

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ФОТОМЕТР-ПОЛЯРИМЕТР. АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

А.І. Білінський¹, Я.Т. Благодир¹, Є.Б. Вовчик¹,
О.О. Логвиненко¹, Б.П. Клим², Є.П. Почапський²

¹Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка
79005 м. Львів вул. Кирила і Мефодія 8.

²Фізико-механічний інститут імені Карпенка м. Львів вул. Наукова 5

В статті описано блок схеми та принцип дії апаратурного забезпечення для фотополариметричних спостережень ШНТ. Обґрунтовано принципи побудови та цінність таких спостережень.

Вступ

Запуск штучних супутників Землі став першим реальним кроком на шляху людства до зірок. Однак тільки в останні роки стало очевидним, що запускаючи в космічний простір апаратуру для вирішення самих різноманітних задач (вивчення ближнього космосу, спостереження інших небесних тіл, зв'язок, телебачення та багато інших), людство успішно “засмічує” космос [1], створюючи, так зване, “космічне сміття”. В основному це об'єкти, які відпрацювали свій термін, а також різні залишки космічних апаратів. Приймаючи до уваги, що в просторі навколо Землі скаталоговано біля восьми тисяч об'єктів (супутники та їх уламки досить великих розмірів для оптичних спостережень), регулярні спостереження цих об'єктів, а особливо виявлення нових, вимагають великого об'єму праці. Тому виникла необхідність більш планомірних та різносторонніх спостережень за всіма тілами, які літають поблизу Землі, хоча спостереження штучних небесних тіл (ШНТ) ведуться практично з моменту появи їх на небі, тобто з 1957 року

Найбільш інформативним типом спостережень ШНТ є позиційні спостереження, які дають положення об'єкта на небі в даний момент часу і, відповідно, орбітальні дані. Однак орбітальні дані далеко не повністю характеризують конкретний ШНТ. Тільки на основі фотометричних методів можна визначити форму об'єкта, його стан і виявити можливу небезпеку, яку

він може представляти для людства після виходу з робочого стану. Для вирішення зворотної задачі фотометрії ШНТ (визначення форми об'єкта за його спостережувальними характеристиками) крім фотометричних (колориметричних) даних, бажано мати одночасно і поляриметричні спостереження.

Як неодноразово відзначали говорили багато авторів [2, 3], специфіка руху та зміни блиску ШНТ обумовлює незвичність методики їх спостереження та апаратурного забезпечення. Важливість задачі спостереження ШНТ виправдовує затрати, які необхідні при створенні спеціальної апаратури та ведення спостережень.

У різних країнах по різному відносяться до проблеми “космічного сміття”. Організація служби, яка веде б пошук і моніторинг “космічного сміття”, є непростю і досить дорогою задачею. Альтернативним вирішенням поставленої задачі, тобто моніторингу ближнього космосу, може бути використання наявних в астрономічних обсерваторіях та інших пунктах засобів спостережень не тільки за ШНТ, але й за зорями та іншими космічними тілами. А з метою пристосування приладів та підвищення точності спостережень необхідно удосконалювати методику та апаратурне забезпечення.

Електрофотометричні спостереження

Фотометричні спостереження мають на меті вирішення двох задач – ідентифікацію спостережуваного об'єкта за наявною інформацією в каталогах та

визначення форми, розмірів і інших характеристик зовнішнього виду об'єкта [3].

Реалізація електрофотометричних спостережень ШНТ є непростю задачею, пов'язаною з тим, що ШНТ не тільки дуже швидко міняють блиск (2—3 зоряні величини за долі секунди), але (і це мабуть більш важливо) надзвичайно швидко переміщуються по небесній сфері.

В своїй основі електрофотометричні спостереження ШНТ мають два фундаменти:

- по-перше, це електрофотометрія зірок;
- по-друге, це спостереження ШНТ іншими методами (зокрема позиційними).

Використавши та об'єднавши методики було створено специфічну методику підготовки, проведення та обробки результатів електрофотометричних спостережень ШНТ. А успішні та цінні результати доказали доцільність електрофотометрії ШНТ й справедливості застосованої методики.

В першу чергу необхідно розділити ШНТ на дві групи в залежності від параметрів їх орбіт і, як наслідок, їх видимої поведінки на небесній сфері. Існують:

- високоорбітальні ШНТ (ВО ШНТ), висота орбіти яких 36000 км, і які через своє нерухоме положення на небесній сфері отримали назву геостационарних;
- низькоорбітальні ШНТ (НО ШНТ), висоти орбіт яких можуть бути від 200 км до декількох тисяч. Такі об'єкти можна назвати швидкорухомими, бо їх видима швидкість руху по небесній сфері дуже велика (від 2.5 град в сек).

Методика й апаратне забезпечення відрізняються в залежності від того, яку групу ШНТ будемо спостерігати.

Для ВО ШНТ можна застосовувати практично цю ж апаратуру, яка застосовується для фотометрії зірок, дещо змінивши методику спостережень. Зокрема, необхідно врахувати, що ВО

ШНТ спостерігають на нерухомому телескопі, а зорі порівняння на рухомому, як звичайно.

Для НО ШНТ необхідно розробляти оригінальні прилади і встановлювати на спеціальні гідуючі монтування. Найбільш точними та зручними в роботі є чотирьохвісні монтування, в яких гідуювання за об'єктом здійснюється по одній осі.

Прикладом апаратного забезпечення для низькоорбітальних ШНТ можуть бути роботи авторів [5, 6, 7].

Принципи побудови електрофотометричної апаратури

Як правило електрофотометр складається з приймальної оптики, системи виділення спостережуваного об'єкта (діафрагми і лінзи Фабрі), фотопомножувача й системи відбору і реєстрації сигналу. Введення в класичну схему системи спареної діафрагми і чорно-білого модулятора дозволило авторам створити електрофотометр, який дав можливість отримати фотометричні криві блиску низькоорбітальних об'єктів відносно слабого блиску на суттєвому фоні [5]. Великий фон пояснюється тим, що в процесі спостереження ШНТ застосовуються діафрагми значно більших розмірів (порядку хвилин), ніж при спостереженні зірок.

Мультиплікація оптичних каналів з встановленням різних фільтрів дала можливість отримати криві блиску в різних спектральних областях і, відповідно, криві кольору [6]. Так було створено багатоканальний спеціалізований прилад для спостереження ШНТ [7]. У приладі були використані 10-см об'єктиви, а в ролі несучого монтування була використана спеціалізована 4-х вісна установка від камери АФУ-75.

Але, як показали спостереження проведені на цих приладах, виникла необхідність проведення одночасно також і поляриметричних спостережень. Тому був розроблений новий варіант багатфункціонального приладу.

Опис і блок-схема електрофотополяриметричної апаратури

Новий варіант багатофункціонального приладу базується на 4-вісній напівавтоматичній гідуючій установці від ЛД-2, а приймаючою оптикою служать два 34-см об'єктиви з касегренівською системою. Блок-схема оптичної частини приладу представлена на рис.1, а система відбору і обробки сигналів – на рис.2.

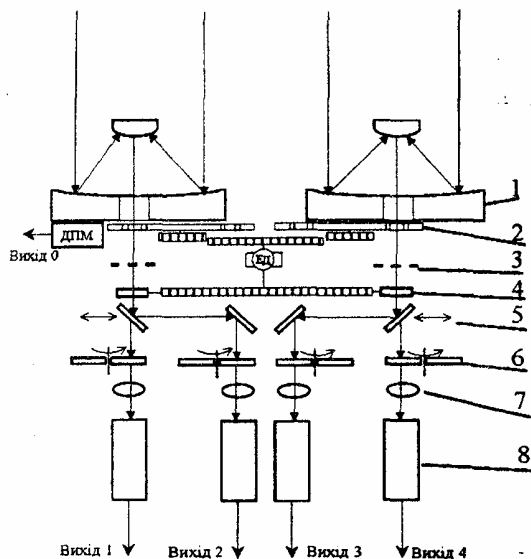


Рис.1. Блок-схема електрофотополяриметра 1 – живляча оптика; 2 – чорно-білі модулятори з датчиком положення (ДПМ); 3 – подвійна діафрагма; 4 – аналізатор; 5 – діляльні оптичні системи; 6 – фільтри; 7 – лінзи Фабрі; 8 – фотопомножувачі; ЕД – кроковий електродвигун з механічною передачею.

Світлові потоки, зібрані оптичними системами (1) проходять через чорно-білі модулятори (2), а далі через спарені діафрагми (3). Слід відмітити, що модулятори приводяться в рух одним кроковим електродвигуном. Така система (модулятор і спарена діафрагма) дає можливість розділити у часі сумарний світловий потік від об'єкта плюс фон і від фона неба в кожному каналі. Наступним елементом на оптичному шляху є аналізатор (4), який приводиться в рух тим самим двигуном, що і модулятори, але частота обертання аналізатора в два рази більша. Тому датчик положення модулятора (ДПМ) дає інформацію не тільки про положення

модулятора, тобто про проходження визначеного потоку (сумарного чи фонового), а також про положення аналізатора. Для розділення світлових потоків використовується система дихроїчних дзеркал (5), а для реалізації спостережень в різних спектральних областях – фільтри (6), які встановлені на турелі. Слід відзначити, що аналізатори, дзеркала і фільтри можуть бути виведені з світлового потоку (за бажанням спостерігача) і тим самим можна змінити режим роботи приладу. Безпосередньо перед фотопомножувачами (8) встановлені лінзи Фабрі (7). Вихідні сигнали з фотопомножувачів поступають в систему відбору і обробки інформації, блок-схема якої приведена на рисунку 2.

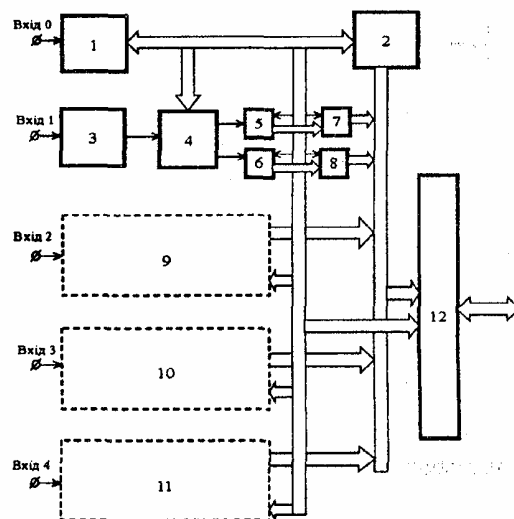


Рис.2. Блок-схема системи відбору та обробки сигналу. 1 – формуючий блок входу 0, 2 – таймер, 3 – підсилювач-дискримінатор, 4 – комутатор, 5, 6 – лічильники, 7, 8 – блоки реєстраторів, 12 – блок інтерфейсу.

Імпульси від чотирьох фотопомножувачів поступають відповідно на 4 входи блоку, а на нульовий вхід поступають сигнали від датчика положення модулятора (ДПМ), які формуються в блоці 1. Часова діаграма імпульсів синхронізації блока керування 1 в залежності від положення модулятора та кута поворота аналізатора приведена на рисунку 3. Всі чотири електронні канали ідентичні, тому на рисунку детально приведений тільки один канал. Інформаційні імпульси дискримінуються

за амплітудною ознакою в блоці 3 і далі поступають на комутатор 4, який керується сигналами блока управління 1, котрий розподіляє сигнали в залежності від положення аналізатора в лічильники 5 або 6 (див.рис.2). Причому в лічильник 5 поступають імпульси при положенні аналізатора, який умовно позначений на рисунку I і III, а на лічильник 6 – II і IV. Аналогічне відбувається у всіх решта каналів. Далі через блоки реєстраторів та блок інтерфейса сигнали поступають в комп'ютер, який реалізує подальшу обробку. Для прив'язки одержаних результатів до стандартного часу в таймер подаються сигнали точного часу від лазерної часової системи.

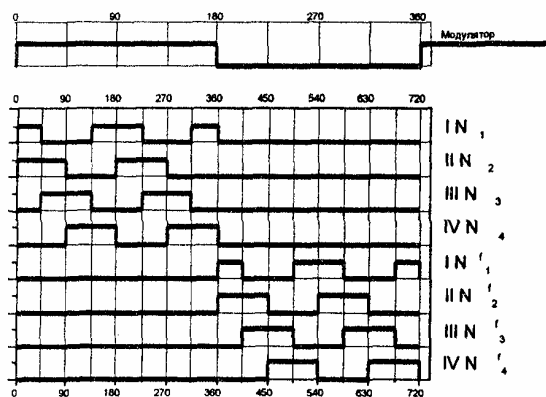


Рис.3. Часова діаграма надходження сигналів у блок відбору та обробки сигналів.

Алгоритми обробки сигналів.

Задачею, для якої розроблявся даний прилад є одночасне визначення часової залежності ступеня поляризації і її кута, а також одержання кривої блиску об'єкта в різних областях спектру. Цим і обумовлені алгоритми обробки, які закладені в основу програмного забезпечення приладу. Для реєстрації кривої блиску віднімання фону неба здійснюється для кожного обороту модулятора окремо з наступним сумуванням кількості оборотів, яка задається часом інтеграції. Мінімальний час інтеграції – час одного обороту модулятора. Крива блиску висвічується на моніторі в процесі спостереження і записується у файл в цифровому вигляді.

Для одержання даних про зміни поляризаційних характеристик (ступеня поляризації і кута) першочерговою задачею також є віднімання фону для кожного кута положення аналізатора. Далі необхідно виконати розрахунок ступеня поляризації і кута згідно відомих формул [8].

Позначимо кількість імпульсів від об'єкта (тобто фон неба віднятий), зареєстрованих в інтервалах кута аналізатора (див. рис. 3) $315^{\circ} - 45^{\circ}$ і $135^{\circ} - 225^{\circ}$ -- N_1 , $0^{\circ} - 90^{\circ}$ і $180^{\circ} - 270^{\circ}$ -- N_2 , $45^{\circ} - 135^{\circ}$ і $225^{\circ} - 315^{\circ}$ -- N_3 і останнє положення -- $90^{\circ} - 180^{\circ}$ і $270^{\circ} - 360^{\circ}$ -- N_4

Тоді ступінь поляризації P і кут ϕ можна вирахувати за такими алгоритмами:

$$P = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{(N_1 - N_3)^2}{(N_1 + N_3)^2} + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{(N_2 - N_4)^2}{(N_2 + N_4)^2}}$$

$$\lg 2\phi = \frac{(N_2 - N_4) * (N_1 + N_3)}{(N_2 + N_4) (N_1 - N_3)}$$

Дальше проводиться усереднення поляризаційних характеристик за наперед вибране число обертів аналізатора.

Слід відмітити, що ступінь поляризації і її кут можна вирахувати і в різних спектральних областях. Тоді отримаємо набір P і ϕ в залежності від довжини хвилі. В програмному забезпеченні передбачено вивід поляризаційних характеристик на дисплей в реальному часі.

Щоб виключити вплив зміни блиску на поляризаційні характеристики паралельно ведеться реєстрація кривої блиску. При необхідності можна нормуванням врахувати зміну блиску об'єкта для уточнення поляризаційних характеристик.

Висновки

Враховуючи, що встановлення характеру поведінки на орбіті та визначення форми ШНТ можна зробити тільки на основі фотополяриметричних спостережень, слід відзначити актуальність та важливість завдання по забезпеченню таких спостережень

відповідною апаратурою та програмами обробки. Оскільки спостереження ШНТ є досить складною задачею, то очевидно, що розробка та виготовлення апаратури для них є також непростю задачею.

На даний момент фото-поляриметрична апаратура проходить відладку і лабораторні випробування. В найближчий час будуть проводитись спостереження реальних небесних об'єктів – зорях та ШНТ. Складеться та відладжується програмне забезпечення для реєстрації сигналів у комп'ютері в реальному часі, як для фотометричних, так і для поляризаційних спостережень, а також виведення результатів на монітор.

1. Orbital debris.// National Akad. Press. Washington D.C.: 1995. -- 65p.
2. Багров А.В., Смирнов М.А. Некоординатные наблюдения искусственных космических объектов.// Сб. Проблема загрязнения космоса. М.: Космосинформ, -- 1993. - С.58 – 67.
3. Багров А.В., Смирнов М.А. Методика фотометрических и спектральных

наблюдений ИНТ. // Науч. инф.Астросовета АН СССР. М., 1989. -- Вып. 64. -- С.15—21.

4. Рыхлова Л.В. Проблемы околоземной астрономии. // Сб. Околоземная астрономия. М.: Космосинформ. -- 1998. С.8—16.
5. Вовчик Е.Б., Глушак П.А., Клым Б.П. и др. Новая разработка астроэлектрофотометра АЭФ—1Л. // Вопросы астрофизики. -- Вып.58. -- Львов, 1984. -- С.41—48.
6. Вовчик Е.Б, Выгон В., Крупей С.М. и др. -- Двухцветные наблюдения ИНТ. //Набл. ИНТ. М., 1988. N 84, ч.1. -- С.120-125.
7. Blagodyr Ja.T., Galych D.I., Krupej S.M., Logvinenko O.O. et all. An electrophotometer for observing the artificial celestial bodies. //Tr.J.of Phisics 20. Stambul, 1996. -- P.878 – 882.
8. Шаховской Н.М., Ефимов Ю.С. Поляризационные наблюдения нестационарных звезд. // Изв. КрАО. – 1972. Т.XLV. -- С.90—111.

MULTIFUNCTIONAL PHOTOMETER-POLYARIMETER. EQUIPMENT

A.I.Bilinsky¹, Ya.T.Blagodyr¹, Ye.B.Vovchyk¹,
O.O.Logvynenko¹, B.P.Klym², Ye.P.Pochapsky²

¹Astronomical observatory of Ivan Franko national university of L'viv,
8 Cyryla and Mefodij str., L'viv, 79005, Ukraine

² Karpenko Physiko-mechanical institut L'viv, Naukova str, Ukraine.

In the paper the block-scheme and the principle of operation of equipment for the photopolyarimetric observation the artificial satellites are described. Principle of construction and the necessity of such observations are substantiate.