

## Модернізація телескопів для спостереження Сонця в Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка

О. Баран<sup>1</sup>, Є. Вовчик<sup>1</sup>, А. Присяжний<sup>1</sup>, І.  
Підстригач<sup>1</sup>, І. Сальніков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Кирила і Мефодія, 8, 79005 Львів, Україна  
e-mail: evanovchuk@ukr.net

У Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка для спостереження Сонця використовуються фотогеліограф та хромосферно-фотосферний телескоп АФР-2. У статті представлено деталі проведених робіт з модернізації цих телескопів, зокрема: у фотогеліографі повністю замінено оптичну систему на об'єктив МТО-1000, а для реєстрації зображень Сонця встановлено цифрову фотокамеру; в телескопі АФР-2 встановлено новий синхронний двигун механізму ведення з блоком живлення через кварцовий генератор; для використання сучасної КМОН-камери модифіковано оптичну систему АФР-2; проведено роботи з модернізації допоміжних пристроїв, які забезпечують роботу інтерференційно-поляризаційного фільтра ПФ-4 (новий термостат, електронний термометр для вимірювання температури труби телескопа АФР-2 тощо). Подано стислий опис процедури математичної обробки даних спостережень Сонця. Виконані зміни дозволять значно підвищити точність реєстрації, спростять проведення спостережень та обробку отриманих у цифровому вигляді результатів.

**Ключові слова:** фотогеліограф, хромосферно-фотосферний телескоп, інтерференційно-поляризаційний фільтр, цифрова фотокамера, модернізація

### Вступ

У Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка (АО ЛНУ) для спостереження Сонця використовуються два телескопи — фотогеліограф та хромосферно-фотосферний телескоп АФР-2 [1]. Однак з часом ці телескопи, приймальні пристрої до них та допоміжне обладнання морально та фізично застаріли. Тому виникла необхідність їх реставрації та модернізації.

## 1. Фотогеліограф для спостережень фотосфери Сонця

Фотогеліограф ФГ-1 (Ленінградський оптико-механічний завод, СРСР), придбаний у 1948 р., у заводському виконанні мав об'єктив з діаметром 0.1 м і фокусною відстанню 8.8 м [2] та був встановлений на колону з екваторіальною головкою. Гідування за Сонцем здійснювалося вручну за допомогою відповідного пристрою. Як приймальний засіб використовувались фотопластини. Фотогеліограф використовувався для систематичних фотографічних спостережень фотосфери Сонця протягом понад 50 років: за роки з 1956 р. по 2004 р. зібрано понад 14000 скляних пластинок з фотографіями Сонця, отриманими на ФГ-1. На рис. 1 показано скан-копію однієї з таких фотопластинок. Одержані результати було об'єднано у внутрішній банк даних АО, на даний момент проводиться робота по переведенню цих результатів спостережень у цифровий формат.

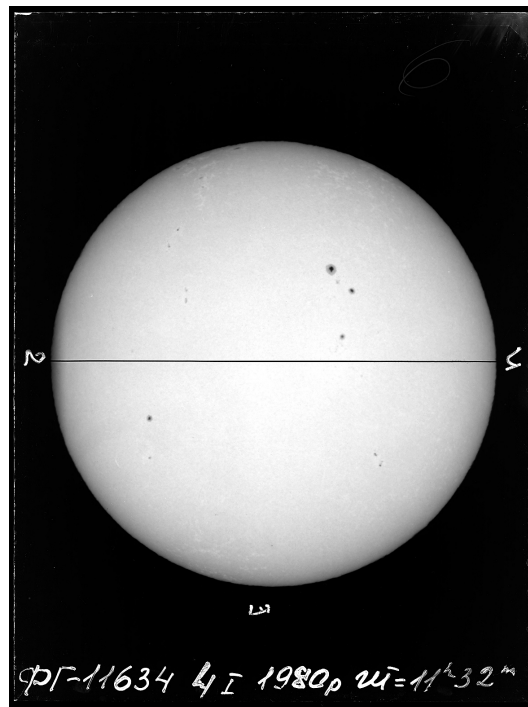


Рис. 1: Фотографія Сонця, отримана 4 січня 1980 р. за допомогою фотогеліографа ФГ-1.

З переходом астрономії на цифрові приймачі світла виробництво фотоемульсійних носіїв (фотопластинок та спеціальних широкоформатних кіноплівок) та централізоване забезпечення ними астрономічних обсерваторій припинилося. Тому використання цифрової фотокамери для спостережень фотосфери Сонця в АО ЛНУ стало неминучим [1]. Зношеність компонентів фотогеліографа ФГ-1 і особливості його оптичної схеми не дозволили використовувати його у поєднанні з цифровим

приймачем, а тому виникла необхідність у повній заміні об'єктива. Основою нового фотогеліографа став дзеркально-лінзовий об'єктив МТО-1000 з діаметром 0.1 м і фокусною відстанню 1 м (див. [3], с. 144). Для його встановлення було виготовлено нове кріплення до гідуючої системи.

На даний момент як реєстраційний засіб використовується цифрова фотокамера Sony Alpha 6000 (розмір сенсора 4000×6000 пікселів, розмір пікселя — 3.9 мкм). Для її стикування з об'єктивом МТО-1000, який має стандартний різьбовий вихідний отвір (M42), було придбано відповідне байонетне механічне кріплення. Для отримання кадрів плоского поля (flat field) додатково виготовлено знімний розсіювач сонячного випромінювання. У першому варіанті ці кадри отримувались за допомогою розсіювача у вигляді плоского екрану, для освітлення якого було необхідно повертати телескоп на 180° відносно його нормального положення при отриманні основних кадрів. Після 2017 р. використовується новий розсіювач — насадка на об'єктив з матовою плівкою, яка рівномірно освітлює апертуру. У такому варіанті робити поворот телескопа не потрібно.

На рис. 2 представлено фотогеліограф у заводському виконанні (ФГ-1), а на рис. 3 — фотогеліограф після модернізації (на базі МТО-1000).

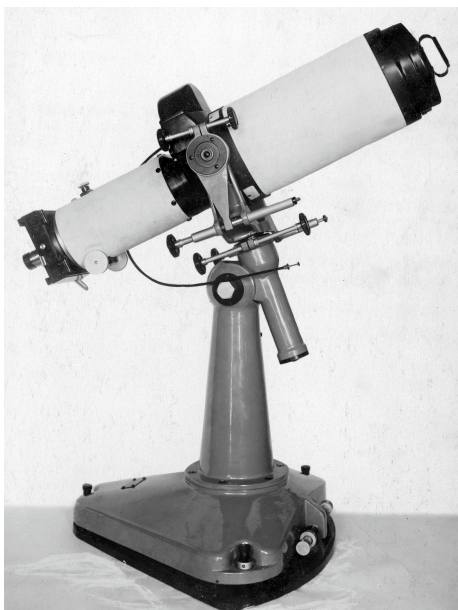


Рис. 2: Фотогеліограф ФГ-1.

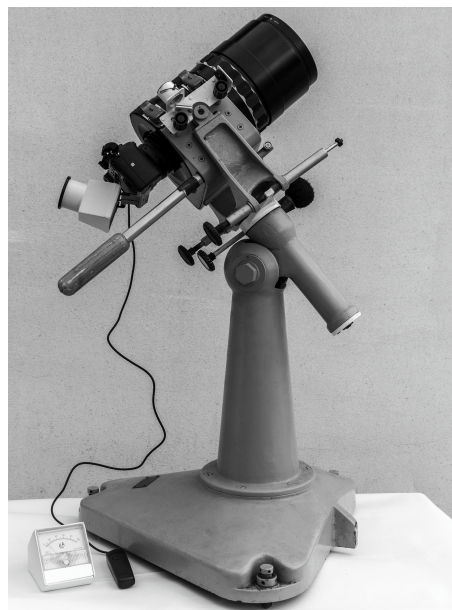


Рис. 3: Фотогеліограф на базі МТО-1000.

В теперішній час ведуться роботи з модернізації гідуючої системи з метою заміни ручного гідуювання на механічне.

## 2. Хромосферно-фотосферний телескоп АФР-2

Хромосферно-фотосферний телескоп АФР-2, виготовлений Ленінградським оптико-механічним об'єднанням (СРСР), було встановлено на замиській станції Астрономічної обсерваторії у 1957 р. Це телескоп-рефрактор з діаметром 0.255 м і фокусною відстанню 5.406 м. На той момент він не був оснащений інтерференційно-поляризаційним фільтром, а тому можна було проводити лише спостереження фотосфери Сонця. У 1963–1965 рр., у рамках Міжнародного року спокійного Сонця, телескоп було оснащено фільтром ІПФ-4 [4], що дало можливість спостерігати хромосферу Сонця у спектральній лінії  $H_{\alpha}$ . Цей телескоп також був оснащений системою швидкої фотореєстрації активних процесів на Сонці (аналогічною до тієї, яка описана в [5]).

Після довготривалого використання виникла необхідність у повному відновленні телескопа та його модернізації. Старий годинниковий механізм ведення було замінено на новий синхронний двигун з блоком живлення через кварцовий генератор. Також було модифіковано механіку фокусування оптичної системи телескопа.

У зв'язку з необхідністю використання в якості приймача випромінювання сучасної КМОН-камери Sony Alpha DSLR-A700 (розмір сенсора  $4256 \times 2819$  пікселів, розмір пікселя — 8.5 мкм) було виготовлено систему кріплення камери [6] і модифіковано оптичну схему телескопа — встановлено додаткову лінзу для змінення поля зору [7]. Також було дещо змінено відстань між елементами оптичної схеми. Встановлено розсіювач для отримання кадрів плоского поля. Зовнішній вигляд телескопа АФР-2 після модернізації показано на рис. 4.

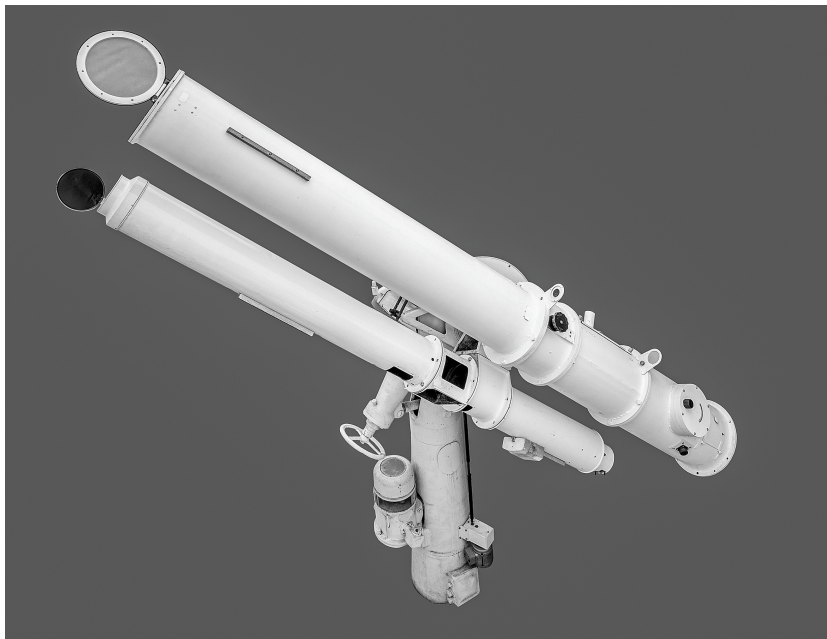


Рис. 4: Телескоп АФР-2 після модернізації.



Також було проведено роботи з модернізації допоміжних пристроїв, які забезпечують роботу інтерференційно-поляризаційного фільтра ПФ-4. Замість старого лампового блоку термостата було виготовлено новий електронний блок живлення на основі сучасних комплектуючих з блоком керування, який дає більш стабільну робочу температуру (відхилення у межах  $\pm 0.05^\circ\text{C}$ ) та дозволяє досягати робочої температури за коротший проміжок часу, ніж старий термостат [4], що дає економію в часі підготовки телескопа до спостережень приблизно 30 хв. Кріплення фільтра, яке у заводському варіанті виконане за схемою “ластівчин хвіст”, було замінено на нове, яке складається з двох анодованих (з почорнінням) пластин з півкруглими вирізами. Пластини обклеєні фетром та оснащені анкерними хомутами-фіксаторами зверху. Такий варіант механізму кріплення дає змогу полегшити встановлення та регулювання інтерференційно-поляризаційного фільтра. Також встановлено електронний термометр для вимірювання температури труби телескопа.

### 3. Математична обробка зображень Сонця

Унаслідок модернізації фотогеліографа на базі МТО-1000 та хромосферно-фотосферного телескопа АФР-2 виникла потреба у новому алгоритмі обробки даних, придатному для роботи з великими масивами вхідних цифрових зображень диска Сонця. Розроблено цілісний пакет програм для цієї задачі.

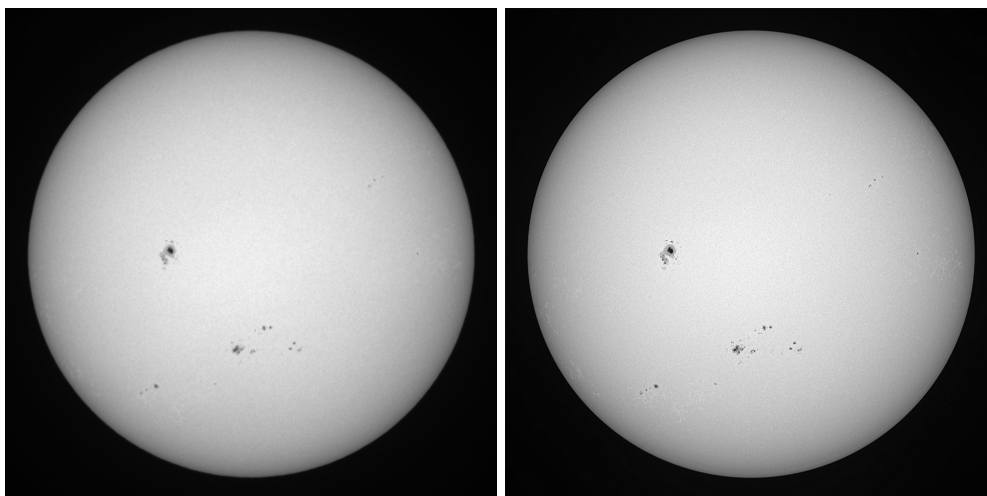


Рис. 5: Фотографія Сонця, отримана 9 вересня 2014 р. за допомогою фотогеліографа на базі МТО-1000 із використанням фотокамери SONY DSLR-A850: *зліва* — один кадр із серії зображень Сонця (всього 120 кадрів, час експозиції кожного кадру 1/800 с, ISO 100), *справа* — кінцеве зображення, отримане шляхом кореляційної обробки серії зображень та підвищення контрасту деталей за допомогою програми *AviStack2*.

Обробка зображень Сонця, отриманих за допомогою телескопів АО ЛНУ, проводиться у три етапи:

- первинна обробка зображень Сонця програмою *Solar Image Preprocessing* (видалення дефектних та неякісних зображень, виділення зеленого каналу, детектування кадрів плоского поля, обрізання кадрів);
- об'єднання зображень за допомогою програми *AviStack2* (<http://www.avistack.de/>) (кореляційна обробка серії зображень — визначення відносних зміщень фрагментів для побудови одного зображення з кращим розділенням);
- вторинна обробка отриманого зображення Сонця програмою *Solar Image Trimming Tool* (поворот зображення, вдрукування інформації про місце, дату і час спостереження).

Приклад результату обробки серії зображень Сонця, отриманих за допомогою фотогеліографа АО ЛНУ після модернізації, показано на рис. 5.

В даний час тривають роботи з вдосконалення цього програмного забезпечення.

## Висновки

Проведено реконструкцію та модернізацію двох телескопів для спостереження Сонця в Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка: фотогеліографа ФГ-1, який дозволяє отримувати зображення Сонця в інтегральному світлі, та хромосферно-фотосферного телескопа АФР-2, який дає зображення Сонця в лінії водню  $H_{\alpha}$ . Розроблено програмний пакет для математичної обробки цифрових зображень диска Сонця.

Виконані зміни дозволять значно підвищити точність реєстрації, спростять проведення спостережень та обробку отриманих у цифровому вигляді результатів. Це дасть змогу продовжити систематичні фотографічні спостереження Сонця в АО ЛНУ. Отримані результати дозволять вивчати особливості зародження і розвитку активних ділянок на Сонці, виконувати цілу низку оригінальних досліджень яскравості хромосферної сітки, фізичних умов у протуберанцях та їх розвитку тощо.

- 
1. Апунович С. Астрономія у Львівському університеті (1661-2021) (монографія) / С. Апунович, М. Ваврух, Н. Вірун та ін. // За ред. чл.-кор. НАН України, д-ра фіз.-мат. наук, проф. Б. Новосядлого. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2021. — 368 с.
  2. Фотогеліограф ФГ-1. Описание и руководство к использованию. Ленинград: ГОСЗ, 1950. — 23 с.
  3. Яковлев А. Ф. Объективы фотографические, киносъемочные, проекционные, репродукционные, для увеличительных аппаратов. Каталог. Часть 1 / А. Ф. Яковлев // Ленинград: ГОИ, 1970. — 470 с.
  4. Олійник П. А. Исследование интерференционно-поляризационного фильтра хромосферно-фотосферного телескопа / П. А. Олійник, А. М. Бильий, Р. П. Качмар // Циркуляр АО ЛГУ. — 1975. — № 50. — С. 20-21.

5. Банин В. Г.  $H_{\alpha}$ -кинематограф СибИЗМИР / В. Г. Банин, Ю. А. Клевцов, В. И. Скоморовский, В. Д. Трифонов // Солнечные данные. – 1981. – № 1. – С. 90-94.
6. Малинич С. З. Модернізація хромосферного телескопа для здійснення цифрової реєстрації зображень / С. З. Малинич, І. Я. Підстригач // Кинематика и физика небесных тел. – 2007. – Т. 20, № 1. – С. 61-64.
7. Пат. №125335. Україна МПК G02B 23/16. Телескоп для спостереження Сонця / Я. Т. Благодир, А. І. Білінський, Є. Б. Вовчик, К. П. Мартинюк-Лотоцький, М. І. Стоділка, Л. М. Янків-Вітковська, І. Я. Підстригач; заявники і власники Національний університет “Львівська політехніка”, Львівський національний університет імені Івана Франка. – №u201711094; заявл. 13.11.2017; опубл. 10.05.2018, Бюл. № 9.

## References

1. С. Апуневич, М. Ваврух, Н. Вірун та ін., Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2021, 368 с.
2. Фотогелиограф ФГ-1. Описание и руководство к использованию, Ленинград: ГОСЗ, 1950, 23 с.
3. А. Ф. Яковлев, Ленинград: ГОИ, 1970, 470 с.
4. П. А. Олійник, А. М. Бильй, Р. П. Качмар, Циркуляр АО ЛГУ **50**, 20-21 (1975).
5. В. Г. Банин, Ю. А. Клевцов, В. И. Скоморовский, В. Д. Трифонов, Солнечные данные **1**, 90-94 (1981).
6. С. З. Малинич, І. Я. Підстригач, Кинематика и физика небесных тел **20**, 61-64 (2007).
7. Пат. №125335. Україна МПК G02B 23/16. Телескоп для спостереження Сонця / Я. Т. Благодир, А. І. Білінський, Є. Б. Вовчик, К. П. Мартинюк-Лотоцький, М. І. Стоділка, Л. М. Янків-Вітковська, І. Я. Підстригач; заявники і власники Національний університет “Львівська політехніка”, Львівський національний університет імені Івана Франка. – №u201711094; заявл. 13.11.2017; опубл. 10.05.2018, Бюл. № 9.

Статтю отримано: 19.05.2023  
Прийнято до друку: 12.07.2023

## Modernization of telescopes for observing the Sun at the Astronomical Observatory of Ivan Franko Lviv National University

O. Baran<sup>1</sup>, Ye. Vovchuk<sup>1</sup>, A. Prysiazhnyi<sup>1</sup>, I. Pidstryhach<sup>1</sup>, I. Sal'nikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Ivan Franko National University of Lviv  
Kyrylo and Mefodiy St., 8, 79005 Lviv, Ukraine  
e-mail: evavovchuk@ukr.net*

At the Astronomical Observatory of the Ivan Franko National University of Lviv (AO LNU) the photoheliograph is used to get images of the Sun in integral light, and the chromospheric-photospheric telescope AFR-2 gives images of the Sun in the hydrogen line  $H_{\alpha}$ . The article presents the details of the work carried out to upgrade these telescopes. In the photoheliograph, the optical system was completely replaced with an MTO-1000 lens, a new mount for the guiding system was made, and a Sony Alpha 6000 digital camera was installed to record images of the Sun. In the AFR-2 telescope, the old clock drive mechanism was replaced with a new synchronous motor powered by a quartz oscillator. The focusing mechanics of the telescope's optical system was also upgraded. The AFR-2 optical system was modified to use a modern Sony Alpha DSLR-A700 CMOS camera. Also, work was done to upgrade the auxiliary devices that ensure the operation of the interference-polarizing filter IPF-4: instead of the old tube power supply for the thermostat, a new electronic power supply based on modern components with a control unit that provides a more stable operating temperature was manufactured; a new fastening mechanism of the interference-polarizing filter was made to facilitate its installation and adjustment; an electronic thermometer was installed to measure the temperature of the AFP-2 telescope tube. Diffusers were constructed for both telescopes to obtain flat-field images. To process the observation data, a complete software package was developed using the AviStack2 program (<http://www.avistack.de/>). These changes will significantly improve the accuracy of registration, simplify observations and processing of the results obtained in digital form. This will make it possible to continue systematic photographic observations of the Sun in the AO LNU.

**Key words:** photoheliograph, chromospheric-photospheric telescope, interference polarizing filter, digital camera, modernization