

СТВОРЕННЯ АПАРАТУРНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОФОТОМЕТРИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА БАЗІ ТЕЛЕСКОПУ ТПЛ-1М

**С.І. Ігнатович, Я.М. Мотрунич, В.С. Мельник,
В.М. Михайлець, І.Ф. Найбауер, В.М. Періг**

Ужгородський національний університет, Лабораторія космічних досліджень
88000, Ужгород, вул. Далека, 2а
e-mail: space@univ.uzhgorod.ua

На базі телескопу ТПЛ-1М з вхідною апертурою 1м створений комплекс апаратури для електрофотометричних спостережень точкових небесних об'єктів. Електрофотометр може працювати в інтегральному світлі, або у V-смузі фотометричної системи UVV. Реалізовано комп'ютерне управління процесом електрофотометрії та реєстрацію результатів вимірювання блиску об'єктів. Порогова проникна здатність даного електрофотометра із застосуванням ФЕП-79 за теоретичними розрахунками складатиме 14,05 зоряної величини. На основі спостережень зірок досліджені реальні точності визначення блиску точкових об'єктів в межах від 2,02 до 11,30 зоряної величини. Визначена ефективна довжина хвилі V-електрофотометра.

Вступ

У Лабораторії космічних досліджень УжНУ (ЛКД) є декілька приладів для фотометричних спостережень точкових небесних об'єктів [1,2]. Найбільш вживаним приладом, на якому спостерігаються швидкі низькоорбітальні супутники, є електрофотометр, зібраний на базі телеоб'єктива з діаметром вхідного отвору 10 см (МТО-1000) [2]. Цей двоканальний електрофотометр встановлено на систему ведення телескопа-гіда фотокамери АФУ-75. Останнім часом в ЛКД ввійшов у дію телескоп, що має вхідну апертуру 1 м. Тому виникла необхідність у проведенні досліджень щодо використання його для фотометрії зірок, астероїдів, ШНТ. Для проведення такого експерименту був використаний сконструйований резервний фотоприймальний пристрій (канал) діючого електрофотометра з лічильником імпульсів.

1. Установка одноканального електрофотометра на телескоп ТПЛ-1М

Фотоприймальний блок електрофотометра – ФЕП з попереднім підсилювачем – було встановлено на місце приймального каналу у прямому фокусі телескопа ($F=11600$ мм) (рис. 1).

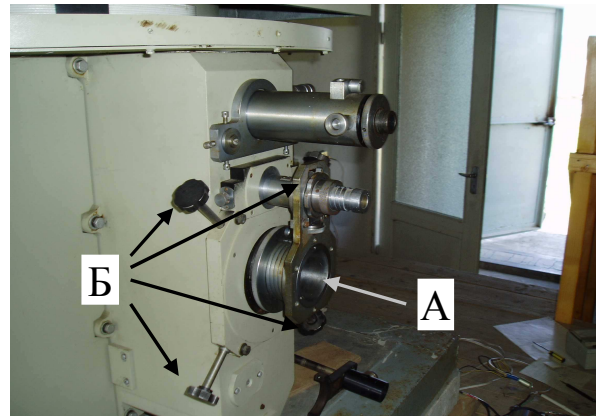


Рис. 1. Вузол фотоприймального пристрою телескопу.

А – місце установки блока ФЕП (турель з набором діафрагм, лінза Фабрі, ФЕП з попереднім підсилювачем). Б – гвинти для юстування оптичної системи.

Оптична схема фотоприймального вузла електрофотометра наведена на рис.2.

1 – окуляр візуального каналу; 2 – ЕОП; 3 – компенсатор аберацій; 4 – плоске дзеркало; 5 – дзеркало комутаторне приймального каналу; 6 – турель з набором діафрагм; 7 – коліматорна лінза; 8 – скляний широкосмушний зелений V-фільтр; 9 – висувна призма з окуляром; 10 – лінза Фабрі; 11 – блок ФЕП; 12 – блок попереднього підсилювача.

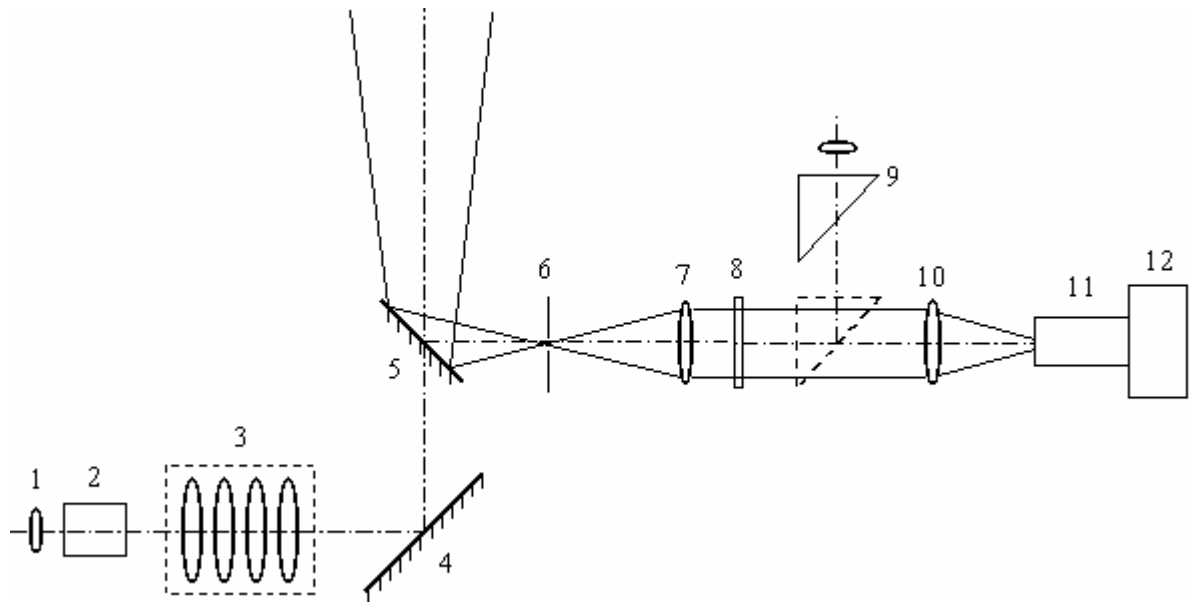


Рис.2. Оптична схема одноканального електрофотометра.

Дзеркало (5) служить для спрямування зображення об'єкта в приймальний канал телескопу. При відхиленні комутаторного дзеркала (5) зображення попадає на ЕОП (2) через оптичний компенсатор (3).

Набір діафрагм (6) виготовлено як турель з отворами різних діаметрів, які можна змінювати. Куткові розміри діафрагм знаходяться в межах від $15''$ до $2'$.

Для формування світлового потоку, що попадає на ФЕП, необхідно, щоб фокусна відстань телескопу знаходилася в площині турелі з діафрагмами. Далі за туреллю розміщені дві лінзи: перша – коліматорна (7), друга – лінза Фабрі (10), основне призначення якої є створення зображення вхідного отвору на фотокатоді ФЕП (11). Висувна призма з окуляром (9) дає можливість візуального контролю зображення об'єкта у фокальній площині. В оптичній схемі електрофотометра передбачено встановлення скляного фільтра (8) для створення смуги V фотометричної системи UVV.

На рис. 3 представлено загальний вигляд оптико-механічного блоку електрофотометра.

1 – турель з діафрагмами; 2 – перемикач діафрагм; 3 – металевий циліндр з лінзами та щілиною для встановлення скляного V-фільтра; 4 – блок ФЕП; 5 – блок попереднього підсилювача з формувачем і дискримінатором імпульсів.

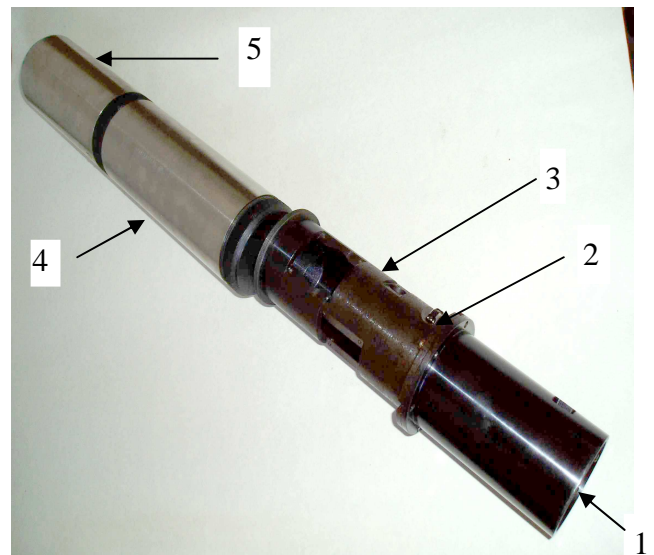


Рис. 3. Загальний вигляд оптико-механічного блоку електрофотометра.

Функціональна схема одноканального електрофотометра наведена на рис.4.

Найбільш відповідальним елементом електрофотометра є фотоприймальний блок. У приймальному каналі використано ФЕП-79 з типовим подільником напруги. Його зовнішній вигляд показано на рис. 5.

Електричний імпульсний сигнал від ФЕП підсилюється вхідним підсилювачем до напруги, необхідної для спрацювання порогового пристрою, який виділяє вхідні імпульси і формує на виході імпульсний сигнал постійної амплітуди та тривалості.

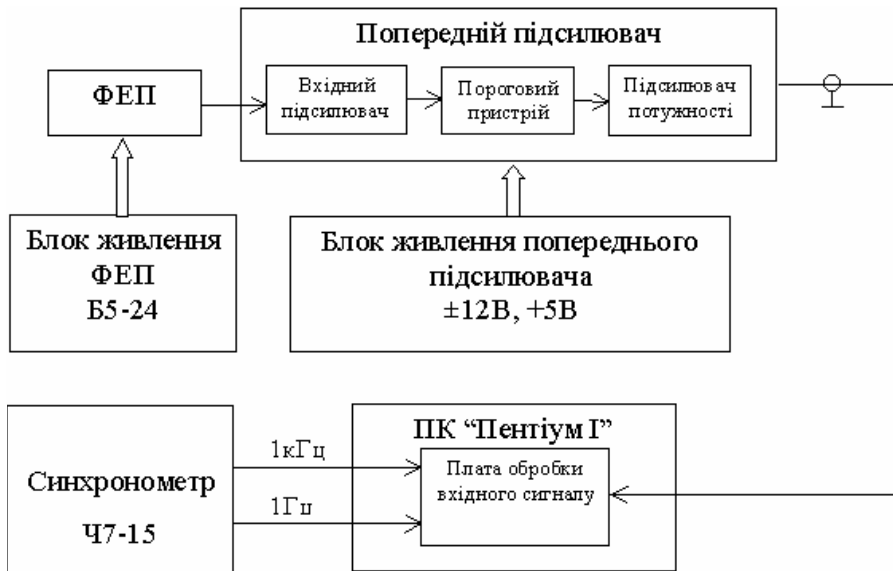


Рис. 4. Функціональна схема одноканального електрофотометра.



Рис. 5. Зовнішній вигляд фотоприймального блоку.

На пороговий пристрій імпульсний сигнал поступає через регулюючий диференціальний підсилювач, який забезпечує можливість зовнішнього (дистанційного) управління порогом. Пороговий пристрій складається із підсилювача потужності і мультивібратора на тунельному діоді. Тривалість імпульсу, генерованого мультивібратором, становить 20 нс. “Мертвий” інтервал часу мультивібратора складає 100 нс, що обмежує максимальну частоту підрахованих імпульсів на рівні 10 МГц. У зв’язку з тим, що фотоприймальний блок встановлено безпосередньо на телескопі, а система реєстрації розміщена в лабораторному приміщенні, на виході приймального каналу встановлено кінцевий підсилювач потужності. Фотоприйма-

льний блок живиться від блока живлення, що забезпечує стабілізовану біполярну напругу ± 12 В, а також стабілізовану напругу $+5$ В. Низьковольтний блок живлення фотоприймального каналу, а також високовольтний блок живлення ФЕП розміщені у лабораторному приміщенні.

Сигнал з фотоприймального блоку поступає в комп’ютер через інтерфейсну плату обробки. На цій, встановленій у комп’ютер платі, зібрано лічильник імпульсів на базі мікросхеми 580ВІ53. Оскільки з попереднього підсилювача надходять дуже короткі імпульси ($\tau=20$ нс), то на вході плати обробки розміщено ще й тригер Шмідта з одновібратором, які формують імпульси ТТЛ-рівня тривалістю $\tau=80$ нс для спрацювання лічильника.

Синхронізація вимірів із всесвітнім часом здійснюється імпульсами з частотою 1 кГц та 1 Гц, що подаються на плату обробки від синхрометра Ч7-15.

Така плата обробки вхідного сигналу разом із створеним пакетом програм забезпечує комп’ютерне управління роботою електрофотометра, яке полягає у синхронізації шкали комп’ютерного часу із шкалою всесвітнього часу сигналами із точністю до 1 мс, виборі часу накопичення сигналу, графічному відображенні результатів виміру блиску об’єкта на моніторі в реальному часі. На монітор виводиться ще й інформація про момент часу першої точки в даній групі вимірів, номер

групи, загальну кількість точок, а також поточна інформація про рівень сигналу (кількість підрахованих імпульсів за час накопичення сигналу). Є можливість оперативно визначати і середній рівень сигналу. Результати вимірів записуються у бінарному і текстовому файлі комп'ютера.

2. Фокусування телескопу ТПЛ-1М та юстування оптичної системи електрофотометра

У процесі наладки оптичної системи лінза Фабрі спочатку була розміщена згідно розрахунків [3]. Остаточне її розміщення проводилося так: на об'єктиві телескопу був встановлений хрест із смужок чорної плівки, а на місцеположення фотокатода ФЕП вставлялася смужка білої кальки, і переміщенням лінзи Фабрі вздовж оптичної осі телескопа добивалися чіткого зображення "хреста". Після цього лінза була жорстко зафіксована.

Для правильної роботи електрофотометра дуже важливим є фокусування головної оптичної системи. Воно полягає в тому, щоб фокус телескопу попадав точно в площину діафрагм електрофотометричного блоку. Тоді зображення зірки повністю "провалюється" у діафрагму. Фокусування проводилося візуально, в нічну пору доби, по Місяцю та Полярній зорі. За допомогою кальки візуально знаходилося місце найкращого зображення. Для покращення точності визначення фокусної відстані, операція знаходження фокусу здійснювалося трьома учасниками експерименту (спостерігачами), кожен з яких знаходив "своє" положення. Таке визначення положення фокусу співпало з точністю ± 10 мм. Оскільки фокусна відстань телескопу у прямому фокусі складає 11600 мм, то одержана нами точність є задовільною. Надалі турель з діафрагмами електрофотометра була виведена у знайденої площину.

Юстування оптичної системи приймального каналу телескопа проводилося за допомогою відповідних гвинтів (рис.1, Б) шляхом встановлення зображення зірки в центр діафрагми. При цьому використовувався пристрій бокового візуального контролю (див. рис. 2).

3. Експериментальні дослідження технічних характеристик та проникної здатності електрофотометра

Проведені нами теоретичні розрахунки [4-8] показали, що порогова чутливість одноканального електрофотометра з використанням ФЕП-79, встановленого у прямому фокусі телескопу ТПЛ-1М ($D=1000\text{mm}$, $F=11600\text{mm}$) складатиме $14^{\text{m}},05$.

Експериментальні дослідження електрофотометра полягали у: а) перевірці лінійності приладу; б) визначенні реальної проникної здатності системи; в) знаходженні точності визначення блиску точкових небесних об'єктів в наближеному діапазоні від 2^{m} до $11^{\text{m}},5$.

У процесі дослідження виготовленого фотометричного комплексу проводилося спостереження зірок-стандартів Північного Полярного Ряду (NPS) при таких вибраних умовах: в оптичний тракт електрофотометра було встановлено скляний широкосмужний зелений V-фільтр. Розмір робочої діафрагми – $2'$. Час накопичення сигналу – 1с.

За результатами фотометрії зірок-стандартів побудована крива регресії, яка свідчить про лінійність сконструйованого електрофотометра (рис.6). По осі абсцис відкладені каталожні зоряні величини стандартних зірок, по осі ординат – виміряні зоряні величини зірок NPS у системі електрофотометра, тобто величина $2,51\lg N_c$.

Отримана регресія має діапазон застосування від $2^{\text{m}},02$ до $11^{\text{m}},3$. Для збільшення діапазону у сторону менших яскравостей необхідно підвищити чутливість візуального каналу телескопу ТПЛ-1М – адже зараз спостерігач може навести телескоп лише на зірку, яка яскравіша 11.3 зоряної величини.

Важливим етапом дослідження одноканального V-електрофотометра є експериментальне визначення ефективної довжини хвилі системи інструмента. У таблиці 1 наведені значення коефіцієнта C_V та ефективної довжини хвилі $\lambda_{\text{еф.,V}}^{\text{інстр.}}$ досліджуваного V-електрофотометра, отримані по 4-х серіях спостережень, та їх середнє значення.

Таблиця 1.. Значення коефіцієнта c_V та ефективної довжини хвилі $\lambda_{\text{еф.,V}}^{\text{інстр.}}$.

№ п/п	Дата	c_V	$\overline{c_V}$	$\lambda_{\text{еф.,V}}^{\text{інстр.}}, \text{Å}$	$\overline{\lambda_{\text{еф.,V}}^{\text{інстр.}}}, \text{Å}$	A
1	7/8.09.05	-0.1145	-0.1169	5662	5666	16 ^m .8408
2	8/9.09.05	-0.1191		5669		17.0274
3	6/7.10.05	-0.1145		5662		16.8377
4	7/8.10.05	-0.1197		5670		17.3485

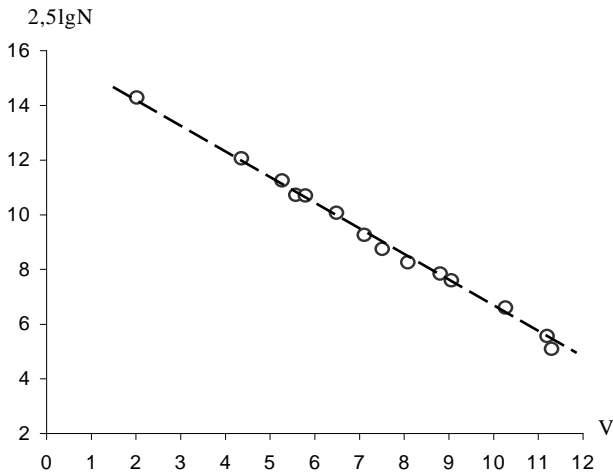


Рис. 6. Графік лінійності одноканального V-електрофотометра.

Висновок

Проведені дослідження виготовленого та змонтованого електрофотометра на базі телескопу ТПЛ-1М показали, що даний прилад придатний для вимірювання блиску точкових небесних об'єктів у діапазоні від 2^m до 11,3^m із середньоквадратичною похибкою <0,1^m.

Література

1. Братийчук М.В., Мотрунич Я.М., Ласло Т.Й., Игнатович С.И., Двухканальный электрофотометр и система слежения для фотометрии ИСЗ // Астрометрия и астрофизика.- 1974- Вып. 21.- С.109-116.
2. Братийчук М.В., Епишев В.П., Ласло Т.Й., Мотрунич Я.М., Игнатович С.И., Найбауер И.Ф., Шумаков В.Р. Скоростной двухканальный электрофотометр для фотометрии ИНТ, работающий в режиме счета фотонов //Астрометрия и астрофизика.- 1982.- Вып. 46. – С.84-92.
3. В.П. Цесевич. Переменные звезды и способы их исследования. - М.: Педагогика, 1969. – 240 с.
4. Методы астрономии / Под ред. В.А. Хилтнера. – Перевод с англ. под. ред. В.А. Крата, – М.: Мир, 1967. – 536 с.
5. Кацнельсон Б.В., Калугин А.М. и др. Электровакуумные, электронные и газоразрядные приборы: Справочник.- М.: Радио и связь, 1985. – 505 с.
6. Якушенко Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения. - М., Советское радио, 1977. – 270 с.
7. Аллен К.У. Астрофизические величины. М.: Мир, 1977. – 340 с.
8. Справочник конструктора оптико-механических приборов / Под ред. В.А.Панова.- Л.: Машиностроение, 1980. – 368 с.

CREATION OF THE EQUIPMENT COMPLEX FOR PHOTOELECTRICAL OBSERVATIONS ON THE BASIS OF THE TPL-1M TELESCOPE

**S.I. Ihnatovich, Ya.M. Motrunich, V.S. Melnik, V.M. Mychajletz,
I.F. Neubauer, V.M. Perih**

Uzhgorod National University, Laboratory of space researches

Daleka str. 2a, 88000, Uzhgorod, Ukraine

e-mail: space@univ.uzhgorod.ua

The equipment complex for photoelectric observations of the dot sky objects on the basis of the TPL-1M telescope with the input aperture 1 m are created. The photoelectric photometer can work in integral light or in a V-band of a photometer system UBV. The computer process control of an photoelectric photometry and registration of the measurement outcomes of objects brightness is implemented. The threshold pervious ability of the given photoelectric photometer with photoelectric multiplier ФЭУ-79 application, obtained on the basis of theoretical calculations, makes 14.05 stellar magnitudes. On the basis of stars observations of the real accuracy of a brightness of dot objects definitions in limits from 2.02 up to 11.30 stellar magnitudes are researched. The effective wavelength of the V – photoelectric photometer are determined.