

УДК 520.2; 523.6  
DOI: <https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2025.72.44-48>

Ігор ЛУК'ЯНИК<sup>1</sup>, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.  
ORCID ID: 0000-0002-3779-7864  
e-mail: iluk@knu.ua

Микола БУРОМСЬКИЙ<sup>1</sup>, провід. інж.  
ORCID ID: 0009-0006-8623-5135  
e-mail: nburomsky@knu.ua

Михайло ЛАШКО<sup>2</sup>, наук. співроб.  
ORCID ID: 0000-0003-4868-1442  
e-mail: lash@mao.kiev.ua

Віктор КАРБІВСЬКИЙ<sup>2</sup>, наук. співроб.  
ORCID ID: 0009-0001-2725-0865  
e-mail: karb@mao.kiev.ua

<sup>1</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
<sup>2</sup> Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ, Україна

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЗАЖИМУ ТА ВІДЖИМУ ПО ОСЯХ ТЕЛЕСКОПА АЗТ-8

**Вступ.** Система зажиму та віджиму по осях прямого піднесення та схилення телескопа АЗТ-8 є важливою складовою точного наведення та стабілізації оптичної труби. Її конструкція, створена кілька десятиліть тому, базується на застарілих електродвигунах типу СЛ-369, які мають низьку енергоефективність, обмежений ресурс роботи та не забезпечують достатньої гнучкості для сучасних систем автоматизованого керування. Необхідність підвищення надійності, точності та дистанційного контролю зумовили потребу в модернізації цього вузла.

**Методи.** Для проведення модернізації виконано аналіз технічного стану наявної системи зажиму та віджиму, розроблено принципову схему заміни, підібрано нові приводи – крокові двигуни NEMA23 57H255-3004ABK із вбудованими гальмами, а також драйвери ТВ6600 для керування ними. Управління реалізовано через мікроконтролер ESP32 з підтримкою Wi-Fi-зв'язку, що забезпечує можливість дистанційного керування з комп'ютера. Для реалізації керування використано методи цифрового керування сигналами.

**Результати.** В результаті модернізації створено оновлену систему зажиму / віджиму телескопа АЗТ-8, що поєднує електронне та програмне керування. Нова система забезпечує плавну роботу, електронне блокування при помилках і дистанційний моніторинг стану. Випробування продемонстрували зниження часу реакції, стабільну роботу гальм, а також можливість інтеграції з майбутньою системою керування телескопом.

**Висновки.** Проведена модернізація системи зажиму / віджиму по часовому куту і по схиленню телескопа АЗТ-8 значно підвищила її надійність і керованість. Застосування крокових двигунів NEMA23 і драйверів ТВ6600 у поєднанні з Wi-Fi-керуванням на базі ESP32 створює основу для подальшої повної автоматизації керування телескопом, що є важливим кроком на шляху підвищення ефективності астрономічних спостережень.

**Ключові слова:** астрономічне приладобудування, телескоп, модернізація, автоматизація.

### Вступ

Телескоп АЗТ-8 ( $D = 0.70$  м,  $f = 2.8$  м) – один із ключових інструментів Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка для проведення фотометричних та астрометричних спостережень малих тіл Сонячної системи, активних ядер галактик, змінних зір та інших астрономічних об'єктів із вимогами стабільності та повторюваності спостережень. Його оптико-механічна конфігурація є класичною для такого типу інструментів, які були створені у другій половині минулого сторіччя, і яка загалом дає змогу проводити моніторинг фотометричних характеристик об'єктів. Проте сучасні вимоги астрометричного та фотометричного аналізу, зокрема й потреба в мінімальних систематичних помилках, проведення серій спостережень із довгими експозиціями й інтеграція із цифровими й автоматизованими обчислювальними ланцюгами, вимагають більшої динамічності, швидкості та точності у наведенні на об'єкт дослідження. Нині триває повна модернізація цього телескопа, мета якої – зведення його технічних характеристик до сучасних стандартів. У статті Лук'яник та ін. (2024) наведено загальну концепцію цієї модернізації. В цій статті ми зосереджуємося на проведенні модернізації системи зажиму та віджиму по осях прямого піднесення та схилення.

Сучасний стан нашого телескопа чітко вказує на потребу модернізації системи зажиму та віджиму. Нині основою цієї системи є електродвигуни СЛ-369, які забезпечують проведення зажиму по прямому піднесенню та віджиму по тій самій осі та по осі схилення. Такі рішення були виправдані в минулому в процесі експлуатації в умовах ручного керування, однак із часом набули деяких обмежень, що суттєво знижують ефективність і точність сучасних наукових спостережень: знос механізмів, обмежена швидкість і динамічна відповідь системи, недосконала інтеграція із сучасними системами віддаленого керування тощо. Тому модернізація системи зажиму та віджиму телескопа є **актуальним** питанням.

Мотивація модернізації зумовлена кількома взаємодоповнювальними чинниками. Зношування обладнання збільшує ризик простоїв і потребує частих технічних втручань, що не відповідає високим вимогам точності астрометричних і фотометричних вимірювань для об'єктів Сонячної системи. Інтеграція із сучасними цифровими системами управління та збирання даних потребує нових протоколів зв'язку, високошвидкісних інтерфейсів і підтримки сучасних алгоритмів калібрування – від реєстрації стану механізмів до онлайн моніторингу та діагностики. Відповідно, модернізація має **на меті** підвищити швидкість і точність позиціонування, зменшити час переходів між спостереженнями різних об'єктів, забезпечити інтеграцію із цифровими системами для автоматизованого збирання й оброблення даних. Відповідно, основним **завданням** є заміна застарілих двигунів на нові крокові двигуни з можливістю віддаленого

© Лук'яник Ігор, Буромський Микола, Лашко Михайло, Карбовський Віктор, 2025

керування їхньою роботою. Очікувані переваги модернізації включають підвищення швидкості наведення, розширення функціональних можливостей системи керування, покращення швидкості реагування на команди з боку систем інтелектуального контролю, а також зменшення експлуатаційних витрат через зниження частоти технічного обслуговування та підвищення надійності. У результаті телескоп АЗТ-8 зможе забезпечити більш стабільні та високоякісні дані для наукових програм, що вимагають тривалих та якісних астрометричних і фотометричних спостережень, а також полегшити інтеграцію із цифровими й автоматизованими режимами роботи.

У підсумку, модернізацію системи зажиму та віджиму по осях телескопа АЗТ-8 розглядають як важливий крок для підвищення надійності, точності й ефективності наукових спостережень, забезпечення сумісності із сучасними цифровими технологіями та зниження експлуатаційних ризиків у довгостроковій перспективі. Це дозволить у подальшому розширювати наукові можливості телескопа та підтримувати належний рівень якості даних у межах програм фотометрії, астрометрії та вивчення малих тіл Сонячної системи.

#### Методи

В основу методів покладено поєднання модернізації, віддаленого керування, електронного захисту та програмну інтеграцію в єдину систему. Такий підхід дає змогу модернізувати вузол телескопа без втручання в існуючу механіку, забезпечивши сумісність із наявними механічними структурами та підвищивши їхню функціональність.

#### Результати

Модернізація системи зажиму та віджиму телескопа АЗТ-8 виконувалася із застосуванням поетапного технічного підходу, що включав аналіз існуючої електромеханічної системи, побудованої на двигунах типу СЛ-369, розроблення схеми заміни на крокові двигуни з електромагнітними гальмами, інтеграцію системи цифрового керування на основі мікроконтролера ESP32 з бездротовим інтерфейсом Wi-Fi, створення програмного інтерфейсу для керування з персонального комп'ютера, проведення калібрування, випробувань і тестів стабільності. Такий підхід дозволив не лише відтворити функції старої системи, а й розширити їх, забезпечивши цифрове керування та моніторинг стану вузлів у реальному часі. Блок-схему нового вузла зажиму та віджиму телескопа по осях наведено на рис. 1.

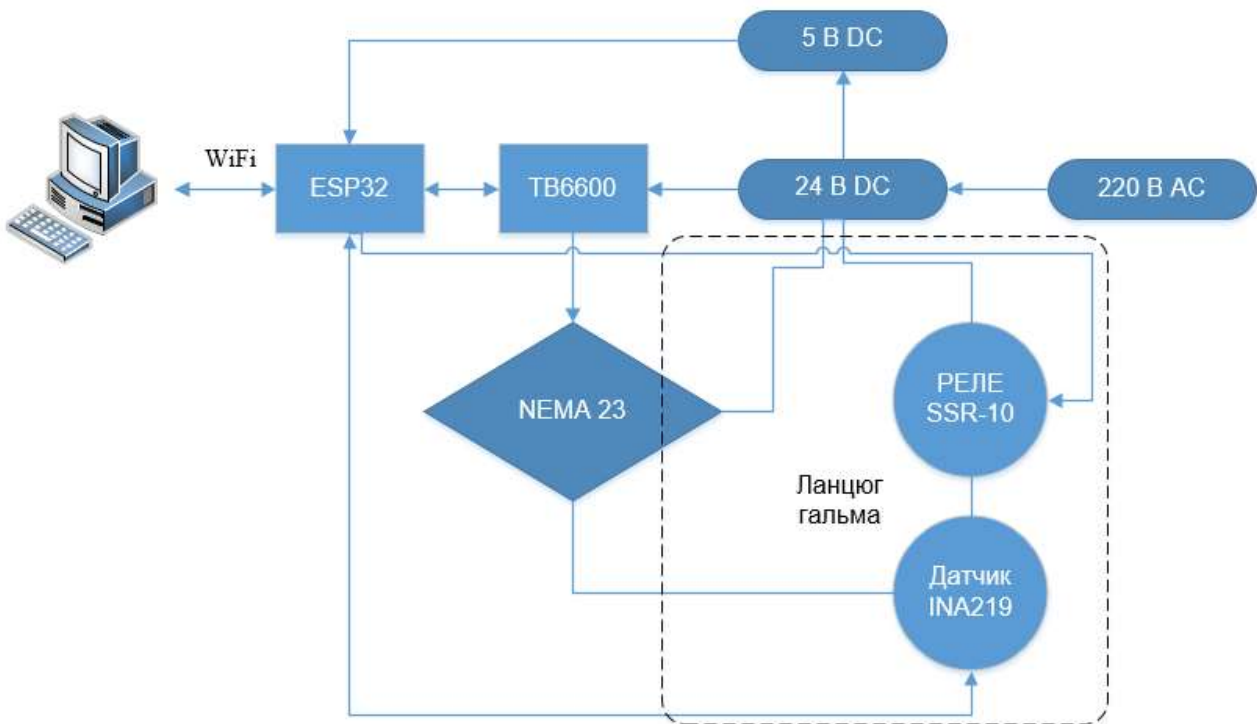


Рис. 1. Нова структурно-логічна схема вузла зажиму та віджиму по осях прямого піднесення та схилення телескопа АЗТ-8

Після аналізу існуючої електромеханічної схеми системи зажиму та віджиму вироблено основні вимоги до нового обладнання, а саме: забезпечення високої точності позиціонування та стабільного утримання положення за відсутності руху; достатній крутний момент для подолання інерції механізмів та утримання навантаження в стані фіксації; надійність і простота керування в інтеграції із сучасними мікроконтролерами (ESP32); можливість дистанційного керування через Wi-Fi-інтерфейс; енергоефективність та електробезпека. Для реалізації цих вимог прийнято рішення замінити застарілі двигуни СЛ-369 на сучасні крокові двигуни NEMA23 57H255-3004ABK із гальмами та використати драйвери TB6600 для керування ними, основні технічні характеристики яких наведено в табл. 1.

Перевагами вибраних двигунів є: високий крутний момент (2.2 Н·м), який забезпечує впевнене утримання механізму зажиму навіть за нерівномірних навантажень або в момент пуску; вбудоване гальмо, яке дає змогу утримувати вал у фіксованому положенні після знеструмлення, що важливо для безпечної фіксації телескопа під час відключення живлення; компактні габарити двигуна дають змогу інтегрувати його у вже існуючу механічну систему без суттєвої переробки кріплень; сумісність із TB6600 забезпечує стабільну роботу під час керування через ESP32, а також дозволяє реалізувати мікрокроковий режим для плавного обертання. TB6600 забезпечує широкий діапазон струму та

напруги, що дозволяє адаптувати налаштування під конкретний двигун; мікрокроковий режим, що відповідає за плавність руху і точне позиціонування зажиму / віджиму; високий рівень захисту, що робить систему стійкою до перенапруг і перевантажень у мережі 24 В DC; сумісність із мікроконтролером ESP32, що спрощує реалізацію Wi-Fi-керування через вебінтерфейс. Ці двигуни NEMA 23 та драйвери TB6600 разом із твердотільними реле SSR-10DD і датчиками струму INA219 являють собою основу *електромеханічної частини*. Для кріплення крокових двигунів у штатні місця замість двигунів СЛ-369, виготовлено перехідні муфти і фланці. Ланцюг гальма підключено до окремих виходів живлення 24 В через твердотільні реле SSR-10DD та датчики струму INA219, які забезпечують швидке зняття, подачу та контроль напруги.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики двигуна NEMA23 57H255-3004ABK та драйвера TB6600

Двигун NEMA23 57H255-3004ABK		Драйвер TB6600	
Параметр	Значення	Параметр	Значення
Тип двигуна	Кроковий двофазний	Робоча напруга	9–42 В DC
Крок	1.8° (200 кроків/оберт)	Максимальний струм	4.5 А
Номінальний струм	3.0 А/фаза	Номінальний тривалий струм	2 А
Опір обмотки	1.1 Ω	Максимальна потужність	150 Вт
Індуктивність	3.6 мГн	Кількість мікрокроків	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Номінальна напруга	3.3 В	Інтерфейс керування	STEP/DIR/ENA
Максимальний крутний момент	2.2 Н·м	Захист	Перенапруга, перевантаження, коротке замикання
Довжина корпусу	76 мм	Тип сигналів керування	TTL, сумісний з ESP32 (3.3 В)
Діаметр вала	8 мм	Максимальна частота ШІМ	100 кГц
Клас точності позиціонування	±5 %	Температура	-40°C – 70°C
Наявність електромагнітного гальма	Так (24 В DC)	Вага	0.18 кг

*Систему керування* побудовано на мікроконтролері ESP32 DevKitC V4, який забезпечує як низькорівневе керування сигналами STEP/DIR/ENABLE для крокових двигунів (STEP і DIR задають кількість кроків і напрямок, а ENABLE контролює живлення), так і комунікацію через бездротову мережу. Основні елементи керування: драйвери TB6600 – по одному для кожного двигуна, із можливістю вибору мікрокроку та струму; Wi-Fi-інтерфейс на основі ESP32, який створює HTTP-сервер і клієнтське з'єднання з ПК, приймаючи команди від користувача (зажим, віджим, стоп, стан системи); програмне забезпечення на ПК. Для керування гальмами використовують окремий цифровий канал ESP32, який подає сигнал на SSR-реле, що розмикає або замикає ланцюг живлення котушок гальм, а через датчики струму INA219 ESP32 контролює наявність струму в ланцюзі гальма.

*Схему живлення та гальванічної розв'язки* побудовано на двох рівнях: 5 В DC для логіки ESP32 та 24 В DC для живлення двигунів, гальм і SSR-реле. Гальванічна розв'язка між ESP32 і силовою частиною забезпечується через датчики струму INA219. Такий підхід мінімізує електромагнітні перешкоди і підвищує надійність роботи.

*Програмна реалізація* виконує такі функції: приймання HTTP- або JSON-команд від комп'ютера; формування керуючих сигналів STEP/DIR для TB6600; контроль стану гальм; видача зворотного зв'язку про поточний стан системи (у вигляді вебсторінки або API-даних). Програма написана мовою C++ з використанням бібліотек ESPAsyncWebServer і WiFi.h. На ПК реалізовано простий вебінтерфейс із кнопками для зажиму, віджиму й індикації статусу.

*Загальна схема роботи нової схеми зажиму/віджиму.* Під час натискання кнопки "Зажим" в інтерфейсі спостерігача, ESP32 надсилає сигнал на твердотільне реле SSR-10DD з командою замкнути ланцюг гальма, що призводить до надходження живлення 24 В до котушки двигуна NEMA23 57H255-3004ABK, знімаючи гальмо з його валу. Також ESP32 через датчик струму INA219 контролює наявність струму в ланцюзі гальма, і тільки в разі його наявності надсилає відповідні команди керування напрямком і швидкістю обертання вала двигуна. Це зроблено для того, щоб захистити двигун від хибних спрацювань, коли йому може бути надіслана команда при включеному гальмі, що може вивести його з ладу.

*Методика тестування та калібрування.* Після монтажу система проходила поетапне тестування: перевірка обертання кожного двигуна в ручному режимі; калібрування кутових переміщень відповідно до механічних характеристик редукторів; визначення швидкості обертання для оптимальної плавності й відсутності пропусків кроків; тестування роботи гальм; перевірка стійкості зв'язку Wi-Fi та часу реакції системи. Отримані дані використовували для налаштування мікрокроку і струму драйверів TB6600 та оптимізації логіки керування у прошивці ESP32.

#### Дискусія і висновки

Модернізація системи зажиму та віджиму телескопа АЗТ-8 стала важливим кроком у підвищенні надійності, точності й автоматизації управління телескопом. Отримані результати засвідчують, що заміна застарілих електродвигунів СЛ-369 на крокові двигуни NEMA23 57H255-3004ABK із вбудованими гальмами та використання TB6600 як драйверів значно підвищила функціональні характеристики системи.

Завдяки переходу на крокові двигуни вдалося досягнути вищої точності позиціонування та покращити стабільність фіксації телескопа у вибраному положенні. Використання електромагнітних гальм забезпечило надійну фіксацію положення навіть під час знеструмлення системи, що є критично важливим для безпеки телескопа та стабільності спостережень. Драйвери TB6600 показали високу сумісність з мікроконтролером ESP32, а підтримка мікрокрокового режиму дозволила досягти плавного руху за мінімального вібраційного навантаження на оптико-механічну систему.

Система керування на базі ESP32 з Wi-Fi-інтерфейсом дозволила реалізувати дистанційне управління і моніторинг стану в реальному часі. Завдяки вебінтерфейсу користувач може виконувати базові операції (зажим, віджим, зупинка) та отримувати зворотну інформацію про стан гальм, живлення і положення. Це значно полегшує інтеграцію системи з майбутніми модулями автоматизованого наведення телескопа та системами планування спостережень.

Тестування системи в реальних умовах показало високу стабільність роботи та стійкість до електромагнітних перешкод, що стало можливим завдяки гальванічній розв'язці між логічною та силовою частинами схеми через твердотільні реле SSR-10DD і датчики струму INA219. Затримка від прийому команди до виконання становила менше 100 мс, що повністю задовольняє вимоги для ручного й напіваавтоматичного керування під час спостережень.

Важливою перевагою розробленої системи є її модульність – можливість масштабування або дублювання системи для інших вузлів телескопа без значних змін у конструкції. Крім того, відкритість апаратної та програмної архітектури ESP32 дозволяє у перспективі реалізувати інтеграцію з протоколами ASCOM, INDI або іншими астрономічними стандартами керування.

Проведена модернізація забезпечує:

- суттєве підвищення точності та стабільності позиціонування телескопа АЗТ-8;
- зниження експлуатаційних витрат і потреби у технічному обслуговуванні;
- можливість віддаленого й автоматизованого керування;
- сумісність із цифровими системами спостереження.

Подальші роботи передбачають інтеграцію нової системи з комплексом автоматичного наведення та відстеження об'єктів, а також розроблення єдиного програмного середовища управління телескопом, що об'єднає всі вузли – від механічних до оптичних – у систему моніторингу та контролю.

Отже, реалізована модернізація є не лише технічним оновленням окремого вузла, а й важливим кроком до створення модернізованої системи управління телескопом АЗТ-8, що відповідає сучасним вимогам до інструментів такого типу.

**Внесок авторів:** Ігор Лук'яник – концептуалізація, методологія, проектно-конструкторські і технологічні роботи, програмне забезпечення, формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка); Віктор Карбівський – методологія, написання (перегляд і редагування); Микола Буромський – підготовка, проектно-конструкторські і технологічні роботи; Михайло Лашко – підготовка і технологічні роботи.

**Джерела фінансування.** Роботу виконано за фінансування Міністерством освіти і науки України (проект № ДР 0124U001304).

#### Список використаних джерел

Лук'яник І., Карбовський В., Клещонок В., Буромський М., & Лашко М. (2024). Проект модернізації телескопа АЗТ-8. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія*, 69, 23–29. <https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2024.69.23-29>

#### References

Luk'yanyk I., Karbovskiy V., Kleschonok V., Buromskiy M., & Lashko M. (2024). AZT-8 telescope modernization project. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University. Astronomy*, 69, 23–29. <https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2024.69.23-29>

Отримано редакцією журналу / Received: 06.10.25

Прорецензовано / Revised: 26.10.25

Схвалено до друку / Accepted: 11.11.25

Igor LUK'YANYK<sup>1</sup>, PhD (Phys. & Math.), Senior Researcher  
ORCID ID: 0000-0002-3779-7864  
e-mail: iluk@knu.ua

Mykola BUROMSKY<sup>1</sup>, Leading Engineer  
ORCID ID: 0009-0006-8623-5135  
e-mail: nburomsky@knu.ua

Mykhailo LASHKO<sup>2</sup>, Researcher  
ORCID ID: 0000-0003-4868-1442  
e-mail: lash@mao.kiev.ua

Viktor KARBIVSKY<sup>2</sup>, Researcher  
ORCID ID: 0009-0001-2725-0865  
e-mail: karb@mao.kiev.ua

<sup>1</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

## MODERNIZATION OF THE CLAMPING AND UNCLAMPING SYSTEM ALONG THE AXES OF THE AZT-8 TELESCOPE

**Background.** *The clamping and unclamping system along the right ascension and declination axes of the AZT-8 telescope is an important component for precise pointing and stabilization of the optical tube. Its design, developed several decades ago, is based on outdated SL-369 electric motors, which have low energy efficiency, a limited service life, and insufficient flexibility for modern automated control systems. The need to improve reliability, precision, and remote control capabilities has necessitated the modernization of this subsystem.*

**Methods.** *To carry out the modernization, an analysis of the current technical state of the clamping/unclamping system was performed, and a replacement circuit was designed. New actuators were selected – NEMA23 57H255-3004ABK stepper motors equipped with built-in brakes – along with TB6600 drivers for their control. The system is operated through an ESP32 microcontroller with Wi-Fi support, enabling remote control from a computer. The control logic is implemented using digital STEP/DIR signal management methods.*

**Results.** *As a result of the modernization, an updated clamping/unclamping system of the AZT-8 telescope was developed, integrating both electronic and software control. The new system provides smooth operation, electronic fault locking, and remote state monitoring. Testing demonstrated reduced response time, stable brake operation, and the potential for integration with the future telescope control system.*

**Conclusions.** *The modernization of the AZT-8 telescope's clamping/unclamping system for the hour angle and declination axes has significantly improved its reliability and controllability. The use of NEMA23 stepper motors and TB6600 drivers combined with Wi-Fi-based ESP32 control establishes a foundation for full automation of the telescope's control system, marking an important step toward increased efficiency of astronomical observations.*

**Keywords:** *astronomical instrumentation, telescope, modernization, automation.*

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.