

УДК 520.86

В. Клецонок, канд. фіз.-мат. наук
 Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,
 В. Карбовський, наук. співроб.
 Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ, Україна,
 М. Буромський, провідний інженер
 Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,
 М. Лашко, наук. співроб., канд. пед. наук
 Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ, Україна,
 В. Єфіменко, канд. фіз.-мат. наук
 Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

МОДЕРНІЗАЦІЯ АСТРОНОМІЧНОГО КОМПЛЕКСУ СПОСТЕРЕЖНОЇ СТАНЦІЇ ЛІСНИКИ

Спостережну станцію Лісники (міжнародний код 585) активно використовують для спостережень малих тіл та навчальної роботи. На станції працюють два телескопи АЗТ-8 ($D = 700$ мм, $\Phi = 2830$ мм, $D/\Phi = 1:4$) і АЗТ-14 ($D = 480$ мм, $\Phi = 7715$ мм, $D/\Phi = 1:16$). Вони мають застарілу конструкцію і потребують модернізації для відповідності сучасним вимогам спостережної астрономії. Світова практика модернізації оптичних телескопів зводиться, зазвичай, до встановлення нових сучасних приймачів світла, зміни оптичної системи, покращення оптичних характеристик шляхом алюмініювання дзеркал. В оптичному діапазоні нині широко використовують ПЗЗ- та КМОН-матриці з покращеними характеристиками, застосування яких дозволяє значно збільшувати проникну здатність і часову, і просторову роздільні здатності телескопів. Сучасні приймачі світла обладнані автоматичними блоками фільтрів із різноманітними наборами астрономічних фільтрів. Для різних задач спостережної астрономії застосовують різні комплекти приймачів світла. З урахуванням цих сучасних вимог розроблено концепцію модернізації спостережного комплексу на базі телескопів АЗТ-14 та АЗТ-8.

2022 р. на телескопі АЗТ-8 в основному фокусі встановлено нову КМОН камеру Moravian C4-16000EC з блоком світлофільтрів UBVR1 фотометричної системи Джонсона – Козінса. У такому варіанті телескоп використовують для моніторингу малих тіл і пошуку нових комет та астероїдів, фотометричних і позиційних спостережень комет, спостережень активних ядер галактик. З метою збільшення поля зору на ПЗЗ-матриці, зменшення розмірів зображень зіроч і збільшення світлосили телескопа АЗТ-14, розроблено та виготовлено оптичний редуктор (у 4.5 рази зменшує фокусну відстань) з блоком ширококуглових BVRI-світлофільтрів. Для спостережень комет у вузькосмугових областях спектра розроблено і виготовлено блок із 8 кометних світлофільтрів, який використовують із ПЗЗ-камерою Ardee Alta U47. Для керування блоком розроблено і виготовлено систему електронного керування, яка включає такі основні електронні вузли: плата датчиків положення світлофільтрів, електронна плата, генератор стабільної частоти, драйвер крокового двигуна, контролер для керування всіма електронними вузлами та для зв'язку з персональним комп'ютером.

Ключові слова: телескопи, ПЗЗ-камери, модернізація.

Вступ. Головним питанням на сучасному етапі розвитку астрономічних досліджень є задача нагальної необхідності технічного переоснащення і модернізації існуючих телескопів для розв'язання наукових і навчально-прикладних задач. Світова практика модернізації оптичних телескопів зводиться, зазвичай, до встановлення нових сучасних приймачів світла, зміни оптичної системи, покращення оптичних характеристик шляхом алюмініювання дзеркал та інтегрованого програмного забезпечення.

Спостережну станцію Лісники (міжнародний код 585) активно використовують для спостережень малих тіл і для навчальної роботи. На станції працюють два телескопи АЗТ-8 ($D=700$ мм, $\Phi=2820$ мм, $D/\Phi=1:4$) і АЗТ-14 ($D=480$ мм, $\Phi=7715$ мм, $D/\Phi=1:16$). Вони мають застарілу конструкцію і потребують модернізації згідно із сучасними вимогами спостережної астрономії.

Багато телескопів у процесі модернізації оснащують сучасними приймачами – ПЗЗ-камерами, оптичними коректорами та високоточними системами наведення й гідуювання [4]. Існують цілі комплекси з різних телескопів, об'єднані кабельними мережами. Управління комплексом здійснюють зі спеціального центру, що міститься в окремому приміщенні й обладнаний необхідними засобами керування [3]. З урахуванням цих сучасних вимог розроблено концепцію модернізації телескопів АЗТ-14 та АЗТ-8.

Телескоп АЗТ-14. АЗТ-14 – рефлектор системи Кассегрена. Діаметр головного дзеркала 480 мм, фокусна відстань 2160 мм, діаметр гіперболічного дзеркала 133 мм, еквівалентний фокус системи 7715 мм, світлосила 1:16. З метою зменшення еквівалентного фокуса телескопа та збільшення поля зору на ПЗЗ-матриці розроблено та виготовлено оптичний редуктор із блоком BVRI-світлофільтрів. Оптико-механічну блок-схему і зовнішній вигляд оптичного редуктора [2] разом із ПЗЗ-камерою Ardee Alta U47 показано на рис. 1. Ця камера може працювати в режимі "drift scan mode", що дозволяє її використовувати для покриттів зір і спостережень космічних апаратів [5].

Установлена близько еквівалентного фокуса системи Кассегрена лінза поля K (колектив) зменшує розбіжність польових пучків, але не змінює їхню апертуру. Колектив дозволяє істотно зменшити діаметр лінз оптичного редуктора R . Діаметр колективу K визначає лінійний поперечник поля зору. Він є ахроматом, склеєним із двох лінз діаметром 70 мм, і має фокусну відстань 242 мм. У фокальній площині його встановлено оптичний редуктор R , який є використаний дороблений об'єктив Carl Zeiss Sonnar. Зміни в конструкції об'єктива описано в авторському свідоцтві № 80430 [2]. Його фокусна відстань: 52,5 мм, відносний отвір: 1:1,5. Він зменшує еквівалентну фокусну відстань телескопа в 4.5 рази, тим самим значно збільшуючи його світлосилу. Для цього оптичного редуктора розроблений блок ширококуглових BVRI-світлофільтрів. Установлюється він перед колективом K . BVRI-світлофільтри – це скляні світлофільтри зі вхідним діаметром 78 мм: Криві пропускання B і V світлофільтрів для реалізації фотометричної системи Джонсона (Johnson), а R і I відповідно R' і I' фотометричної системи Козінса (Cousins) (рис. 2). Положення бло-

© Клецонок В., Карбовський В., Буромський М., Лашко М., Єфіменко В., 2022

ка BVRI-світлофільтрів і колективу *K* відносно фокальної площини телескопа розраховано таким чином, щоб цими оптичними елементами вносились мінімальні спотворення у світловий пучок.

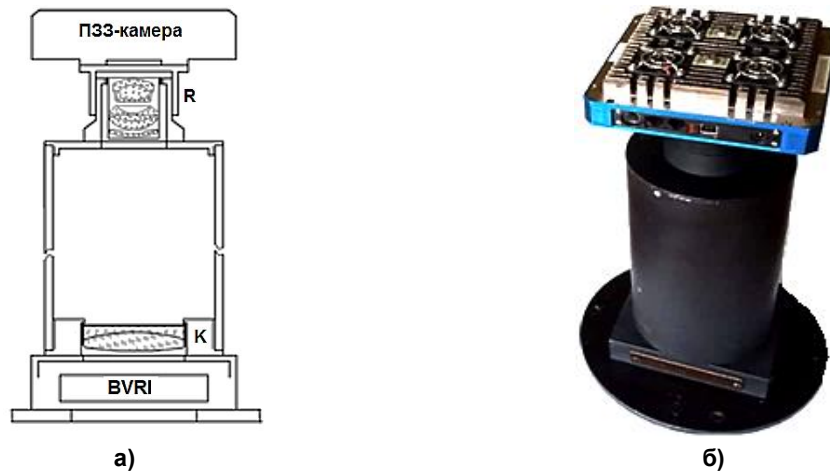


Рис. 1. Оптичний редуктор для телескопа АЗТ-14: а) оптико-механічна блок-схема; б) зовнішній вигляд із ПЗЗ-камерою Aropgee Alta U47

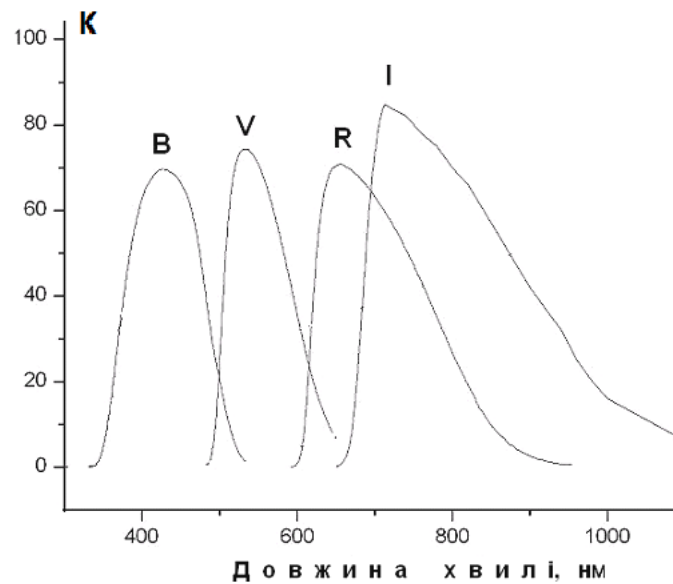


Рис. 2. Спектральні криві пропускання BVRI-світлофільтрів, у відсотках

Для спостережень комет у вузьких ділянках спектра розроблено і виготовлено блок кометних світлофільтрів, який використовують із ПЗЗ-камерою Aropgee Alta U47 (рис. 3).

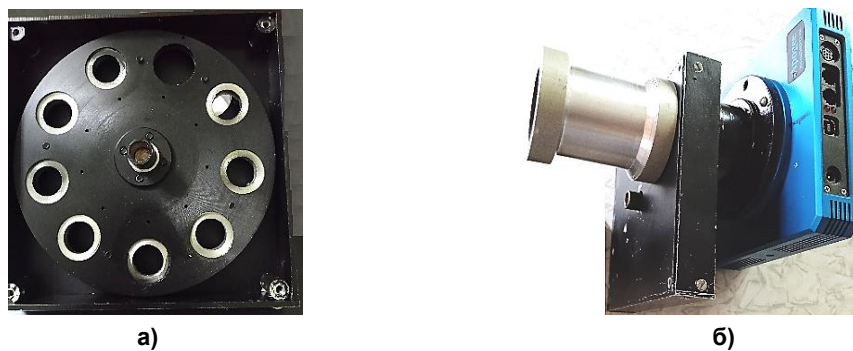


Рис. 3. Блок кометних світлофільтрів: а) внутрішній вигляд; б) з ПЗЗ-камерою Aropgee Alta U47

На турельному диску містяться 8 посадочних місць під інтерференційні кометні світлофільтри діаметром 25 мм і завтовшки 7 мм та один вільний наскрізний отвір. У табл. 1 наведено характеристики кометних світлофільтрів, що використовуються у блоці. Кожен світлофільтр на диску має датчик положення. Диск приводиться в рух кроковим приводом. Вибір потрібного світлофільтра здійснюється програмою з персонального комп'ютера.

Таблиця 1

Характеристики кометних фільтрів

Кометний світлофільтр	Еквівалентна довжина хвиль / Смуга пропускання, А°
CN	3670/62
C3	4062/62
CO+	4266/64
BLUE CONT.	4450/67
C2	5141/118
GREEN CONT.	5260/56
H ₂ O	7020/170
RED CONT.	7128/58

Для керування кроковим двигуном розроблено схему електронного блока. Він містить такі основні електронні вузли: плата датчиків положення світлофільтрів, електронна плата, генератор стабільної частоти, драйвер крокового двигуна, контролер для керування всіма електронними вузлами та для зв'язку з персональним комп'ютером, система живлення (рис. 4).

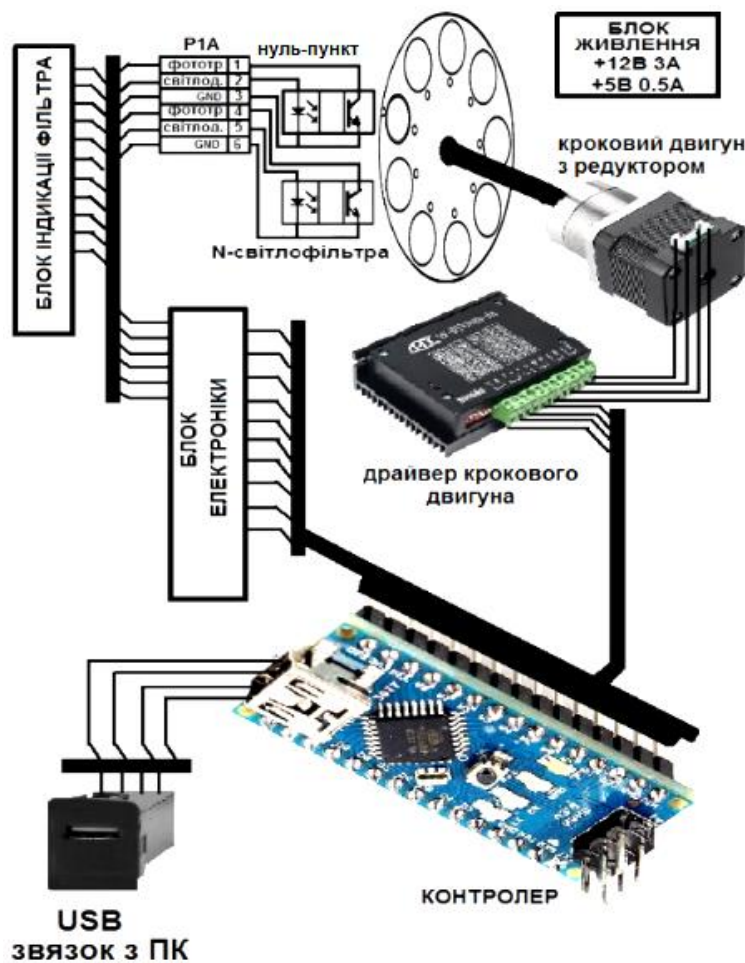


Рис. 4. Структурна схема блока керування кроковим двигуном

З метою проведення спостережень із ПЗЗ-камерою в головному фокусі дзеркала телескопа АЗТ-14, розроблено й виготовлено вузол її кріплення у прямому фокусі (рис. 5). Як приймач зображення використовується ПЗЗ-камера Atik Infinity ATK0144: Sensor – Sony ICX825, кількість пікселів 1392 × 1040, розмір пікселя 6.45 мікрон, розрядність

АЦП – 16 bit. Ця швидкісна камера має пасивне охолодження і використовуватиметься з короткими експозиціями для спостереження покриттів.

Лазерним коліматором здійснено юстування ПЗЗ-камери відносно оптичної осі телескопа. Методика юстування стандартна (рис. 6). Вхідне вікно камери закривалося півсферичною затемненою лінзою. У центрі отвору головного дзеркала телескопа кріпився лазерний коліматор. Відбитий промінь лазерного світлодіода (лс) від напівпрозорого дзеркала (нпдз) суміщався із центром відбитого зображення кілець Ньютона від півсферичної затемненої лінзи. Суміщення проводилось переміщенням вузла кріплення камери у двох напрямках, перпендикулярних до оптичної осі головного дзеркала та корекції нахилу ПЗЗ-камери у вузлі її кріплення для отримання концентричного зображення кілець Ньютона.



Рис. 5. ПЗЗ-камера Atik Infinity в первинному фокусі телескопа АЗТ-14

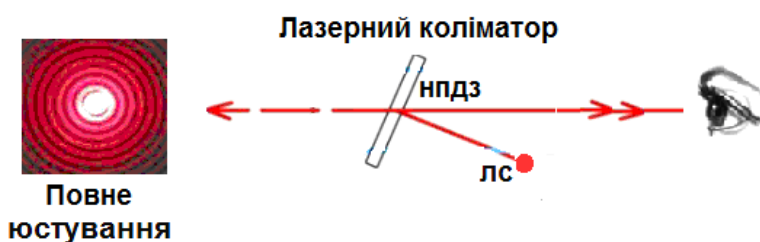


Рис. 6. Юстування ПЗЗ-камери лазерним коліматором

Проведено декілька сеансів тестових спостережень із метою визначення основних параметрів астрономічного спостережного комплексу. Після оброблення кадрів отримано такі результати: поле зору з даною ПЗЗ-камерою – 14.2' × 10.6' (кутових мінут). Якість зображення відповідає розміру зображення зорі 1.8"–2.2". Масштаб зображення – 0.613 "/піксель. За 10 с експозиції в R-світлофільтрі отримано зорі з граничною зоряною величиною 17.3 mag. На рис. 7 показано виділену зорю з каталогу Gaia EDR3 4302812350147523328 із зоряною величиною Gmag 17.316.

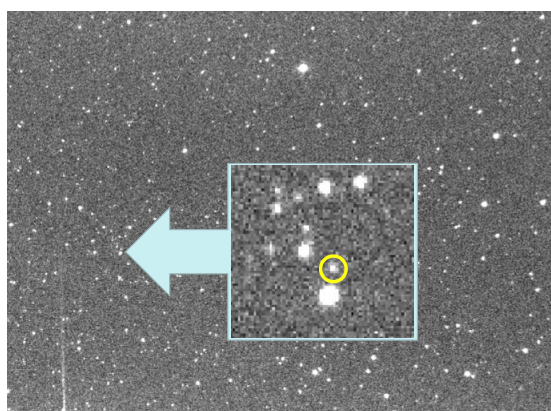


Рис. 7. Зоря EDR3 4302812350147523328 Gmag 17.316

Телескоп АЗТ-8. АЗТ-8 – рефлектор системи Кассегрена. Діаметр головного дзеркала 700 мм, фокусна відстань 2820 мм. У 2022 р. на телескопі в головному фокусі встановлено нову КМОН-камеру Moravian C4-16000EC із блоком UBVR1-світлофільтрів фотометричної системи Джонсона – Козінса (рис. 8).



Рис. 8. КМОН-камера Moravian C4-16000EC із блоком світлофільтрів у первинному фокусі телескопа АЗТ-8

Характеристики камери Moravian C4-16000EC наведено в табл. 2. Спектральні характеристики UBVRi-світлофільтрів зображено на рис. 9.

Для реалізації швидкісних можливостей КМОН-камери Moravian C4-16000EC для спостережень швидкоплинних космічних явищ використовують мікрокомп'ютер Vinga Mini PCV500. Мікрокомп'ютер кріплять безпосередньо на трубі телескопа завдяки його невеликому розміру (140 × 140 мм). До його порту USB3 під'єднано камеру, а через порт RJ45 здійснюється керування ним із головного комп'ютера, на якому зберігаються всі отримані кадри.

Таблиця 2

Технічні характеристики камери Moravian C4-16000EC

Параметр	Значення
Тип	Front Illuminated
Тип сенсора	Full Frame
Модель сенсора	Gsense 4040 CMT
Квантова ефективність	>50 % at 550 nm
Розмір пікселів у мікронах	9 μm × 9 μm
Масив пікселів	4096 × 4096
Діагональ сенсора	52.1 mm
Тип затвора	Mechanical
Шум зчитування	3.9 e- RMS
Інтерфейс	USB 3.0
Охолодження	35 °C below ambient

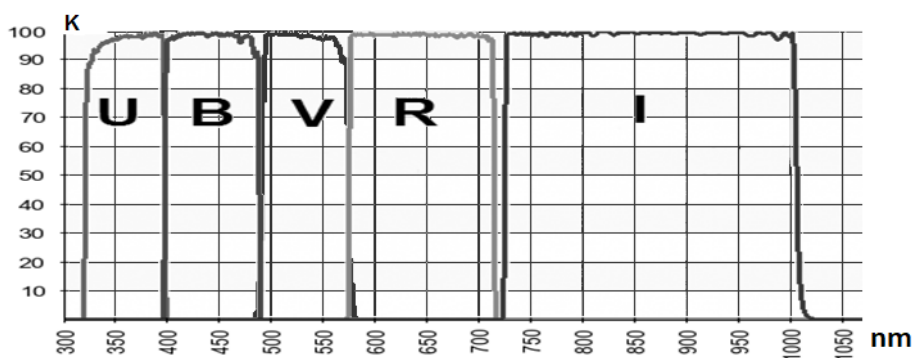


Рис. 9. Спектральні криві пропускання світлофільтрів для камери Moravian C4-16000EC (взято з документації на світлофільтри)

Проведено декілька сеансів тестових спостережень із метою визначення основних параметрів астрономічного спостережного комплексу й уточнення методики спостережень. Для цього виконано спостереження комети C/2017 K2 (PanSTARRS) і ділянки неба навколо неї в UBVRi-світлофільтрах (рис. 10). Після оброблення кадрів

отримано такі результати: поле зору із цієї камерою – 45×45 кутових мінут. За 30 с експозиції в R-світлофільтрі отримано зорі з граничною зоряною величиною 19.3 mag.

Аналіз профілів зображень зірок показав, що вони мають симетричну форму й апроксимуються гаусовим круговим розподілом із шириною піка на половині його висоти (FWHM) близько 2.9–3.4 пікселів або $3,6''$ – $4,0''$ (рис. 11).

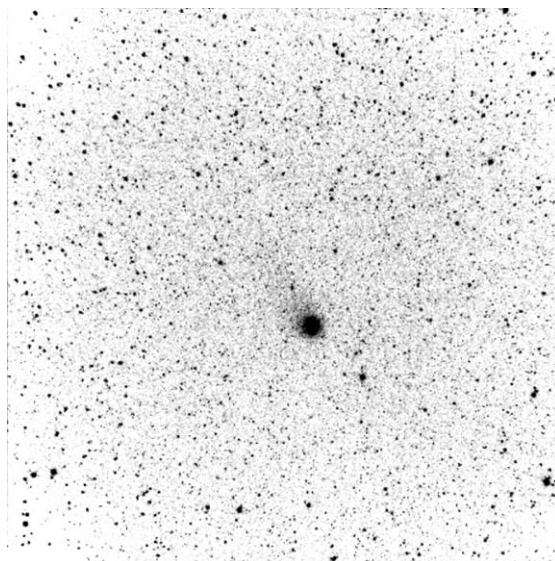


Рис. 10. Тестові спостереження комети C/2017 K2 з камерою Moravian C4-16000EC, які отримані на телескопі АЗТ-8

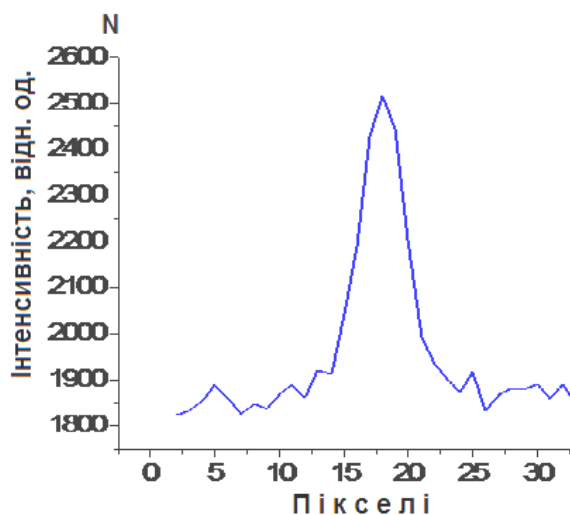


Рис. 11. Профіль зображення зірки

Висновки. У ході першого етапу модернізації астрономічного комплексу спостережної станції Лісники здійснено заміну світлоприймальної апаратури телескопів АЗТ-14 і АЗТ-8. Нові приймачі дозволяють працювати й отримувати результати згідно із сучасними вимогами до телескопів подібного діаметра. Світлоприймальна апаратура телескопа АЗТ-14 дозволяє виконувати спостереження малих тіл зі стандартними BVRI-фільтрами та комет із набором інтерференційних фільтрів, а також швидкісну фотометрію з високою чутливістю. Нова КМОН-камера Moravian C4-16000EC з автоматичним блоком підвищує ефективність використання АЗТ-8 за рахунок збільшення поля зору та швидкісного зчитування кадру. Модернізація дозволила продовжити моніторингові спостереження малих тіл Сонячної системи для отримання фотометричних і позиційних даних для комет і астероїдів на телескопах АЗТ-8 і АЗТ-14 [1].

Список використаних джерел

1. Клещенок В. В., Карбовський В. І., Буромський М. І., Лашко М. В., Горбаньов Ю. М., Кашуба В. І., Кімаковський С. Р., Шавловський В. І., Ангельський О. В., Цехмейстренко В. С., Мишевський М. М., Ревун А. В. Покриття зір малими планетами Сонячної Системи: стан спостережних програм в Україні. – Космічна наука і технологія. – № 5, 2022. – С. 56–66.
2. Карбовський В. Л., Клещенок В. В., Буромський М. І. "Перетворювач фокусної відстані телескопа з блоком BVRI-світлофільтрів". Авторське Свідоцтво № 80430 від 23.07.2018. Авторське право і суміжні права. – № 50. – С. 182.
3. Сергєєв А. В., Бурхонов О. А., Дудінов В. М., Железняк А. П., Круглий Ю. М., Молотов І. С., Шульга В. М., Егамбердієв Ш. А, Конічек В. В., Кочетов О. В. Модернізація телескопа АЗТ-22 Майданацької високогірної обсерваторії: результати тестування. Радиофизика и радиострономия. – 2014, Т. 19, № 1. – С. 20–25.

4. Kovalchuk A., Kozirev E., Shulga A. Восстановление и модернизация телескопа АЗТ8. Abstract Book of "Enlargement of Collaboration in Ground-Based Astronomical Research in SEE Countries. Studies of the Near-Earth and Small Bodies of the Solar System", Nikolaev, September 25–28 2006. – Nikolaev : Atoll, 2006. – P. 61.

5. Kovalchuk A., Mazhaev A., Shulga A. The distributed software system for observation at the robotic telescopes. Abstract Book of "Enlargement of Collaboration in Ground-Based Astronomical Research in SEE Countries. Studies of the Near-Earth and Small Bodies of the Solar System", Nikolaev, September 25–28 2006. – Nikolaev : Atoll, 2006. – P. 62.

References

1. Kleshchonok V.V., Karbovsky V.I., Buromsky M.I., Lashko M.V., Gorbanev Yu.M., Kashuba V.I., Kimakovskiy S.R., Shavlovskiy V.I., Angelskiy O.V., Tsekhnmeistrenko V.S., Myshevskiy N.N., Revun A.V. Star occultation by small bodies of the Solar system: current state of observations in Ukraine // Space Sci. & Technol. – № 5, 2022. – P. 56–66.

2. Karbovsky V.I., Kleshchonok V.V., Buromsky M.I. Peretvoriuvach fokusnoi vidstani teleskopa z blokom BVRI-svitlofiltriv". Avtorske Svidotstvo № 80430 vid 23.07.2018. Avtorske pravo i sumizhni prava. – № 50. – P. 182.

3. Sergeev A.V., Burkhonov O.A., Dudinov V.N., Zheleznyak A.P., Krugly Y.N., Molotov I.E., Shulga V.M., Ehgamberdiev S.A., Konichek V.V., Kochetov A.E. Modernization of AZT-22 Telescope of Maidanak High-Altitude Observatory: Testing Results // Radio Physics and Radio Astronomy. – 2014, V. 19, № 1. – P. 20–25.

4. Kovalchuk A., Kozirev E., Shulga A. Восстановление и модернизация телескопа АЗТ8. Abstract Book of "Enlargement of Collaboration in Ground-Based Astronomical Research in SEE Countries. Studies of the Near-Earth and Small Bodies of the Solar System", Nikolaev, September 25–28 2006. – Nikolaev : Atoll, 2006. – P. 61.

5. Kovalchuk A., Mazhaev A., Shulga A. The distributed software system for observation at the robotic telescopes. Abstract Book of "Enlargement of Collaboration in Ground-Based Astronomical Research in SEE Countries. Studies of the Near-Earth and Small Bodies of the Solar System", Nikolaev, September 25–28 2006. – Nikolaev : Atoll, 2006. – P. 62.

Надійшла до редколегії 28.11.22

V. Kleshchonok, PhD

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine,

V. Karbovsky, Researcher

Main astronomical observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine,

M. Buromsky, engineer

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine,

M. Lashko, Researcher, PhD

Main astronomical observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine,

V. Efimenko, PhD

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

MODERNIZATION OF ASTRONOMICAL COMPLEX OF OBSERVATIONAL STATION LISNYKY

The Lisnyky observation station (international code 585) is actively used for observations of small bodies and for educational purpose. The station operates two telescopes AZT-8 ($D=700$ mm, $F=2830$ mm, $D/F=1:4$) and AZT-14 ($D=480$ mm, $F=7715$ mm, $D/F=1:16$). They have an outdated design and need to be modernized to meet the modern requirements of observational astronomy. The world practice of modernizing optical telescopes is reduced, as a rule, to installing new modern light receivers, changing the optical system, improving optical characteristics by aluminizing mirrors. Light receivers are now CCD image sensors, the use of which allows you to significantly increase the penetrating power (to observe fainter objects) and the temporal and spatial resolution of telescopes. Modern light receivers are equipped with automatic filter units with various sets of astronomical filters. Different sets of light receivers are used for different tasks of observational astronomy. The concept of modernization of the observation complex based on the AZT-14 and AZT-8 telescopes was developed according to these modern requirements.

A new Moravian C4-16000ES CMOS camera (4096×4096 pixels, $9 \times 9 \mu\text{m}$) with a UBVR light filter unit of the Johnson-Cousins photometric system was installed at the main focus of the AZT-8 telescope in 2021. In this version, the telescope is used to monitor small bodies and search for new comets and asteroids, photometric and positional observations of comets, observations of active galactic nuclei.

An optical reducer (4.5 times reduction focal length) with a block of broadband light filters BVRI light filters was developed and manufactured for the AZT-14 telescope in order to increase the field of view on the CCD array, reduce the size of star images and increase the light power of the telescope. A new block of 8 comet narrowband filters, which is used with the Apogee Alta U47 CCD camera, was designed and manufactured for observations of comets. An electronic control system, which includes the following main electronic components: a light filter position sensor board, an electronic board, a stable frequency generator, a stepper motor driver, a controller for controlling all electronic components and for communication with a personal computer, was developed and manufactured for control the unit.

Keywords: telescopes, CCD, modernization.