

УДК 521.9 (085)

Л. М. Кізюн¹, В. У. Клімик²

¹Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України
03680 Київ МСП, вул. Академіка Заболотного 27

²Лабораторія космічних досліджень Ужгородського національного університету
88000 Ужгород, вул. Далека 2а

**Каталог положень і елементів орбіт
геосинхронних космічних об'єктів ГОСК-2002.
Прогнозування руху некерованих геостационарних
спутників для ототожнення результатів спостережень**

Описано каталог ГОСК-2002 (каталог геосинхронних об'єктів: Київ; <http://www.mao.kiev.ua>), що містить топоцентричні екваторіальні координати і орбітальні елементи геосинхронних супутників, одержаних фотографічним методом в Головній астрономічній обсерваторії НАН України в 2002 р. Ототожнено 30 об'єктів за 193 спостереженнями із загального числа 259 спостережень 52 об'єктів. Описана методика ототожнення некерованих геостационарних об'єктів за даними позиційних спостережень на основі використання аналітичної теорії їхнього руху і результати її застосування в Києві та Ужгороді для обчислення координат δ і t . Приводяться загальні закономірності зміни δ і t некерованих і активних супутників для Києва.

КАТАЛОГ ПОЛОЖЕНИЙ И ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТ ГЕОСИНХРОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ГОСК-2002. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ ДЛЯ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ, Кизюн Л. Н., Климик В. У. — Описан каталог ГОСК-2002 (Каталог геосинхронных объектов: Киев; <http://www.mao.kiev.ua>), содержащий топоцентрические экваториальные координаты и орбитальные элементы геосинхронных спутников, полученных фотографическим методом в Главной астрономической обсерватории НАН Украины в 2002 г. Отождествлено 30 объектов по 193 наблюдениям из общего числа 259 наблюдений 52 объектов. Описана методика отождествления неуправляемых геостационарных объектов по данным позиционных наблюдений на основе использования аналитической теории их движения и результаты ее использования в Киеве и Ужгороде для вычисления координат δ и t . Приводятся общие закономерности изменения δ и t неуправляемых и активных спутников для Киева.

GOCK-2002 CATALOGUE OF POSITIONS AND ORBITAL ELEMENTS OF THE GEOSYNCHRONOUS SPACE OBJECTS OBSERVED IN 2002. PROGNOSIS OF UNCONTROLLED GEOSTATIONARY OBJECTS MOTION FOR IDENTIFICATION OF THE SATELLITES OBSERVATIONS, by Kizyun L. M., Klimik V. U. — We describe the GOCK-2002 Catalogue (Geosynchronous Objects Catalogue: Kyiv 2002, <http://www.mao.kiev.ua>) containing the topocentric equatorial coordinates and orbital elements of geosynchronous satellites obtained by photographic method at the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2002. The results of the identification of 30 objects from 193 observations among the total 259 observations of 52 objects are presented. The method of uncontrolled geostationary objects identification on the basis of analytic theory of their motion is discussed. General character of δ and t changes are given for uncontrolled and controlled satellites observed at Kyiv station.

Фотографічні спостереження штучних супутників Землі проводились в Головній астрономічній обсерваторії Національної академії наук України на подвійному ширококутному астрографі ($D = 40$ см, $F = 2$ м), наведеним в роботах [2, 8] способом 15 і 16 лютого, 8 травня, 2 липня, 31 серпня, 1 вересня, 6 листопада 2002 р. в інтервалі довгот підсупутникових точок $28^\circ\text{E} \dots 68.6^\circ\text{E}$ та $70^\circ\text{E} \dots 82^\circ\text{E}$. Всього спостерігалось 52 об'єкти, з яких ототожнено 30 з наведеними в каталогах [6, 7], а 22 об'єкти в каталогах відсутні.

Каталог GOCK-2002 подано у вигляді таблиці, в якій наведено екваторіальні координати геосинхронних об'єктів в системі каталога PPM на епоху J2000.0, їхні назви, номери за каталогом [7], тип об'єктів, довготи підсупутникових точок, дрейфи по довготі та нахили орбіт до екватора Землі. Для неідентифікованих об'єктів при наявності більше двох спостережень наведено довготи підсупутникових точок, дрейфи по довготі, нахили орбіт до екватора, довготи висхідного вузла, аргументи перигею. Для всіх об'єктів елементи орбіт обчислювались методами, розробленими в лабораторії космічних досліджень Ужгородського національного університету [4].

Ототожнення спостережуваних об'єктів виконано шляхом порівняння обчислених елементів орбіт з даними каталогів [6, 7]. На грудень 2002 р. загальне число об'єктів в геостаціонарній зоні становило 934, з яких 323 — активні і 611 — пасивні об'єкти [7].

Ототожнення некерованих (пасивних) об'єктів ускладнюється тим, що вони спостерігаються протягом невеликого проміжку часу (найчастіше лише протягом однієї ночі) в зв'язку з їхнім великим дрейфом по довготі. Для таких спостережень похибка обчислення нахилу орбіти i може становити 1° , а дрейфу $\dot{\lambda} - 1^\circ$ за добу. Але завдяки тому, що із спостережень отримуються високоточні прямі сходження α і схилення δ об'єктів, їх можна використати при ототожненні пасивних об'єктів. Критерієм обирається умова, за якою знайдені із спостережень координати α_0, δ_0 на момент часу t відрізняються від координат α_c, δ_c найближчого каталогового об'єкта на величини $|\Delta\alpha| < 1^\circ$, $|\Delta\delta| < 0.5^\circ$. Лише в окремих випадках величина $\Delta\alpha$ може бути досить великою, зокрема, для супутників нестійких типів або після зіткнення супутника з малими уламками штучного походження. Як додаткові можна використати умови $|\Delta\dot{\lambda}| < 1^\circ$ і $|\Delta i| < 1^\circ$.

Перш за все потрібно визначити некеровані об'єкти з масиву всіх спостережень. Для цього використовувалась умова про дрейф некерованих об'єктів $|\dot{\lambda}| > 0.01^\circ$ за добу. В програмі визначення елементів орбіт [4] дрейф обчислювався як кутова швидкість руху радіуса-вектора підсупутникової точки у земній системі координат. Оскільки відстань до об'єкта

велика порівняно з радіусом Землі, то для оцінки величини дрейфу можна скористатись топоцентричним дрейфом супутника, бо відхилення оцінки топоцентричного дрейфу не перевищуватиме 15 %:

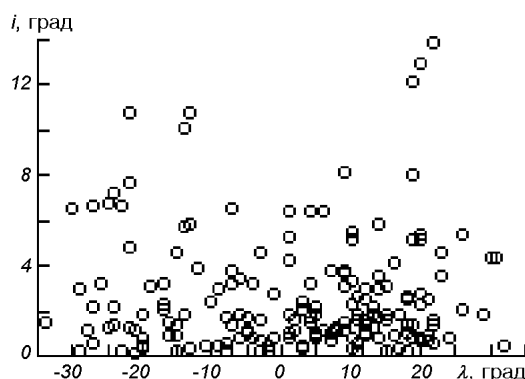
$$\dot{\lambda} \approx \frac{\alpha_2 - \alpha_1 - \omega_0(t_2 - t_1) + m \cdot 24^h}{t_2 - t_1 + n \cdot 24^h},$$

де α_1, α_2 — знайдені із спостережень прямі сходження ГС на моменти t_1, t_2 ; цілі числа m, n враховують кількість діб, що пройшла між першим і другим спостереженням; ω_0 — швидкість обертання Землі в зоряній шкалі часу ($\omega_0 = 1.0027379$ обертів за добу). При спостереженні протягом однієї ночі дрейф визначається з точністю 0.2—0.3 град/добу.

На основі аналітичної теорії руху ГС [1], що враховує збурення Місяця і Сонця, а також неоднорідність гравітаційного поля Землі, за даними каталога [5] обчислювались прямі сходження α_c , схилення δ_c , довгота підсупутникової точки λ та її дрейф $\dot{\lambda}$, нахил орбіти супутника до екватора i_c на момент спостереження. Порівнюючи обчислені величини з одержаними із спостережень за програмою знаходились супутники, що задовольняють вищенаведеному критерію та додатковим умовам.

Таким способом було проведено 178 ототожнень некерованих об'єктів, які спостерігались на довготному проміжку $-35^\circ < \lambda < 35^\circ$ в Києві протягом 1994—2001 рр. і в Ужгороді протягом 1989—2000 рр. (рис. 1). Значення нев'язок становили: $(O - C)_\alpha = -0.07^\circ \pm 0.57^\circ$; $(O - C)_\delta = 0.03^\circ \pm 0.33^\circ$. Переважна кількість точок на рис. 1 одержана за результатами спостережень, ототожнення яких раніше не проводилось [3].

Рис. 1. Нахили орбіт 178 некерованих ГС, що спостерігались в Києві протягом 1994—2001 рр. і в Ужгороді протягом 1989—2000 рр.



Розроблену методику ототожнення некерованих геостационарних об'єктів можна використовувати для прогнозування схилень та годинних кутів, необхідних для майбутніх спостережень. Методика такого прогнозування полягає в тому, що на основі аналітичної теорії руху ГС [1] обчислюються елементи орбіти супутника на момент спостережень, за якими обчислюються його ефемериди. При цьому використовуються відомі формули переходу від елементів орбіти до геоцентричних прямокутних координат, а від них — до топоцентричних координат для даного пункту спостережень і екваторіальних координат супутника.

На основі цієї методики можна зробити такі висновки. На невеликих проміжках часу, найчастіше протягом однієї ночі, коли результати впливу гравітаційного поля Місяця, Сонця і неоднорідності гравітаційного поля Землі незначні, елементи орбіти ГС змінюються несуттєво. В цьому випадку схилення геостационарного об'єкта змінюється синусоїдально з періодом 1 зоряна доба, а амплітуда зміни схилення близька за величиною до нахилу його орбіти.

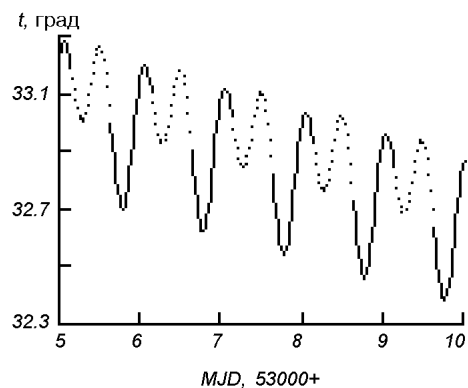


Рис. 2. Прогноз зміни годинного кута супутника 93062D (l_1) для спостережень в Києві 1—5 січня 2004 р.

В дійсності ж схилення коливається навколо якогось середнього значення, що є схиленням деякої точки «ідеальної» геостационарної орбіти. Тому на великих проміжках часу змінюється не тільки амплітуда коливань схилення ГС відповідно до зміни нахилу орбіти, але й середні значення схилення об'єкта. Так, на станції спостережень в Києві середнє значення схилення змінюється від $\delta \approx -7.3^\circ$ для годинного кута $t = 0^\circ$ до $\delta \approx -6.8^\circ$ для $t = 80^\circ$.

Зміна годинного кута з часом містить лінійну складову (тренд), що визначається швидкістю дрейфу ГС, і періодичну складову, яку можна виразити сумою двох гармонік з періодами 1 і 0.5 зоряної доби. Гармоніка з періодом 1 зоряна доба зумовлена ексцентриситетом супутника, а з періодом 0.5 зоряної доби визначається нахилом орбіти супутника. При нахилах орбіти, близьких до 0° , періодична складова зміни годинного кута є синусоїдою з періодом 1 зоряна доба. Характер зміни годинного кута з часом показано на рис. 2.

1. Багров А. В., Ерпылев Н. П., Микиша А. М. и др. Экспериментальная геодинамика: наблюдения геостационарных ИСЗ // Науч. информ. Астрон. совет АН СССР.—1991.— Вып. 69.—С. 35—51.
2. Демчик М. І., Кириченко А. Г., Кізіон Л. М. и др. Результаты спостережень і ототожнення геосинхронних космічних об'єктів // Космічна наука і технологія. Додаток.—1996.—2, № 1.—52 с.
3. Епішев В. П., Мотрунич І. І., Галас Е. Ю. та ін. Каталог положень геостационарних супутників Землі за даними спостережень в Ужгороді. — Ужгород: УЖДУ, 1996.—248 с.
4. Кириченко А. Г., Климик В. У. Метод определения оскулирующих элементов орбиты геостационарных объектов по наблюдениях с одного пункта. // Набл. искусств. небес. тел.—1994.—№ 88.—С. 36—38.
5. Сочилина А. С., Киладзе Р. И., Григорьев К. В., Вериков А. Н. Каталог орбит геостационарных спутников. — Санкт-Петербург: ИТА РАН, 1996.—103 с.
6. Hernandez C., Jehn R. Classification of geosynchronous objects. — Darmstadt: ESA/ESOC, 2002.—Issue 4.—99 p.
7. Hernandez C., Jehn R. Classification of geosynchronous objects. — Darmstadt: ESA/ESOC, 2003.—Issue 5.—99 p.
8. Kizyun L. M., Kirichenko A. G., Rudenko S. P., et al. Catalogue GOCKU96 of positions and orbital elements of geosynchronous space objects observed in 1996. // Космічна наука і технологія. Додаток.—1998.—4, № 1.—52 p.

Надійшла до редакції 25.11.03