

УДК: 520.826

Єпішев В.П.¹, Мотрунич І.І.¹, Найбауер І.Ф.¹, Кудак В.І.¹, Періг В.М.¹,
Москаленко С.С.², Сухов П.П.³, Сухов К.П.³

¹ Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», Україна, м. Ужгород

² Центр контролю космічного простору, Україна, м. Мукачево

³ Одеський національний університет імені І.І.Мечникова, Україна, м. Одеса

ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ФОТОМЕТРИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Розглянуті можливості ідентифікації низько- та високоорбітальних космічних об'єктів (КО) на основі результатів їх комплексних (позиційних і фотометричних) спостережень. Проаналізовані критерії ототожнення невідомих космічних апаратів (КА) шляхом вивчення характеру їх поведінки на орбіті. Наведені дані досліджень окремих низько- і високоорбітальних штучних небесних тіл (ШНТ).

Ключові слова: спостереження, позиційні, фотометричні, колориметричні, поляризаційні, зміна блиску, варіації блиску, крива блиску, ототожнення, ідентифікація

Вступ

В умовах різкого збільшення кількості космічних об'єктів, виведених на навколосеземні орбіти, їх спостереження стає все більш актуальним. Один з методів спостереження КО – вимірювання їх блиску (фотометрія). Це важливий метод комплексних спостережень КО, особливо для контролю аварійних та не каталогізованих КА, про які зовсім або частково відсутня некоординатна інформація.

На основі аналізу фотометричних спостережень, для обраних КО, можна вирішувати широке коло задач: вивчати їх орбітальну поведінку, зміну просторової орієнтації, встановлювати оптичні характеристики їх поверхонь, оцінювати їх ймовірну геометричну форму, проводити їх ідентифікацію.

На практиці, для ідентифікації КА, виявлення ознак їх аварійності та ймовірної поведінки на орбіті, все частіше використовується некоординатна інформація про ці об'єкти. До некоординатної інформації по КО можна віднести фотометричну, поляризаційну та спектральну інформацію.

Проведення комплексних фотометричних та позиційних спостережень КО, з можливим залученням даних колориметричних та поляриметричних спостережень, дозволяє визначити просторову орієнтацію досліджуваного об'єкта та окремих фрагментів його поверхні не тільки у просторі, але і відносно спостерігача та площини орбіти КА [1,2].

Фахівцями національних оптичних засобів спостережень розроблені критерії ідентифікації КО, які навіть при повній відсутності про них апріорної інформації, дозволяють їх «розпізнати» з ймовірністю близько 80%.

У статті особливу увагу приділено розробці критеріїв ідентифікації КО на основі всебічного аналізу комплексних оптичних спостережень цих об'єктів.

Мета проведення комплексних спостережень КО

Мета проведення комплексних спостережень полягає у ідентифікації КА, які знаходяться на навколосеземних орбітах, на основі аналізу фотометричних та позиційних даних. В ході експерименту будуть визначатись характеристики орбітального руху КА та ймовірні для них технічний стан, геометричні форми, просторова орієнтація, стабілізація. Задача ідентифікації КА вирішується на основі комплексного підходу, з використанням даних позиційних та фотометричних (колориметричних, поляризаційних) спостережень.

Позиційні спостереження проводяться з метою визначення просторового положення КО на моменти проведення фотометричних спостережень. Фотометричні спостереження КО проводяться з метою виявлення їх цільового призначення, ймовірних конфігурацій, визначення їх поточної орієнтації та стабілізації, оптичних характеристик деталей поверхні [3]. На основі отриманих комплексних даних робляться спроби ідентифікувати досліджувані КА.

Результати позиційних спостережень та інтерпретації фотометричних даних надсилаються в Центр контролю космічного простору (ЦККП). На основі даних, які отримані національними оптичними засобами спостереження, в ЦККП поповнюються координатна і некоординатна складові головного каталогу КО та оновлюються дані зонального каталогу геостационарних КО.

Основний матеріал

Визначення фізичних та оптичних параметрів КО за результатами спостережень змін їх блиску та динамічних характеристик відноситься до так званого класу обернених задач, що не мають універсального розв'язку [3, 5]. Тому методи дослідження КО та їх ідентифікації постійно

розвиваються і вдосконалюються.

Поєднання високоточної координатної інформації з фотометричною дає можливість відслідковувати поведінку КО на орбіті, з якими, з різних причин, відсутній зв'язок або припинилося надходження спеціальної інформації, визначати їх орієнтацію, контури і форму, досліджувати оптичні характеристики поверхні і їх зміни у часі [1, 2]. У випадку фотометричних спостережень КО в інтегральному світлі коефіцієнт ототожнення зростає до 70-73%. Якщо проводити іще й колориметричні та поляриметричні спостереження, то коефіцієнт ототожнення зростає до 85-87%.

Криві зміни блиску КО, одержані за допомогою фотометрів, відображають миттєві особливості відбивання сонячного світла від різних деталей поверхні КА, які пов'язані з його просторовою орієнтацією на момент спостережень. Позиційні виміри та виміри флуктуацій блиску КО, дають можливість отримувати інформацію про форму КО, фізичні та оптичні характеристики його поверхні, динаміку обертання та орієнтацію КО у просторі [5].

Слід зазначити, що у зв'язку з досить великими амплітудами зміни блиску і швидким рухом КО по небесній сфері, фотометричні спостереження КО значно відрізняються від фотометричних спостережень зірок [4]. Тому кожне окреме спостереження КО є унікальним, так як відтворити його, внаслідок зміни зовнішніх умов, практично неможливо.

Зважаючи на вищезазначене, при вирішенні задачі ідентифікації КО виникла необхідність виготовлення спеціалізованих, так званих супутникових електрофотометрів, на базі існуючих зоряних фотометрів. Деякі з методів обробки фотометричних даних були запозичені з класичної астрофізики. Наприклад, прив'язка блиску КО приводиться до стандартних фотометричних площадок, як і у випадку досліджень змінних зір та астероїдів.

Врахування змін блиску КО, зумовлених зміною його топоцентричної відстані, атмосферної екстинкції, фазового кута відносно Сонця, додаткового підсвічування з боку Землі та Місяця, проводиться аналогічно визначенню абсолютних зоряних величин природних космічних об'єктів.

Перелічені вище причини зміни блиску КО, окрім фазової залежності, відносяться до групи зовнішніх умов, які обумовлені лише розташуванням об'єкта у просторі, станом атмосфери та астрономічними умовами, а не самим об'єктом і його орієнтацією. Врахування зазначених факторів при проведенні фотометричних спостережень – дуже важливий етап у процесі вирішення задачі ототожнення та ідентифікації КО.

Варіації блиску КО, що проявляються у шкалі абсолютних зоряних величин, зумовлені причинами, які пов'язані з формою КО, його орієнтацією, покриттям деталей його поверхні, власним та пресеційним обертанням [5]. За умови

врахування останніх ефектів, зоряна величина КО буде обумовлена фазовою залежністю розсіювання сонячного світла і величиною альbedo кожного елемента конструкції КО та степеню їх взаємозатіннення.

Два КО однакової форми, але по різному орієнтовані відносно спостерігача, мають не схожі по вигляду криві. А криві блиску двох КО різної форми в якийсь момент можуть бути схожими. Тому немає такої теорії, яка дозволила б однозначно визначати оптичні характеристики покриття КО тільки за даними отриманих значень фазових розрахунків [6].

До того ж, сучасні КА мають складну форму, яка є суперпозицією як мінімум трьох і більше основних елементів, що теж ускладнює розв'язок задачі. Ці причини спонукають шукати шляхи отримання додаткової інформації, для проведення ідентифікації того чи іншого штучного КО. Саме тому науковці ведуть постійний пошук нових критеріїв, які дозволять з більшою ймовірністю підтверджувати достовірність отриманих результатів розпізнавання КО.

Фізичні характеристики КА, які визначаються з оптичних спостережень

Фотометричні характеристики:

- 1) Ефективна площа розсіювання – $(S\gamma\lambda)$.
- 2) Спектральний коефіцієнт відбиття $(\gamma\lambda)$.
- 3) Фазовий коефіцієнт β , ($\Delta m/\text{град}$).
- 4) Колор-індекс (CI), (B-V, V-R).
- 5) Зоряна величина m , приведена до стандартної відстані і фазового кута ($\psi=0^\circ$).

Оптико-геометричні характеристики:

- 1) Лінійні розміри КА.
- 2) Домінуюча форма.

Динамічні характеристики:

- 1) Період обертання навколо центру мас, або однієї з осей КА.
- 2) Орієнтація КА у просторі.

Відомі способи ідентифікації КА

1. Традиційний, за орбітальними параметрами.
2. По зображенню КА, яке отримується за допомогою оптичних засобів спостереження з великою фокусною відстанню.
3. По зображенню КА при його проходженні через диск Місяця та Сонця у випадку радіоспостережень.
4. За допомогою спеціальних КА, які здійснюють інспекцію ШНТ на орбіті.
5. За аналізом телеметричної та радіотехнічної інформації з борту КА.
6. За набором фізичних характеристик, які характеризують кожен клас КА у радіо або оптичному діапазонах.

Критерії ідентифікації КО

У процесі розпізнавання КО використовується

максимально можливе число апробованих на практиці критеріїв ідентифікації, які визначаються на основі комплексних (позиційних, фотометричних, колориметричних і поляризаційних) спостережень:

1. *Форма та орієнтація орбіти КО у просторі.* Інформація про орбіту КО є фундаментом у процесі визначення орієнтації самого КО і часто говорить нам про основну задачу, яку він виконує. Наприклад, сонячно-синхронну орбіту в більшості випадків мають супутники, які контролюють земну поверхню у оптичному діапазоні.

2. *Значення періодів власного і прецесійного обертання КОТ та відношення між ними.* Як показує досвід, величина цього відношення є функцією конструкції супутника і розподілу маси відносно її центра, яка для окремо взятого КА зберігає постійне значення на довгих інтервалах спостережень.

3. *Орієнтація КО і її зміна з часом.* Орієнтація буває трьохвісна і одновісна, з закруткою чи без неї. Це ключовий критерій, який дає можливість не лише встановити поведінку КО на орбіті (в робочому стані чи дестабілізований), розрахувати параметри розсіювання світла елементами поверхні КА, але часто допомагає зрозуміти і мету функціонування даного апарата на орбіті.

4. *Форма КО.* Форма КО складається з набору геометричних поверхонь (диск, сфера, циліндр, конус, багатогранник), кожна з яких розсіює світло по своєму. Їх ототожнення з кривою блиску дозволяє судити про форму КА.

5. *Наявність у відбитому об'єктом світлі дзеркальної та дифузної складової, та їх співвідношення.* Визначає оптичні характеристики покрив КО, їх характерні особливості.

6. *Характер індикатрис розсіювання світла поверхнею КО.* Індикатриса розсіювання – функція, як мінімум, двох невідомих: форми поверхні об'єкта та її орієнтації по відношенню до джерела світла і спостерігача. У випадку складної форми КО, вона є функцією n -ої кількості параметрів, має надзвичайно складний аналітичний вираз і часто неоднозначний розв'язок.

7. *Величина колор-індекса фрагментів поверхні ШНТ.* Колор-індекс S – це різниця блиску космічного тіла у двох суміжних ділянках спектру. Наприклад, $S=B-V=mB-mV$ – різниця зоряних величин у синій і жовтозеленій областях спектру. У Сонця $S=0.65m$. Його зміна у бік зростання або зменшення буде характеризувати відбиваючі властивості даної поверхні. Для панелей сонячних батарей значення S близькі до нуля. Гладко відшліфовані металічні поверхні залишають його значення дуже близьким до сонячного.

8. *Залежність ступеня поляризації світла від кута його падіння на поверхню КО.* Цей критерій дає можливість ототожнити на поверхні КО одні і ті ж фрагменти, а також оцінити наявність дифузної чи дзеркальної складової у відбитому від їх поверхні світловому потоці.

9. *Моделювання кривих блиску.* Використовуючи інформацію про будову і форму поверхні сучасних КО, на основі отриманих експериментальних даних про орієнтацію і обертання супутника, розраховуються можливі криві зміни блиску досліджуваного об'єкта і співставляються із кривою, отриманою під час спостережень.

Визначення будь-якого з вказаних критеріїв ідентифікації являє собою розв'язок окремих складних задач. У випадку визначення максимальної кількості критеріїв достовірність отриманих результатів значно зростає [5, 6].

Тому вдалий розв'язок задачі ідентифікації КО за результатами його фотометричних спостережень можливий лише за умови максимального використання вищезазначених критеріїв ідентифікації.

Експеримент

Для вирішення задачі ідентифікації КА залучаються національні оптичні засоби спостереження, за допомогою яких проводяться комплексні позиційні та фотометричні спостереження.

На базі Лабораторії космічних досліджень Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет» (ДВНЗ УжНУ) створений апаратний комплекс для проведення позиційних та фотометричних спостережень КА різних типів. Основними пристроями для фотометричних спостережень за КО, які знаходяться на низьких орбітах є супутникова камера «АФУ-75» та телескоп «ТПЛ-1М». Для проведення фотометричних спостережень КА, які знаходяться на геостационарній орбіті, використовуються телескопи «Takahashi BRC-250M» та «ЧВ-400» [1].

В Астрономічній обсерваторії Одеського національного університету (АО ОНУ) фотометрія КО на геостационарній орбіті проводиться за допомогою класичного телескопу системи Касегрена «МТО-500» [2].

Нижче, на рисунках 1-13, наведені записи потоків світла відбитого (розсіяного) від поверхні окремих КО, побудовані за результатами їх фотометричних спостережень у фільтрах B, V, R (синя, жовто-зелена та червона ділянки спектру), та зроблені певні висновки (припущення) про фізичні і динамічні характеристики цих об'єктів, отримані в результаті наступного детального аналізу кривих їх блиску.

На рисунках 1-2 наведені криві блиску геостационарного КА № 1, які отримані у трьох фільтрах. Спостереження цього КА проводились у різні дати, коли він знаходився західніше України (9.83° сх.д.) – рис.1, та після його переміщення в східному напрямку у точку стояння (32.45° сх.д.) – рис.2. В новій точці стояння радіоантени КА № 1 були спрямовані до пункту спостереження, тому спостерігався максимум їх геометричних розмірів.

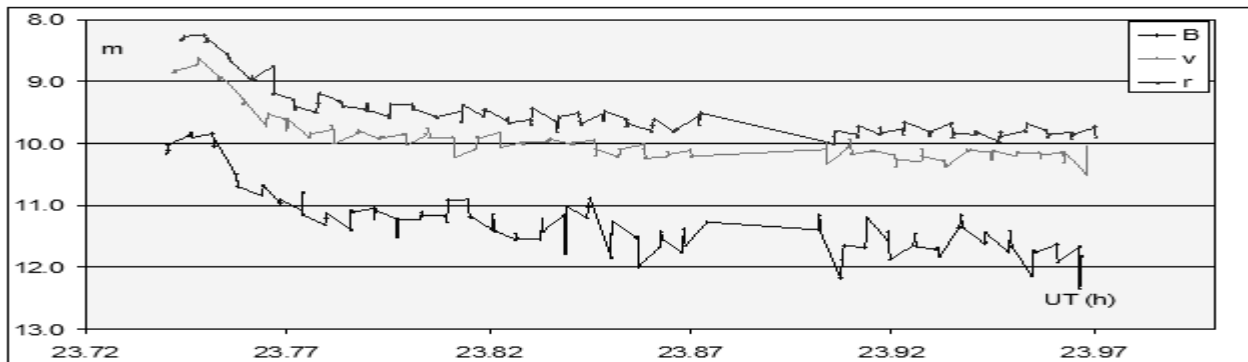


Рис. 1 – Криві блиску КА № 1 у фільтрах B,V,R отримано 30.09.2016

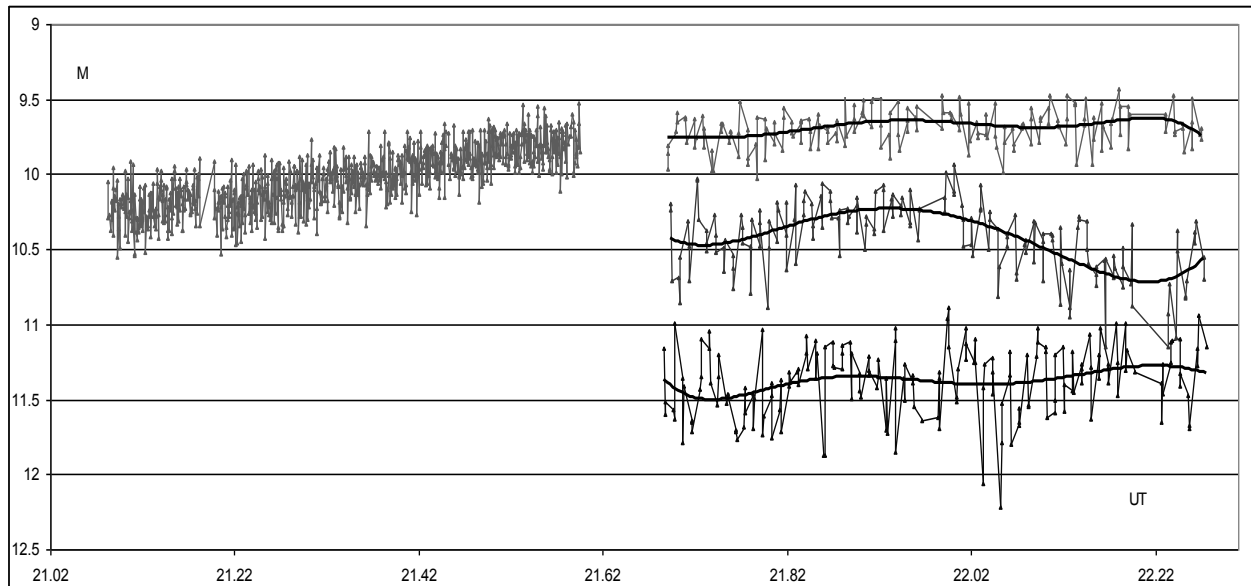


Рис. 2 – Криві блиску КА № 1 у фільтрах B,V,R, отримано 15.08.2017

В першому випадку, у відбитому від КА випромінюванні переважає червона складова спектру, що пов'язано із розсіюванням світла зовнішньою поверхнею більшої з радіоантен, а у другому випадку переважає жовта складова спектру, яка пов'язана з розсіюванням світла від внутрішньої поверхні радіоантени. Це, скоріш за все, пояснюється тим, що зовнішня та внутрішня поверхні радіоантени покриті матеріалами з різними коефіцієнтами відбивання та поглинання світла.

Розсіяне світло від сонячних батарей КА краще проявляється у синій складовій спектру. Це зумовлено оптичними особливостями захисних плівок панелей сонячних батарей (ПСБ). Спостереження флуктуацій світла у синій складовій дозволяє судити про автономний рух панелей відносно корпусу КА.

В даному випадку за результатами спостережень в кількох фільтрах виявлено, що КА здійснює коливальні рухи з періодом 9.6 хвилин навколо вісі, яка співпадала з напрямком руху КА по орбіті. І під час видимого переміщення по орбіті, і в новій точці стояння цей КА перебував у робочому режимі.



Рис. 3 – Ймовірний вигляд КА №1

В цілому, за результатами фотометричних спостережень, КА № 1 був ідентифікований як геостационарний КА, з двома панелями сонячних батарей, одною основною радіоантеною, розміром більше 20 метрів, двома антенами меншого розміру. На момент останніх спостережень КА був

застабілізований. Ймовірний вигляд цього КА наведено на рис. 3.

На рисунку 4 наведено криві блиску КА № 2. З

них видно, що об'єкт в робочому стані, не має власного обертання і рухомих деталей на поверхні.

Ймовірний вигляд цього КА наведено на рис. 5.

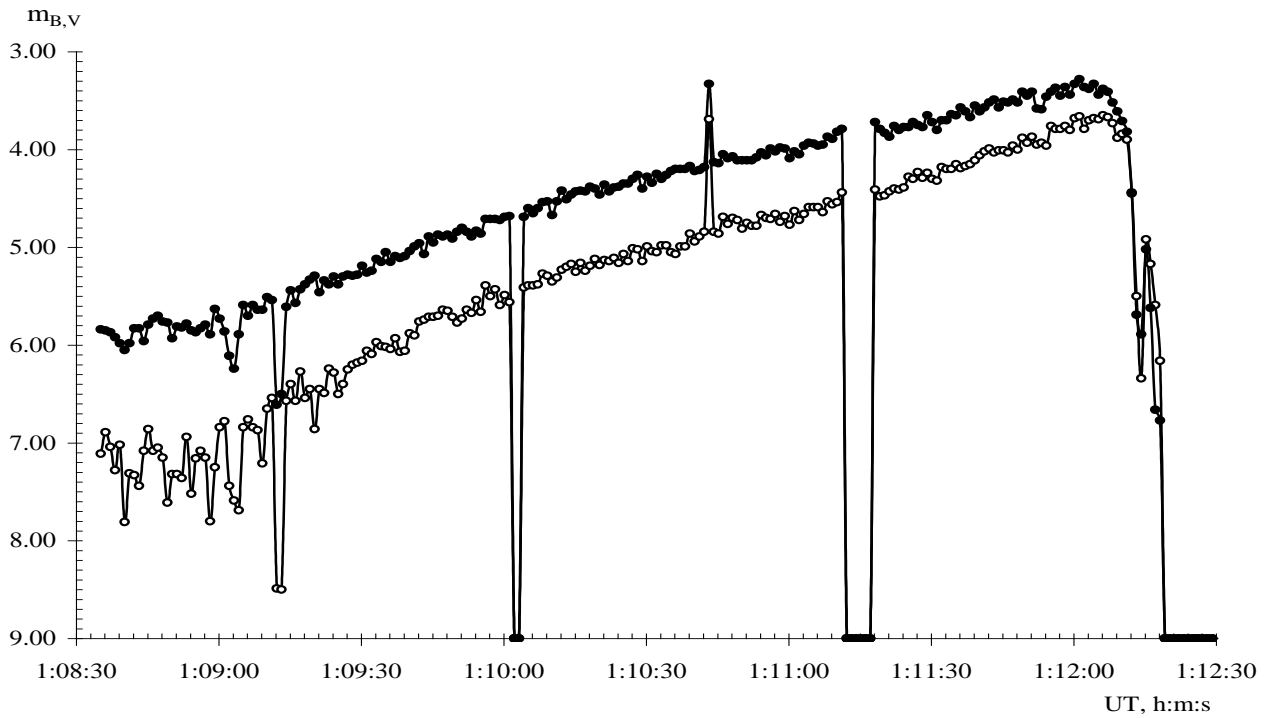


Рис. 4 – Криві блиску КА № 2 у фільтрах В, V, отримані 18.05.2017



Рис.5 – Ймовірний вигляд КА № 2

На рисунку 6 наведено криві блиску КА № 3. З них видно, що об'єкт теж в робочому стані, але на ньому переважаючої синьої складової спектру видимого світла, яке відбивається від ПСБ, в максимумі блиску (центральна частина кривої) спостерігаються слабкі періодичні зміни з періодом 12 секунд, які пов'язані з регулярним рухом деякої конструкції на корпусі КА розташованої перед ПСБ, зумовлюючи їх затемнення в певні моменти часу. З великою долею ймовірності можна припустити, що виявлена конструкція може бути радіоантенною або ілюмінатором бокового огляду.

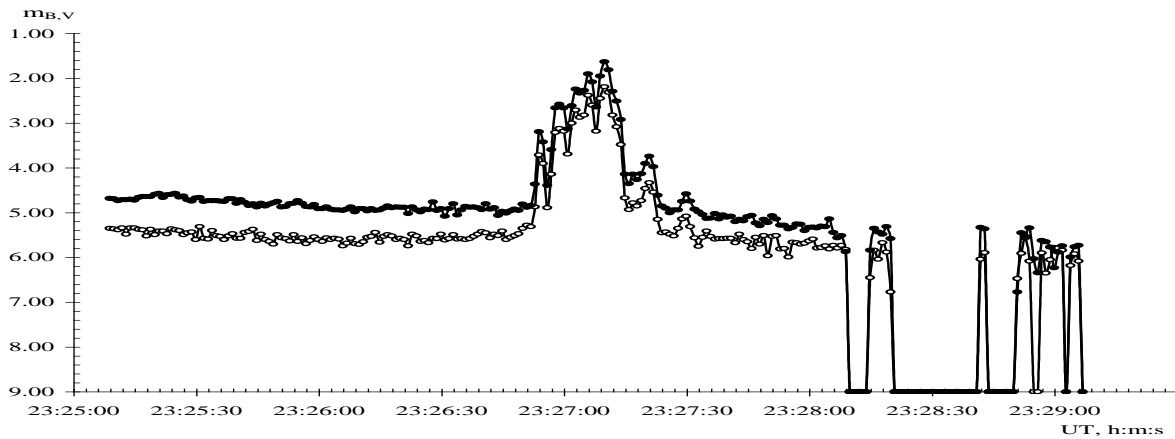


Рис.6 – Криві блиску КА № 3 у фільтрах В, V, отримані 1.07.2017



Рис.7 – Ймовірний вигляд КА № 3

В цілому, за результатами фотометричних спостережень, КА № 3 був ідентифікований як КО, який знаходиться на низькій орбіті, має циліндричну форму, хрестоподібну радіоантену в торці корпусу, дві ПСБ, зовнішню конструкцію (пристрій), яка обертається у нижній частині корпусу. Ймовірний вигляд КА наведено на рис. 7.

КА № 3 на всі моменти наших спостережень був стабілізований. Тому можна стверджувати, що він знаходиться у робочому стані. Хоча, за інформацією з відкритих джерел, даний КА позиціонується як непрацездатний.

На рисунках 8 і 9 видно, що КА № 4 та КА № 5 теж знаходяться в стабілізованому стані та цілком ймовірно працездатні. Додатково, на КА № 5 було виявлено обертання окремих деталей з періодом у 83 секунди. За характером зміни блиску та обертання даної конструкції найбільш ймовірно, що це хрестоподібна радіоантена. Дані висновки співпадають із зовнішнім виглядом цього КА. Ймовірний вигляд цих КА наведено на рис. 10 і 11.

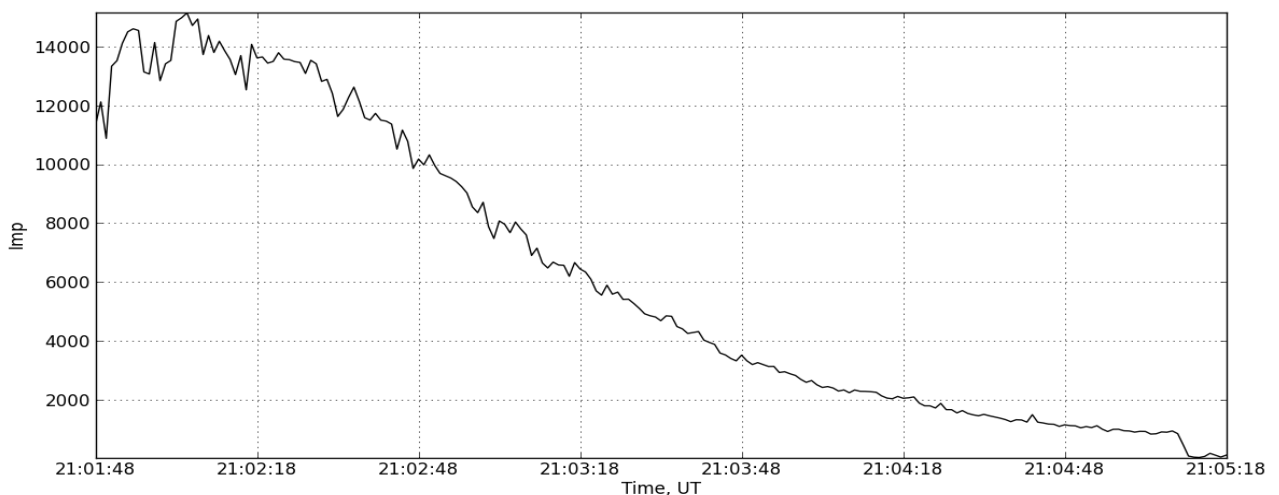


Рис. 8 – Крива блиску КА № 4 у фільтрі В, отримана 28.05.2017

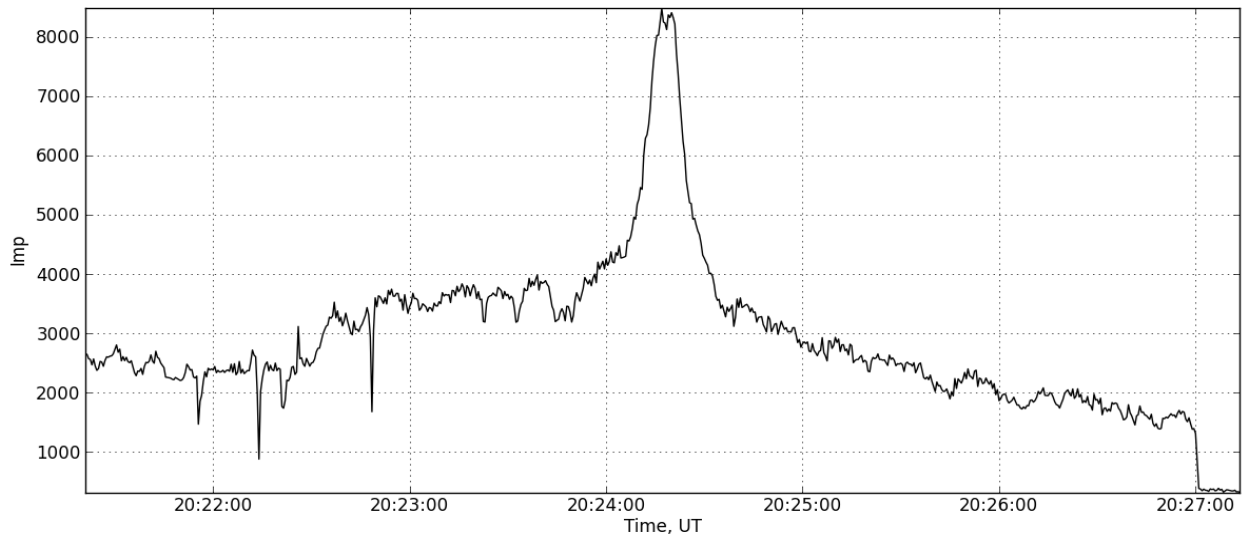


Рис. 9 – Крива блиску КА № 5 у фільтрі В, отримана 18.05.2017

На рисунках 12 і 13 видно, що КА № 6 і КА № 7 на момент спостережень, були у нестабілізованому стані, хаотично обертались

навколо власних осей. Цей факт дає підставу стверджувати, що вони нестабілізовані та непрацездатні.

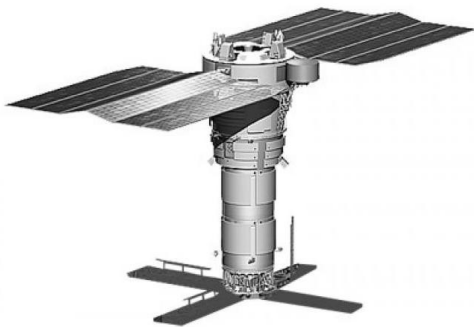


Рис. 11 – Ймовірний вигляд КА № 5



Рис. 10 – Ймовірний вигляд КА № 4

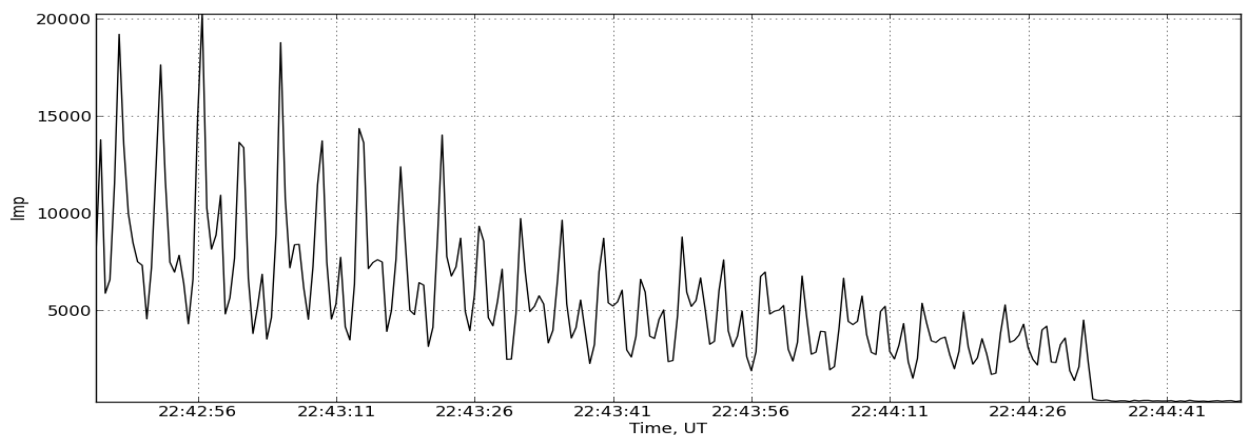


Рис. 12 – Крива блиску КА № 6 у фільтрі R, отримана 16.05.2017

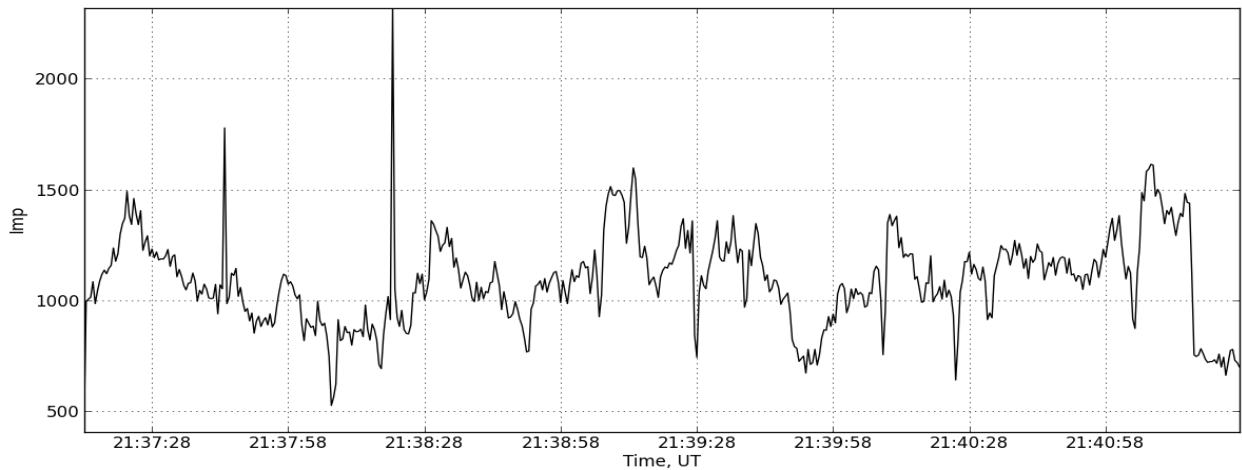


Рис. 13 – Крива блиску КА № 7 у фільтрі В, отримана 15.06.2017

Висновки

На даний час, позиційні та фотометричні спостереження проводяться в інтересах контролю та аналізу космічної обстановки, з метою ведення головного каталогу КО, поповнення класифікатора діючих КА та зонального каталогу геостационарних КА.

Особлива увага, на даний час, приділяється спостереженням КА для яких повністю або частково відсутня некоординатна інформація у відкритих джерелах. Під час комплексних спостережень визначається просторове положення КА, орієнтація, технічний стан, оцінюються можливості та тенденції застосування КА за призначенням.

Залучення до виконання задач з контролю космічного простору існуючих національних оптико-електронних засобів спостереження за КО, які використовують апробовані астрофізичні та математичні методи обробки позиційних та

фотометричних спостережень, дозволяє визначити орбітальні та фізичні характеристики КА, для яких відсутня некоординатна інформація.

Україна має великий досвід та напрацювання у напрямку проведення фотометричних спостережень на інтерпретації фотометричних даних, має величезну базу даних кривих блиску, яка представляє велику комерційну цінність, оскільки архівна або поточна інформація щодо поведінки конкретних КА на орбітах може бути потрібна стороннім зацікавленим замовникам.

Слід зазначити, що перспективність та актуальність даного напрямку, за останні десять років, визнали США, Польща та багато інших розвинутих країн світу.

Залучення національних оптичних засобів спостереження до виконання задач контролю космічного простору дозволяє ЦККП мати власні достовірні джерела некоординатної інформації по КО, що суттєво розширює функціональні можливості центру.

Список літератури

1. Kudak V. I., Epishev V. P., Perig V. M., Naibauer I. F. Determining orientation and spin period of TOPEX/Poseidon satellite by photometry method: *Astrophysical Bulletin*, vol.72, iss 3, pp.340-34, 2017.
2. Сухов П.П., Епишев В.П., Сухов К.П., Карпенко Г.Ф., Мотрунич И.И. Результаты комплексных исследований функционирования на орбите геосинхронного спутника «Sbirs-Geo-2»: *Космична наука і технологія Т. 23. № 1 2017 ISSN 1561-8889*, 2017.
3. П.П. Сухов, Р.А. Чайчук. Светодиодный эталон яркости. *Новая техника в астрономии: АН СССР*, с. 20-23., 1984.
4. Корнилов В.Г., Волков И.М. и др. Каталог WBVR-величин ярких звезд северного неба: *Труды ГАИШ. Т. 63, М., 400с*, 1991.
5. Епишев В.П. Определение ориентации ИНТ в пространстве по их зеркальному отражению: *Астрометрия и астрофизика АН УССР*, С.89-93. 1986.
6. Северный С.А., Смирнов М.А., Багров А.В. Определение формы искусственного спутника Земли по фотометрическим наблюдениям: *Научные информации Вып.58. с. 103-106. 1986.*

References:

1. Kudak V. I., Epishev V. P., Perig V. M., Naibauer I. F. Determining orientation and spin period of TOPEX/Poseidon satellite by photometry method: *Astrophysical Bulletin*, vol.72, iss 3, pp.340-34, 2017.
2. Sukhov PP, Epishev VP, Sukhov KP, Karpenko GF, Motrunich II The results of complex studies of the functioning of the geosynchronous satellite "Sbirs-Geo-2" in orbit: *Cosmic Science and Technology Vol. 23. № 1 2017 ISSN 1561-8889*, 2017.
3. P.P. Sukhov, R.A. Chaychuk. LED brightness standard. *New technology in astronomy: Academy of Science USSR*, pp. 20-23., 1984.
4. Kornilov V.G., Volkov I.M. and other catalog of WBVR-magnitudes of bright stars of the northern sky: *Work GAISH. Vol. 63, М., 400 p*, 1991.

5. *Epishev V.P. Determination of the INT orientation in space according to their specular reflection: Astrometry and astrophysics of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, pp.89-93. 1986.*

6. *Severny SA, Smirnov MA, Bagrov AV Determination of the shape of an artificial Earth satellite from photometric observations: Scientific information Vol.58. pp. 103-106. 1986.*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Епишев В.П., Мотрунич И.И., Найбауер И.Ф., Кудак В.И., Периг В.Н., Москаленко С.С.,
Сухов П.П., Сухов К.П.

Рассмотрены возможности идентификации низко- и высокоорбитальных космических объектов (КО) на основании результатов их комплексных (позиционных и фотометрических) наблюдений. Проанализированы критерии отождествления неизвестных космических аппаратов (КА) путем изучения характера их поведения на орбите. Приведены данные исследований отдельных низко- и высокоорбитальных искусственных небесных тел (ИНТ).

Ключевые слова: наблюдения, позиционные, фотометрические, колориметрические, поляризационные, изменение блеска, вариации блеска, кривая блеска, отождествление, идентификация.

IDENTIFICATION OF SPACE OBJECTS ACCORDING TO THEIR PHOTOMETRIC FEATURES

Epishev V.P., Motrunich I.I., Kudak V.I., Perig V.N., Moskalenko S.S., Sukhov P.P. Sukhov K.P.

According to results of complex observations, including positional and photometric ones, the work for photometric data interpretation of Low Earth orbit, High Earth orbit or Geosynchronous Earth orbit space objects has been conducted. Besides, the space objects identification possibilities have been considered. The criterions of unknown space objects identification are analyzed and the results of their behaviors in orbit are given within the article.

Keywords: observations, position, photometric, colorimetric, polarization, light variation, variations of light, light curve, authentication, identification.