправну участь в постановці та рішенні задач. Роботи [3-4] виконані автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповіда-

лися на 8-ми наукових конференціях.

1. Міжнародний науковий семінар «Спостереження штучних супутників Землі і космічного сміття». ЛНУ ім. І. Франка, 4-6 жовтня, 2004, Львів.
2. Всероссийская астрономическая конференция ВАК-2004, 3 -10 июня 2004, Москва.
3. Fourth European Conference on Space Debris, ESA, April 18-20, 2005, Darmstadt, Germany.
4. Sixth US\Russian space surveillance workshop, August 22-26, 2005, St-Petersburg, Pulkovo.
5. International conference «Enlargement of collaboration in ground-based astronomical research in countries, studies of the near-Earth and small bodies of the solar system», Sept. 23-28, 2006, Nikolaev, Ukraine.
6. Международная конференция «Околоземная астрономия 2009», 22-26 августа, 2009, ИНАСАН, Казань.
7. Международная конференция «Околоземная астрономия 2011», 5-10 сентября, 2011, Красноярск.
8. International conference «Astronomical Research: from Near-Earth Space to the Galaxy”, Sept. 26-29, 2011, Nikolaev.

На науковому семінарі дистанційних аерокосмічних досліджень Національного авіаційного університету, 2012 р. (Київ). На науковому семінарі кафедри астрономії ОНУ ім. І.І. Мечникова та НДІ «Астрономічна обсерваторія» ОНУ ім. І.І. Мечникова 2012-2013 р. (Одеса).

<u>Публікації.</u> По темі дисертації опубліковано 10 робіт. З них 3 в матеріалах конференцій, 6 статей в спеціалізованих журналах, 1 в монографії.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з введення, чотирьох розділів, висновку, списку цитованої літератури Tj /R9 12.88 Tf 0.0000 Tw 0.0000 Tc 0.0000 Tz 0.0000 Tr 0.0000 Ts 100 Tl 0 Tq 0.0000 0.0000 0.0000 rg 0.0000 0.0000 0.0000 RG 1 w 0 J 0 j 0 w 0 M 0 d 0 ri 0 i 0 gs /GS1 gs

світла від поверхні КА. Описана класифікація КА за функціональним призначенням, за мірою активності, за орбітальним рухом. Приведені способи ідентифікації об'єктів: описаний склад ГСС, типи комунікаційних платформ провідних світових виробників. Показані цілі контролю ОКП. Вони такі.

- Стеження за всіма КА, що знаходяться в навколоземному космічному просторі, і запобігання космічним аваріям.
- Ототожнення і визначення функціонального призначення невідомого КА, його державної приналежності на основі координатних і некоординатних спостережень. Виявлення передислокацій, маневрів активних ГСС військового призначення.

$$\frac{\int R(\lambda)\,\lambda\,d\lambda}{\int R(\lambda)\,d\lambda}.$$

<u>В третьому розділі</u> описана структурна схема створеного програмного забезпечення (ПЗ) обробки фотометричних спостережень. Дане ПЗ виконує стандартизацію спостережень. Обчислення блиску, ефективної площі відбиття, спектрального коефіцієнта відбиття приводяться на фазовий кут $\psi = 0^0$. В цей час об'єкт знаходиться в повній фазі, освітлення максимальне, тобто він повернутий до спостерігача всією площею.

Проводячи процедуру інтерпретації ділянки дифузної складової, запропонованої в роботі [11], на нульовий фазовий кут, можна обчислити відповідне значення $(S\gamma_\lambda)_0$ для нульової фази.

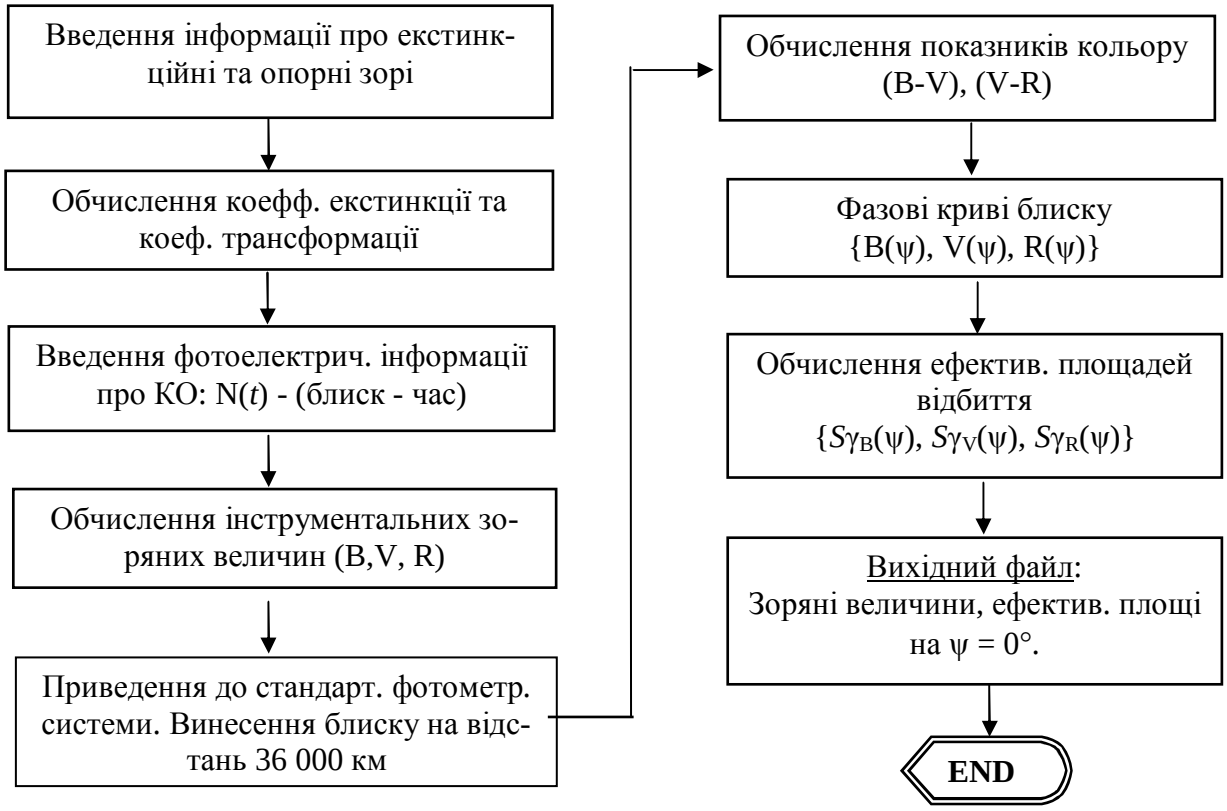

Рис. 3.3. Структурна схема програмного забезпечення обробки фотометричних спостережень.

ПЗ складається з дев'яти підпрограм і забезпечує наступну послідовність обробки спостережень. Обчислення інструментальних зоряних величин → Виведення блиску КА за атмосферу та приведення блиску КА до стандартної фотометричної системи Джонсона → Приведення блиску КА на відстань 36 тис. км. → Обчислення фазових кутів для всіх моментів спостереження і побудова фазової кривої блиску → Обчислення ефективних площ відбиття для всіх спо-

стережуваних значень фазових кутів → Приведення блиску і ефективних площ відбиття до фазових кутів $\psi = 0°$.

Для ідентифікації і пояснення поведінки КА на орбіті використовують такі фотометричні характеристики.

Ефективна площа відбиття ($S\gamma_\lambda$), фазовий коефіцієнт (β), період обертання (*P*), лінійні розміри КА, орієнтація КА у просторі, що визначається вектором нормалі до поверхні КА. *Xn, Yn, Zn* – компоненти вектора.

Як додаткові характеристики можна використовувати: показник кольору (*B-V, V-R*), спектральні фазові коефіцієнти (β_λ), спектральний коефіцієнт відбиття (γ_λ), зоряну величину *(m)*, приведену до стандартної відстані і до фазового кута $\psi = 0°$.

Поділ характеристик на основні і додаткові є умовним і залежить від апріорної інформації про КА і мети спостережень.

У роботі основна увага надана визначенню ефективної площі відбиття – $S\gamma_\lambda$, яка в загальному випадку носить характер вірогідності, але є однією з головних характеристик КА. Від точності обчислення її залежать інші характеристики.

Блиск супутника можна виразити формулою:

$$m_\lambda = m_\lambda^\Theta - 2{,}5\lg\left[\frac{S\gamma_\lambda F(\psi)}{d^2}\right] \qquad (1)$$

де: m_λ^Θ – зоряна величина Сонця у відповідному спектральному діапазоні; *S* – видима спостерігачем поверхня КА освітлена Сонцем; γ_λ – спектральний коефіцієнт відбиття; $S\gamma_\lambda$ – ефективна площа відбиття; $F(\psi)$ – фазова функція; ψ – супутникоцентричний фазовий кут; *d* – топоцентрична відстань до об'єкта. У цій формулі не враховане підсвічування від Землі і Місяця, тому що їхній внесок < 2% сумарного блиску КА [11]. Перехід до стандартної відстані на 36 000 км розраховувався за формулою: $\Delta m = 5\lg(R/d)$,
де: *d* – топоцентрична відстань; *R* – стандартна відстань = 36000 км.

$S\gamma_\lambda$ визначається так: $$S\gamma_\lambda = d^2 \cdot 10^{\frac{m_\lambda^\Theta - m_\lambda}{2.5}} \cdot \sec\psi \ . \qquad (2)$$

У разі дзеркальних відблисків, що з'являються за певних умов, проводилося згладжування кривої з використанням фазової функції моделі КА у вигляді пластини (сфери) з дифузним ламбертівськім розсіюванням.

Алгоритм обчислення γ_λ для об'єктів з відомою площею супутника – *S* був перевірений обчисленням максимального розміру КА і порівнянням його з відомим розміром. Як видно з таблиці 1, відоме значення – $\rho_{publish}$ і обчислене – ρ близькі. Незначна різниця між ними обумовлена тим, що у пресі можуть приводитися недостатньо точні значення розмірів апарату, або не враховується площа самого апарату з корисним навантаженням.

При відомій площі *S* з кривої блиску можна визначити спектральний коефіцієнт відбиття. З формули (2) одержимо:

$$\gamma_\lambda = \frac{d^2}{S} 10^{\frac{m_\lambda^\Theta - m_\lambda}{2.5}} \qquad (3)$$

У формулі (3) підлягає визначенню зоряна величина m_λ, яка одержана із спостережень як зоряна величина даного спектрального діапазону і приведена на фазовий кут $\psi = 0^0$.

Орієнтація супутника у просторі на момент спостереження визначається вектором нормалі до поверхні КА, формуючої спалах в екваторіальній супутникоцентричній системі координат. Компоненти вектора нормалі – *Xn, Yn, Zn*. Вісь *X* паралельна небесному екватору і направлена в точку весняного рівнодення. Вісь *Y* направлена до центра Землі. Вісь *Z* – в полюс світу і паралельна осі обертання Землі. Вектор нормалі до поверхні, що відбиває, визначався за методом В.П. Єпішева [12].

Проведено аналіз динамічних і фотометричних характеристик комунікаційних ГСС – “Arabsat-2B”, “Intelsat-802”, “Intelsat 10-02”, «Eutelsat W3A», військових – “USA-164”(Milstar-2), “Cosmos-2397”, “Advanced Orion”, „Sicral”, та ін. Запропоновано можливу причину аварійного стану «Cosmos-2397». Відносно осі *Y* відбувається обертання об'єкта з періодом 18 хвилин, що описує конус з тілесним кутом близько 5^0, що викликають зміну реєстрованого блиску (в основному від сонячних батарей) амплітудою поблизу 2^m.0 Вірогідно, супутник не вдалося зупинити і стабілізувати від обертання навколо осі *Y*. Проведений аналіз штатної роботи ГСС «Інтелсат 10-02» впродовж його функціонування в 2010-2011 рр.

Оскільки квантові флуктуації світлового потоку підлягають нормальному розподілу, то середньоквадратична похибка σ визначалася за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (n - n_{cp})^2}{n(n-1)}}$$

Таблиця 1. Фотометричні характеристики ГСС. (Позначення вище в тексті)

Obj. Name, Obs. Date	Sp	λ sub-point	σ_{mag}	$\rho_{publish}$ [m]	ρ [m]	γ_λ $\psi = 0°$ ±0.05	$(S\gamma_\lambda)_0$ [m^2] ±1.0
Arabsat 2B, /96063A 10.10.2005	V	30°.5 E	0.03	25	24.2	0.17	8.38
	B		0.03		23.8	0.10	4.99
USA-164, /02001A 21.07.2006	V	3°.9 E	0.03	Unknown	25.6	0.18	7.94
	B		0.03		25.0	0.18	7.98
Cosmos 2397 /03015A 12.09.2004	Инт.	2°.3 W	0.002	Unknown	9.8	0.1	1.29
Intelsat 802, /97031A 05.10.2005	V	32°.9 E	0.03	25	25.9	0.22	11.85
	B		0.03		25.2	0.21	11.37
Intelsat-1002 /2004022A	B	359^0 W	0.03	45	46.1	0.18	17.58
	V		0.01		47.4	0.34	32.44
	R		0.02		46.1	0.22	20.26
Eutelsat W3A / 2004 008A 26.10 11	B	7^0 E	0.05	35	36.3	0.23	12.76
	V		0.04		36.7	0.13	7.13
	R		0.05		36.61	0.14	7.79

Розрахований вплив похибок при визначенні атмосферного поглинання при редукції кривої блиску до стандартної системи на обчислення ефективної площі відбиття, спектрального коефіцієнта відбиття і розмірів КА. Сформульовані вимоги, що пред'являються до фотометричних спостережень.

Проведено порівняння характеристик, отриманих по декількох ГСС в радіо -і оптичному діапазоні під час міжнародних спільних сеансів. Показано, що періоди обертання довкола центра мас в обох діапазонах близькі. Для коректного порівняння останніх параметрів в майбутньому слід проводити калібрування спостережень радіолокації.

<u>У розділі 4</u> описані особливості спостережень на границі земної тіні.

При спостереженнях ГСС на малих фазових кутах за коротший час можна одержати достовірнішу інформацію про відбивні і геометричні характеристики

ГСС, необхідні для ототожнення КА, для аналізу поведінки КА на орбіті. Переваги спостережень на малих фазових кутах поблизу рівнодень обумовлені такими чинниками:

- при малих фазових кутах блиск КА збільшується на декілька зоряних величин і є максимальним унаслідок квазідзеркального відбиття від поверхні КА;
- для КА з відомими розмірами можна з достатньою точністю визначити його спектральні коефіцієнти відбиття;
- за дзеркальними спалахами можна визначити орієнтацію ГСС і пояснити динаміку поведінки ГСС у просторі (штатний, позаштатний режим);
- можливо визначити наявність на платформі «незадекларованого» корисного навантаження у вигляді телескопів, сферичних, параболічних антен та інших приладів. Наявність такого корисного навантаження робить помітний внесок у спектральні, відбивні характеристики ГСС.

Розглянуто три моделі земної тіні: конусоподібна, конусоподібна з урахуванням земної рефракції і циліндрична. При порівнянні спостережних моментів часу входу, виходу ГСС із тіні з розрахунковими для трьох моделей тіні не знайдено істотної відмінності між цими моделями. Можлива причина: обмежена чутливість реєстратора світла, обмежені можливості 50-см телескопа по проникаючій здатності.

Розрахована максимальна і мінімальна тривалість перебування екваторіального ГСС в тіні Землі в ночі, близькі до рівнодень. Вона дорівнює 68 хвилинам і 8 хвилинам. Дати максимальних спалахів екваторіальних ГСС для координат пункту спостереження Маяки припадають на 3 березня і 11 жовтня, що підтверджене спостереженнями. Обчислені мінімальні і максимальні фазові кути, коли екваторіальні ГСС можуть входити в тінь Землі поблизу дат рівнодень. Вони дорівнюють відповідно $13^0.6$ і 16^0.

На основі спостережного матеріалу, отриманого протягом 2010-2012 рр., після виходу з тіні Землі ГСС «Intelsat 10-02», проведений аналіз поведінки супутника на орбіті. Обчислені його спектральні коефіцієнти відбиття – γ_λ і ефективна площа – $S\gamma_\lambda$. Для B фільтра: $\gamma_\lambda = 0.18\pm0.02$, $S\gamma_\lambda = 17.58\pm1.0$ м^2. Для V фільтра: $\gamma_\lambda = 0.34\pm0.02$, $S\gamma_\lambda = 32.44\pm1.0$ м^2. Для R фільтра: $\gamma_\lambda = 0.22 \pm0.02$, $S\gamma_\lambda = 20.26\pm1.0$ м^2.

Визначені ефективні площі відбиття декількох однотипних комунікаційних, активних ГСС з платформою «Eurostar 3000» і супутників військового призначення з платформою «Eurostar 3000S» і «Geobus (Italsat-3000)».

На прикладі ГСС «Intelsat 10-02» і «Sicral-1» показано, що коректне використання методу «коротких реалізацій» на малих фазових кутах до 15^0 дає значення $S\gamma_\lambda$, практично однакові з обчисленими на тривалих інтервалах фазових кутів (більше 40^0). Це підтверджує надійність способу «коротких реалізацій» на малих фазових кутах.

У таблиці 2 приведені характеристики для платформ, отримані за спостереженнями в Маяках та в Словаччині.

Таблиця 2. Ефективні площі ГСС для трьох типів платформ.

Type platform	SP	γ_λ	$S\gamma_\lambda$, м^2 ψ =0°
Eurostar 3000	B	0.18 ±0.02	17.58 ± 1.00
	V	0.34 ±0.02	32.44 ± 1.00
	R	0.22 ±0.02	20.26 ± 1.00
Eurostar 3000S	B	0.14 ± 0.02	11.86 ± 0.50
	V	0.11 ± 0.02	9.74 ± 0.50
	R	0.12 ± 0.02	10.80 ± 0.50
GeoBus (Italsat-3000)	B	0.12 ± 0.05	5.41 ± 1.60
	V	0.12 ± 0.05	5.17 ± 1.60
	R	0.14 ± 0.05	6.22 ± 1.60

З таблиці 2 видно, що величини $S\gamma_\lambda$ і γ_λ у військових супутників «Skynet» (платформа «Eurostar 3000S») і «Sicral» (GeoBus Italsat-3000) у кілька разів менші, ніж у комунікаційних супутників із платформою «Eurostar 3000». Це логічно, оскільки для військових супутників можливість виявлення має бути меншою.

Основними характеристиками для ототожнення КА, за фотометричними спостереженнями є наступні: ефективна площа відбиття – $S\gamma_\lambda$, період обертання – P, фазовий коефіцієнт – β_λ. Перші дві величини способом «коротких реалізацій» на малих фазових кутах можна визначити. Третю характеристику β_λ, – можливо визначити, якщо одержати фазову криву блиску в діапазоні зміни фазових кутів $\geq 40^0$ до або після виходу ГСС із тіні Землі.

У висновках сформульовано основні результати роботи.

ВИСНОВКИ

- Уперше проведено порівняння динамічних характеристик деяких ГСС, отриманих в оптичному діапазоні та радіодіапазоні. Отримано близькі результати.

- Уперше на прикладі трьох різнотипних платформ: „Eurostar 3000”, „Eurostar 3000S” та „GeoBus (Italsat-3000)” показана можливість застосування способу «коротких» часових рядів на малих фазових кутах до 15^0 для визначення ефективної площі відображення однотипних ГСС. При інтерполяції кривих блиску однотипних комунікаційних ГСС, що мають дифузну складову, на фазовий кут $\psi = 0$, ефективні площі мають близькі значення. Аналогічно і зоряні величини для однотипних КА мають близькі значення.
- На підставі результатів фотометрії проведений аналіз динамічного поводження декількох ГСС на орбіті. Визначені період обертання КА навколо центра мас, орієнтація супутників у просторі, динаміка обертання. Запропоновано можливу причину аварійного стану «Cosmos 2397».
- Розроблено ПЗ для визначення динамічних, оптичних і фізичних характеристик ГСС. ПЗ забезпечує точність, достатню для надійної інтерпретації результатів спостережень.
- Розглянуто три моделі земної тіні: циліндрична, конусоподібна, конусоподібна + земна рефракція. При порівнянні розрахункових даних зі спостережними, показано, що істотного розходження між трьома моделями не спостерігається.
- На основі великого спостережного матеріалу створена стандартизована фотометрична База Даних (БД). Вона включає динамічні, фотометричні і фізичні характеристики більше 55 ГСС. БД створена за календарним принципом і по назвах об'єктів. По кількості ГСС, що містяться в БД, вона є другою в СНД після фотометричної БД Алмати (Казахстан).
- Спостереження на «коротких часових інтервалах» у багатьох випадках можуть істотно скоротити час, необхідний для ідентифікації КА.

Публікації за темою дисертації

1. ***Сухов П.П.,*** Чайчук Р.А. Светодиодный эталон яркости //Новая техника в астрономии. АН СССР, Ленинград, 1984. – С. 20-23.
2. ***Сухов П.П.,*** Юханов Д.А. Наблюдения высокоорбитальных космических объектов в Одесской астрономической обсерватории //Кинематика и физика небесных тел. - 2005. Т.21, N2. – С. 149-155.
3. ***Sukhov P.*** Observation of GEO-objects in Odessa Astronomical Observatory // Proceedings of the Fourth European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, 18-20 April, 2005 (ESA SR-587, August 2005), Editor: D. Danesy,

ESA Publication Division, ESTEC, Postbus 229, 2200 AG Noordwijk, Netherl. – P. 631-632.

4. ***Sukhov P.*** Observations of HEO in Odessa astronomical observatory // Proceedings of Sixth US\Russian space surveillance workshop 22-26 August, 2005. Ed. By P. Kenneth Seidelmann. SPb.: VVM. Co. Ltd., 2005. – P. 316-318.
5. ***Sukhov P.P.,*** Movchan A.I., Kochkin N.I., Korniychuk L.V., Strakhova S.L., Epishev V.P. Some results of the photometry of GEO objects // Odessa Astronomical Publications", 2004, V17. – P. 99-102.
6. Епишев В.П., Карпенко Г.Ф., ***Сухов П.П.,*** Клабукова А.В., Волков С.К. Определение эффективной площади отражения и размера некоторых геостационарных спутников по кривой блеска // Околоземная астрономия 2009. Сборник трудов конференции, Казань, 22-26 августа 2009. ГЕОС, 2010. – С. 87-92.
7. ***Sukhov P.P***, Karpenko G.F., Epishev V.P., Motrunych I.I. «Photometrical research of GSS «Intelsat 10-02» // Odessa Astronomical Publications, 2009/2010, V. 22. – P. 55-59.
8. 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, V. 22. – P. 25-27.
9. Епишев В.П., Карпенко Г.Ф., ***Сухов П.П***., Клабукова А.В., Волков С.К., Результаты определения геометрических параметров геостационарных спутников по их фотометрическим наблюдениям на границе земной тени // Науковий вісник Ужгород. університету. Серія Фізика. № 27, 2010. – С. 112-117.
10. Абраменко А.Н., Карпенко Г.Ф., Молотов И.Е., Рублевский А.Н., Прокофьева-Михайловская В.В., ***Сухов П.П***., Стрыгин Н.З. // Развитие электронных методов наблюдений астрономических объектов и искусственных спутников Земли. Симферополь, 2011. – С.94-110.

Цитована література

11. Северный С.А., Смирнов М. А., Багров А.В. «Определение формы искусственного спутника Земли по фотометрическим наблюдениям». // Научные информации Астрон. Совета АН СССР. М.:1986, вып.58, – С. 152-161.
12. Епишев В.П. «Определение ориентации ИНТ в пространстве по их зеркальному отражению». // Астрометрия и астрофизика АН УССР, 1983, – С. 89-93.

АНОТАЦІЯ

Сухов П.П. Особливості фотометрії вибраних геостаціонарних супутників на малих фазових кутах. Рукопис. Дисертація на здобуття наукового

ступеня кандидата фізико-математичних наук за фахом 05.07.12 –дистанційні аерокосмічні дослідження. Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова. Одеса, 2013.

Проаналізовано динамічне поводження й орієнтацію на орбіті декількох ГСС різних класів. Запропоновано ймовірну причину позаштатної роботи ГСС «Cosmos 2397». На основі спостережень 2010-2012 рр. показана штатна робота комунікаційного ГСС нового покоління «Intelsat 10-02».

Проведено редукцію фотометричних спостережень, отриманих у B,V, R спектральних смугах у стандартну широкосмугову систему Джонсона. Зроблено аналіз похибок, що впливають на точність визначення характеристик ГСС.

Описано алгоритм одержання ефективної площі відображення способом «коротких» фотометричних рядів на малих фазових кутах ГСС для однотипних супутників із трьома різними платформами. Порівняння ефективних площ відображення ГСС « Intelsat 10-02» і «Sicral-1», отриманих цим способом і традиційним – по «довгих» рядах спостережень, показує їхню рівність у межах похибок обчислень. Застосовуючи цей спосіб, можна істотно скоротити час, необхідний для ідентифікації ГСС.

Зроблено аналіз трьох моделей земної тіні на відстані ГСО: конусоподібна, конусоподібна + атмосферна рефракція і циліндрична. При порівнянні розрахункових даних часів входу, виходу з тіні Землі зі спостережним часом не виявлено значного розходження між ними.

За спостереженнями у 2004- 2012 рр. в Одесі та Словаччині складена фотометрична БД більше 55 ГСС, що містить: криві блиску, показники кольору, динамічні, фотометричні характеристики ГСС.

Ключові слова: Багатоколірна фотометрія, геостаціонарний супутник, ефективна площа відбиття, фазовий кут, ідентифікація ГСС.

АННОТАЦИЯ

Сухов П.П. Особенности фотометрии избранных геостационарных спутников на малых фазовых углах. Рукопись. Диссертация на соискание научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.07.12 – дистанционные аэрокосмические исследования. Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова. Одесса, 2013.

Проанализировано динамическое поведение и ориентация на орбите нескольких ГСС разных классов. Предложена вероятная причина внештатной

Проведена редукция фотометрических наблюдений, полученных в B, V, R спектральных полосах в стандартную широкополосную систему Джонсона. Сделан анализ погрешностей, влияющих на точность определения характеристик ГСС.

Описан алгоритм получения эффективной площади отражения способом «коротких» фотометрических рядов на малых фазовых углах ГСС для однотипных спутников с тремя разными платформами. Сравнение эффективных площадей отражения ГСС ««Intelsat 10-02» и «Sicral» полученных этим способом и традиционным – по «длинным» рядам наблюдений, показывает их равенство в пределах погрешностей вычислений. Показаны преимущества способа «коротких» кривых блеска. Применяя этот способ можно существенно сократить время, необходимое для идентификации ГСС.

Сделан анализ трех моделей земной тени на расстоянии ГСО: конусообразная, конусообразная + атмосферная рефракция, и цилиндрическая. При сравнении расчетных данных времен входа, выхода из тени Земли с наблюденным временем не обнаружено значительного различия между ними.

По наблюдениям с 2004- 2012 гг. в Одессе, Словакии, составлена фотометрическая БД более 55 ГСС, содержащая; кривые блеска, показатели цвета, динамические, фотометрические характеристики ГСС.

Ключевые слова: Многоцветная фотометрия, геостационарный спутник, эффективная площадь отражения, фазовый угол, идентификация ГСС.

ABSTRACT

Sukhov P.P. “Characteristic properties of the photometry of selected GSS at the small phase angles". Manuscript. Thesis of a candidate’s degree on Physics and Mathematics. Specialty 05.07.12 – a remote aerospace studies. Odessa I.I. Mechnikov National University. Odessa, 2013.

There were analyzed dynamic behavior and orientation on the orbits of the different classes several GSS. Is supposed the probable reason of the "Cosmos 2397" abnormal functioning. Using the data, that was obtained in 2010 to 2012 yy., is shown that communication GSS "Intelsat 10-02" is functioning normally mode.

The data of those observations was reduction from (B, V, R) spectral band to the

Was described the algorithm of the Efficient Reflection Area (ERA) determination by a way of the observational "short series” of GSS on the small phase angle rates for the related types of the satellites with three types of the platform. Comparing the ERA and other features for the "Intelsat 10-02" and "Sicral" GSS, obtained on this way and the traditional one, i.e. on the “long” series of the observation is shown their equality within error of the calculations. The advantages of the "short" light curves way of the GSS features determination are shown. The time of the GSS identification could be vastly reduced on this way.

Were analyzed three models of the Earth shadow: the cone-shaped, the cone-shaped with atmospheric refraction account and the cylindrical. Comparing the calculated times of the entry to, and of the exit from the Earth shadow with observed ones is not found the significant difference between them.

On the base of the observations performed from 2004 to 2012 yy. in Odessa, and Slovakia, was formed the photometrical database contained more than 55 GSS including the light curves, the color indices, the dynamic, photometrical and geometric features of these.

The Keywords: multicolored photometrical, geostationary satellite, identification GSS, efficient area of the reflection, phase angle.