

УДК 523.682, 681.7, 621.397.42, 004.735
DOI: <https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2025.72.67-73>

Альона МОЗГОВА, канд. фіз.-мат. наук
ORCID ID: 0000-0002-8490-4327
e-mail: alenamozgova@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Олександр ГОЛУБАЄВ, канд. фіз.-мат. наук
ORCID ID: 0000-0002-3265-5285
e-mail: alexandr_sky1@ukr.net

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

КОНЦЕПЦІЯ СУЧАСНОЇ АВТОНОМНОЇ МЕТЕОРНОЇ СТАНЦІЇ В АСТРОНОМІЧНІЙ ОБСЕРВАТОРІЇ КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА НА ОСНОВІ ПЛАТФОРМИ RMS І МОЖЛИВОСТЕЙ ШІ

Вступ. Ефективне отримання та оброблення даних спостережень метеорів із подальшим точним визначенням їхніх кінематичних і фізичних характеристик вимагає постійного вдосконалення як оптичних приладів, так і методів оброблення інформації. У цій роботі представлено початкові результати модернізації відеоспектрального метеорного комплексу (ВСК) в Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка (АО КНУТШ).

Методи. Модернізацію ВСК здійснюють за допомогою інтеграції платформи Raspberry Pi Meteor Station (RMS) – програмного забезпечення з відкритим кодом, розробленого в межах ініціативи Глобальної метеорної мережі (Global Meteor Network, GMN). RMS призначено для автоматичного виявлення метеорів, аналізу їхніх траєкторій і завантаження результатів на хмарні сервери GMN. Заплановано розгорнути дві станції: одну – для позиційних спостережень, іншу – для реєстрації спектрів метеорів за допомогою дифракційної ґратки (500–600 штрихів/мм). У майбутньому передбачено інтеграцію відкритих технологій, сучасного обладнання та компонентів штучного інтелекту для розв'язання окремих задач метеорної астрономії, зокрема – розроблення на основі ШІ програмного забезпечення для моделювання траєкторій метеороїдів із метою прогнозування місць падіння метеоритів.

Результати. Спостережний комплекс зібрано та налаштовано в лабораторних умовах. Проведено тестові спостереження метеорів протягом ночей із 25 по 29 жовтня 2025 р., перевірено коректність астрометричної прив'язки, стабільність частоти кадрів ($25,000 \pm 0,02$ FPS) та автоматичне виявлення метеорних подій. Отримано дані про кінематичні параметри метеорних тіл, спостережених у земній атмосфері, а також розраховано елементи їхніх орбіт.

Висновки. Отримані результати підтверджують технічну реалізованість і наукову перспективність запропонованого підходу. Інтеграція RMS у відеоспектральний комплекс дає змогу створити автономну, масштабовану та глобально інтегровану систему метеорних спостережень. Подальше виконання поставлених завдань передбачає повноцінне розгортання станцій у спостережних пунктах Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка та розширення Української метеорної спостережної мережі (УМСМ).

Ключові слова: метеори, метеороїди, оптичні прилади, системи цифрового відеоспостереження, Українська метеорна спостережна мережа (УМСМ), Global Meteor Network (GMN), Raspberry Pi Meteor Station (RMS).

Вступ

Сучасна метеорна астрономія інтенсивно переходить до автоматизованих мережних систем спостережень, які забезпечують оперативне отримання науково важливих даних. У зазначеному контексті ключове значення має інтеграція національних спостережних комплексів у глобальні наукові ініціативи. У цій роботі представлено початкові результати модернізації відеоспектрального метеорного комплексу в Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка (АО КНУТШ). Основна мета роботи – підвищення ефективності наземних спостережень метеорів за допомогою повної автоматизації процесів реєстрації, оброблення та передачі даних.

Останні 15 років характеризуються активним розвитком регіональних і національних мереж відеокамер у багатьох країнах, що дозволяє з високою точністю визначати тривимірні траєкторії метеорів. Однією з провідних глобальних ініціатив у цій галузі є ГММ, мета якої – об'єднати окремі мережі в єдину інтегровану систему. Основу модернізації ВСК становить інтеграція платформи RMS – відкритого програмного забезпечення, розробленого в межах ініціативи ГММ (Global Meteor Network. RMS Documentation, <https://globalmeteonetwork.org>; Vida et al., 2021). RMS забезпечує автономну роботу станції, автоматичне виявлення метеорів, розрахунок атмосферних і геліоцентричних параметрів, а також передачу даних до хмарної бази ГММ. На початок 2025 р. в ГММ зареєстровано 1955 RMS-станцій, які зафіксували понад 2 млн базисних метеорів. Це свідчить про високу наукову ефективність підходу та його широке міжнародне визнання.

Україна нині представлена лише шістьма аматорськими RMS-станціями – чотирма в Києві та двома в Одесі (Global Meteor Network. Camera Status, <https://globalmeteonetwork.org/status>). Хоча ці спостереження демонструють важливість участі любителів метеорної астрономії, більша частина неба над територією України залишається без систематичного покриття. З метою усунення цього недоліку ми плануємо розширити географію метеорних патрулів і залучити місцевих ентузіастів до створення Української метеорної спостережної мережі. Це дозволить значно посилити просторове покриття неба, збільшити кількість реєстрацій і підвищити наукову цінність отриманих даних.

Ця робота є логічним продовженням попереднього досвіду авторів. У 2019 р. в Інституті астрономії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна було реалізовано Автоматизований відеоспектральний метеорний патруль (АВСМП), який дозволяв одночасно отримувати кінематичні параметри, орбіти метеорних тіл та їхні спектри для дослідження фізико-хімічних властивостей метеороїдів і метеорної плазми (Голубаєв, & Мозгова, 2024; Мозгова, & Голубаєв, 2022). Незважаючи на те, що спостережна станція АВСМП була знищена під час повномасштабного вторгнення Росії в Україну, накопичені методики, програмне забезпечення та науковий досвід були збережені та стали основою нової системи в АО КНУТШ.

© Мозгова Альона, Голубаєв Олександр, 2025

Представлені в цій роботі результати є складовою стратегічної ініціативи зі створення УМСМ (Голубаєв та ін., 2022), спрямованої на подолання обмежень ручної обробки даних і забезпечення оперативного реагування на рідкісні події, зокрема й боліди. Це дозволить глибше досліджувати динаміку міжпланетної речовини, оцінювати потенційні загрози та встановлювати походження метеорних тіл.

Ми робимо акцент на тому, що ефективне вивчення метеорів можливе лише за умови функціонування розподіленої мережі станцій, яка реєструє події з різних точок земної поверхні. Лише такий підхід дозволяє визначати тривимірні траєкторії, геліоцентричні орбіти та прогнозувати можливість падіння метеоритів. Саме тому сьогодні є нагальна потреба в глибокій модернізації метеорних патрулів і методик обробки спостережного матеріалу. Ця робота є першим кроком у зазначеному напрямку на базі АО КНУТШ.

Методи

На етапі лабораторних випробувань зібрано й налаштовано три RMS-камери, які в майбутньому будуть розгорнуті на двох спостережних пунктах АО КНУТШ – у селах Пилиповичі та Лісники. Кожну відеокамеру розміщено в герметичному боксі (рис. 1), що гарантує її роботу за будь-яких погодних умов.



Рис. 1. Конструкція RSM-відеокамери для спостережень метеорів: 1 – об'єктив; 2 – HD-камера із сенсором Sony STARVIS IMX462; 3 – 15-контактний FPC-шлейф; 4 – мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4 Model B (8 ГБ ОЗП); 5 – Gigabit PoE Splitter; 6 – модуль реального часу DS3231; 7 – система охолодження й опалення внутрішнього простору захисного бокса; 8 – захисний кожух (бокс) для камер відеоспостережень

Об'єктиви з фокусною відстанню 4 мм і 6 мм забезпечують поле зору до 80° і проникну здатність до $+7^m$. Камера базується на мікрокомп'ютері Raspberry Pi 4 Model B (8 ГБ ОЗП) та HD-камері із сенсором Sony STARVIS IMX462 (розмір матриці дорівнює $1/2,8''$, роздільна здатність становить 1920×1080 пікселів). Для підвищення чутливості в умовах низької освітленості ($\text{SNR}_{1s} = 0,18$ лк) було демонтовано заводський ІЧ-фільтр, що дає змогу максимально використовувати світловий потік від метеорів. Камера під'єднана до мікрокомп'ютера через 15-контактний FPC-шлейф і працює в режимі нестисненого відеопотоку (8 біт). Для живлення та передачі даних застосовується розгалужувач (Gigabit PoE Splitter) у поєднанні з інжектором (Raspberry Pi PoE+ HAT), що забезпечує стабільне живлення (5 В, 3 А) та підключення до мережі. Операційну систему RMS встановлено на мікро-SD карті класу SDXC UHS-I (256 ГБ, швидкість зчитування – 150 МБ/с), що достатньо для автономного зберігання даних протягом кількох тижнів і швидкості роботи ОС мікрокомп'ютера. Для забезпечення точного часу за відсутності інтернет-зв'язку використовують модуль реального часу DS3231 із точністю $\pm 0,0005\%$.

Програмне забезпечення RMS, написане мовою Python і розповсюджене з відкритим кодом, автоматично запускається за 30 хв до астрономічної ночі та закінчує роботу через 30 хв після її завершення. Воно виконує повний цикл оброблення спостережних даних: виявлення метеорів, астрометричне калібрування (на основі каталогу зір), розрахунок фотометричних і кінематичних параметрів, а також завантаження результатів до хмарної бази ГММ для подальшої триангуляції та визначення орбіт.

Результати

На етапі лабораторних випробувань зібрано та налаштовано всі компоненти метеорного спостережного комплексу. Тестові нічні спостереження проводилися крізь вікно лабораторії у період з 25 по 29 жовтня 2025 р.

Ключовим параметром для визначення кутової швидкості руху метеора на зображенні та подальшого розрахунку просторової швидкості в земній атмосфері метеорного тіла є частота формування відеокадрів (FPS), яка становить 25 кадрів за секунду. Графіки, зображені на рис. 2, генеруються автоматично програмним забезпеченням RMS під час

оброблення спостережних даних і слугують інструментом моніторингу стабільності роботи відеокамери. Під час первинного тестування виявлено значні коливання продуктивності системи, спричинені використанням останньої версії операційної системи RMS для Raspberry Pi 4. Зокрема, час формування блоків із 250 кадрів варіювався в межах від 16,242 с до 28,872 с, з медіанним значенням $16,922 \pm 1,094$ с, що відповідає середній частоті $15,12767 \pm 0,85$ FPS (рис. 2а). Після повернення до попередньої версії операційної системи RMS-камера демонструвала стабільну роботу із середньою частотою формування кадрів $25,00002 \pm 0,02$ FPS. Це значення відповідає формуванню блока з 250 кадрів за $10,240 \pm 0,009$ с (рис. 2б) і повністю узгоджується із запроєктованими характеристиками обладнання.

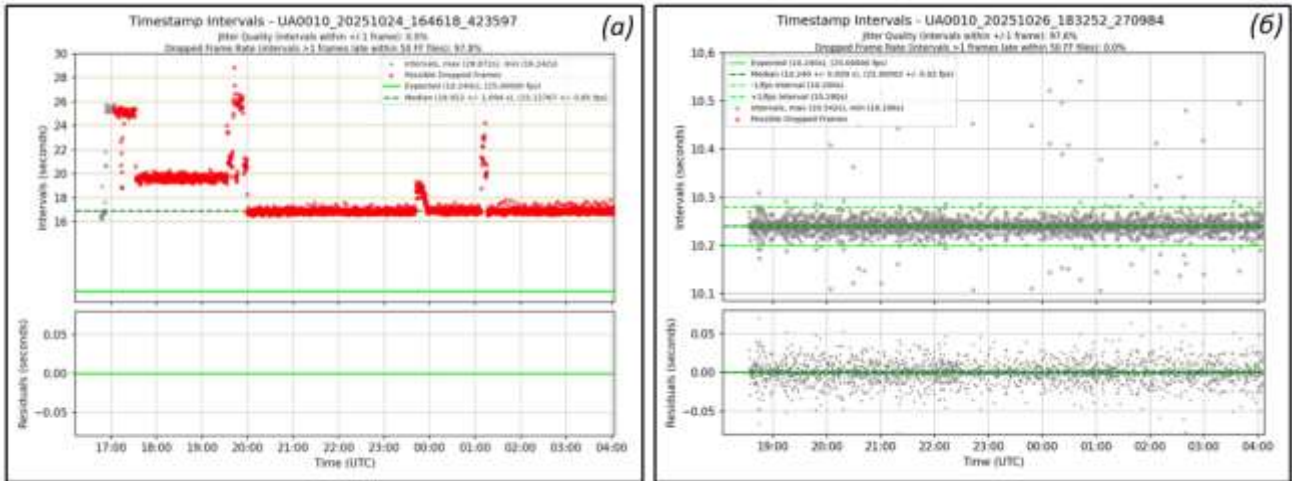


Рис. 2. Аналіз стабільності частоти оновлення кадрів (FPS – кадри за секунду) RMS-камери під час тестових метеорних спостережень: а) – нестабільна робота під час використання останньої версії операційної системи RMS для Raspberry Pi 4 (середня частота становила $15,12767 \pm 0,85$ FPS, медіана часу формування блока з 250 кадрів – $16,922 \pm 1,094$ с); б) – стабільна робота після повернення до попередньої версії ОС (середня частота становить $25,00002 \pm 0,02$ FPS, що відповідає формуванню блока з 250 кадрів за $10,240 \pm 0,009$ с). Графіки автоматично згенеровано програмним забезпеченням RMS під час оброблення спостережних даних

Проведено ідентифікацію метеорних подій на тестових відеозаписах. На рис. 3а і 3б показано приклад метеорних траєкторій, зафіксованих RMS-камерою. Викривлення окремих траєкторій на зображеннях обумовлено оптичними спотвореннями через скло вікна лабораторії, крізь яке проводилося спостереження нічного неба. Нині основна мета дослідження – тестування та калібрування камери для подальших повноцінних спостережень, тому у цьому випадку такі спотворення не мали особливого значення. Крім того, під час першої серії тестових спостережень, на відеокадрах спостерігалася біла горизонтальна смуга, яка очевидно являла собою сторонній шум (рис. 3а). Аналіз показав, що цей артефакт виникав через електромагнітні перешкоди від Wi-Fi-модуля мікрокомп'ютера, які є результатом відбивання електромагнітних хвиль від внутрішньої поверхні алюмінієвого захисного кожуха камери. Для усунення проблеми було вимкнено Wi-Fi та підключено систему до дротової інтернет-мережі.

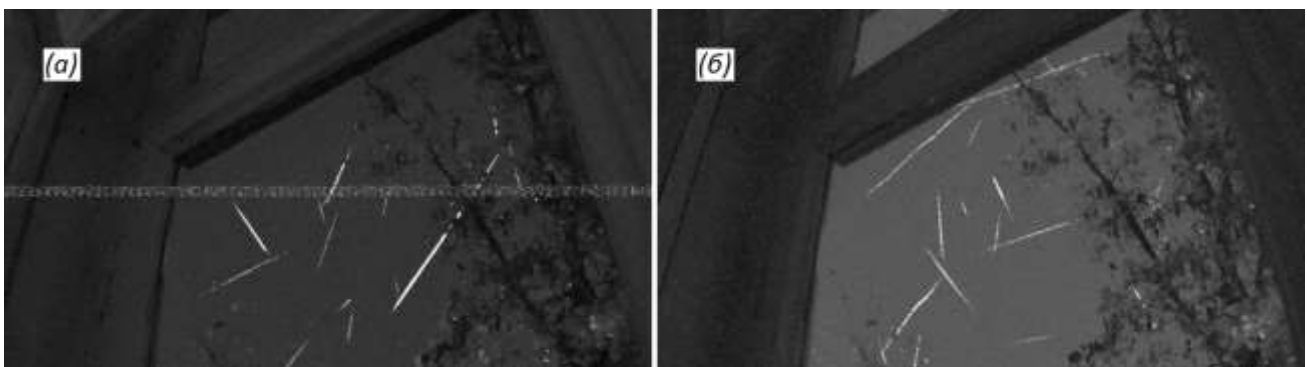


Рис. 3. Приклад спостережень метеорів за допомогою RMS-камери в тестовому режимі. На зображенні узагальнено траєкторії метеорів, зафіксованих протягом ночей: а) 25–26 жовтня, б) 26–27 жовтня 2025 р. Деякі траєкторії мають викривлену форму через оптичні спотворення, спричинені склом вікна. Основна мета роботи – тестування камери та її калібрування для подальших повноцінних спостережень

Програмне забезпечення RMS успішно виконало автоматичне виявлення опорних зір у полі зору камери, необхідних для астрометричної прив'язки метеорних траєкторій. На кадрі також (рис. 4) видно елементи навколишнього середовища – дерева та раму вікна, крізь яке проводилися спостереження. Після встановлення камери на постійному місці повноцінних спостережень планується створення маски, яка виключатиме з аналізу отриманих зображень ті ділянки поля зору, які закриті постійними перешкодами (напр., будівлями чи деревами).



Рис. 4. Приклад інтерфейсу програмного забезпечення RMS для автоматичної ідентифікації опорних зір у полі зору камери, необхідних для астрометричної прив'язки метеорних траєкторій. Зображення отримано в тестовому режимі

На рис. 5 показано приклад ідентифікації базисних метеорів, спостережених одночасно з іншими станціями мережі RMS. У результаті спільного аналізу даних виявлено два метеори, зареєстровані одночасно станцією № 0010 (тимчасове позначення RMS-камери АО КНУТШ, що налаштовується та використовується для досліджень; після монтування камери на одній із спостережних станцій її номер офіційно буде зареєстровано в системі ГММ) та станціями № 0003 і № 0004 (офіційно зареєстровані в системі ГММ RMS-камери, що належать астроному-аматору на території України). Аналіз спостережних даних було доповнено завдяки співпраці з астрономами-аматорами, які провели незалежні відеоспостереження. Порівняння їхніх результатів із даними, отриманими на станції № 0010, дало змогу надійно асоціювати зареєстровані метеори з відповідними метеорними потоками.

Спостереження зафіксували активність двох добре відомих метеорних потоків: Північні Тауриди (Northern Taurids, NTA) та Lambda Ursae Majorids (LUM). Тауриди характеризуються наявністю двох радіантів – північного та південного – і пов'язані з пиловим комплексом комети 2P/Encke (International Meteor Organization, <https://www.imo.net>; Tomko, & Neslušan, 2019). Lambda Ursae Majorids – це невеликий метеорний потік із низькою активністю, який можна спостерігати протягом кількох днів (максимум активності припадає на 28 жовтня). Він, імовірно, пов'язаний із кометою C/1975 T2 (Suzuki – Saigusa – Mori) (International Meteor Organization, <https://www.imo.net>; Jenniskens et al., 2021).

В результаті оброблення зафіксованих базисних метеорів були визначені параметри атмосферних траєкторій (табл. 1, 2) та геліоцентричні орбітальні елементи метеорних тіл (табл. 3).

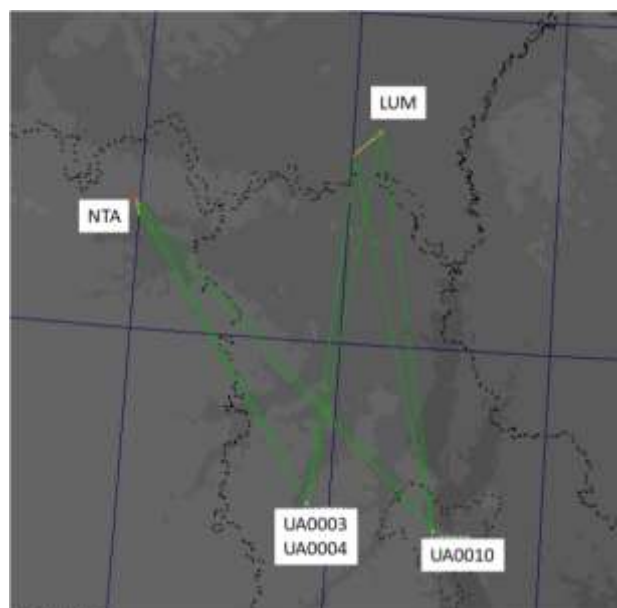


Рис. 5. Приклад спільної ідентифікації базисних метеорів (спостереження 28–29 жовтня 2025 р.) станціями RMS № 0010 (АО КНУТШ) та № 0003 і № 0004 (дві аматорські камери, розташовані в одному пункті). Показано траєкторії двох метеорів, пов'язаних із потоками Північні Тауриди (NTA) і Lambda Ursae Majorids (LUM)

Таблиця 1

Спостережні параметри базисних метеорів

№	ID1/ID2	Дата (UT), час (UT)	Sol (°)	Ra (°)	Dec (°)	Vg (км/с)	Mag
<i>Lambda Ursae Majorids (LUM)</i>							
1	UA0003/ UA0010	28 жовтня 2025 р. 21 год 54 хв 57 с	215,381165	100,7537	63,00636	54,3	-0,5
	UA0010/ UA0003			100,7677	63,00686	53,4	-0,1
	Середнє значення			100,7607 ±0,0070	63,00661 ±0,00025	53,9 ±0,5	-
<i>Північні Тауриди (NTA)</i>							
2	UA0010/ UA0004	28 жовтня 2025 р. 22 год 18 хв 10 с	215,397263	48,22187	16,7134	24,1	2,3
	UA0004/ UA0010			48,23313	16,89452	25,7	0,8
	Середнє значення			48,2275 ±0,0056	16,80396 ±0,09056	24,9 ±0,8	-

ID1/ID2 – ідентифікатори RMS-станцій у метеорній спостережній мережі, які брали участь у спільному визначенні траєкторії (ID1 – основна станція, ID2 – допоміжна); Sol – сонячна довгота; Ra, Dec – екваторіальні геоцентричні координати радіанта: пряме піднесення та схилення відповідно; Vg – геоцентрична швидкість метеороного тіла; Mag – видима зоряна величина метеора у максимумі блиску.

Таблиця 2

Просторові координати початку та кінця базисних метеорів

№	lng1m (°)	lat1m (°)	H1 (км)	lng2m (°)	lat2m (°)	H2 (км)
<i>Lambda Ursae Majorids (LUM)</i>						
1	30,130581	51,643284	108,699631	30,012209	51,572666	92,2
	30,135653	51,646618	109,481041	30,004536	51,568409	91,2
<i>Північні Тауриди (NTA)</i>						
2	29,000999	51,342258	92,849808	28,982262	51,388203	84,8
	28,99291	51,362629	89,270737	28,980141	51,394054	83,8

lng1m, lat1m, H1 – геодезична довгота, широта та висота над землею поверхнею (км) початкової точки видимої траєкторії метеора відповідно; lng2m, lat2m, H2 – відповідні координати кінцевої точки траєкторії. Координати визначено в системі WGS84 і відповідають точкам входу метеороного тіла в поле зору та його згасання, зафіксованим спільно кількома RMS-станціями.

Таблиця 3

Елементи геліоцентричної орбіти метеороних тіл

№	a (а.о.)	q (а.о.)	e	peri (°)	node (°)	incl (°)
<i>Lambda Ursae Majorids (LUM)</i>						
1	8,271	0,727	0,912	244,0	215,4	100,6
	5,339	0,718	0,866	246,3	215,4	99,8
Середнє значення	6,805 ±1,466	0,7225 ±0,0045	0,889 ±0,023	245,15 ±1,15	215,4	100,2 ±0,4
<i>Північні Тауриди (NTA)</i>						
2	1,35	0,363	0,731	120,2	35,4	1,2
	1,471	0,343	0,767	120,6	35,4	1,1
Середнє значення	1,4105 ±0,0605	0,353 ±0,01	0,749 ±0,018	120,4 ±0,2	35,4	1,15 ±0,05

a – велика піввісь орбіти; q – перигелійна відстань; e – ексцентриситет; peri – аргумент перигелію; node – довгота висхідного вузла; incl – нахил орбіти до площини екліптики. Усі кутові параметри подано в кутових градусах (°), лінійні – в астрономічних одиницях (а.о.).

Дискусія і висновки

Було технічно зібрано три RMS-відеокамери для спостережень метеорів. У результаті тестових досліджень однієї з камер програмним забезпеченням RMS успішно виконано:

- автоматичне виявлення опорних зір та їхню класифікацію за надійністю астрометричної прив'язки;
- ідентифікацію метеороних подій на тестових відеозаписах;

- ідентифікацію базисних метеорів;
- визначення параметрів атмосферних траєкторій та елементів орбіт.

Під час спостережень зафіксовано активність двох добре відомих метеорних потоків: Північні Тауриди (NTA) та Lambda Ursae Majorids (LUM). В результаті оброблення зафіксованих базисних метеорів були визначені їхні параметри атмосферних траєкторій та геліоцентричні орбітальні елементи метеорних тіл.

Отже, інтеграція платформи RMS у відеоспектральний метеорний комплекс АО КНУТШ є технічно реалізованою та науково доцільною. Тестові спостереження підтверджують стабільність роботи обладнання та коректність автоматичного оброблення даних. Розроблений комплекс створює основу для подальшого розгортання Української метеорної спостережної мережі, інтегрованої в глобальну інфраструктуру Глобальної Метеорної Мережі. Подальші етапи роботи передбачають повноцінне розгортання станцій у спостережних пунктах АО КНУТШ (село Пилиповичі та село Лісники), розширення спектрального блока та залучення аматорських спостерігачів до УМСМ.

Оптимальна відстань між станціями для точного визначення висот і тривимірних траєкторій метеорів методом триангуляції становить 50–100 км: на меншій відстані точність визначення параметрів базисного метеорного тіла суттєво знижується, а на більшій – імовірність спільного спостереження того самого метеора різко падає. Автори роботи відкриті до співпраці з іншими науковими групами та любителями астрономії, щоб розширити мережу спостережень. Це дасть змогу охопити значну частину неба над територією України і створити ефективну базу для систематичних метеорних спостережень у межах розвитку УМСМ.

Внесок авторів: Альона Мозгова – концептуалізація, методологія, формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка, перегляд і редагування); Олександр Голубаєв – концептуалізація, методологія, проектно-конструкторські і технологічні роботи, програмне забезпечення, формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка).

Подяки. Автори щиро дякують аматорам метеорної астрономії Олександру Авітову та Олександру Ангельському за допомогу і практичні рекомендації щодо налаштування RMS-камер АО КНУТШ.

Джерела фінансування. Роботу Альони Мозгової виконано за рахунок часткової фінансової підтримки гранта Міністерства освіти і науки України для перспективного розвитку наукового напрямку "Математичні науки та природничі науки" в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка. Роботу Олександра Голубаєва виконано за рахунок часткового фінансування Міністерством освіти і науки України (проект № ДР 0125U002319).

Список використаних джерел

- Голубаєв, О. В., Горбаньов, Ю. М., Шульга, О. В., Андреев, О. А., Бушуєв, Ф. І., Відьмаченко, А. П., Грудинін, Б. О., Жиляєв, Б. Ю., Капюжний, М. П., Козак, П. М., Куліченко, М. О., Малиновський, Є. В., Мозгова, А. М., Савчук, С. Г., Стеклов, О. Ф., Сумарук, Ю. П., & Янків-Вітковська, Л. М. (2022). Створення Української метеорної спостережної мережі: інструменти, методи обробки, спостережні можливості. *Космічна наука і технологія*, 28(4), 39–70. <https://doi.org/10.15407/knit2022.04.039>
- Голубаєв, О. В., & Мозгова, А. М. (2024). Кінематичні параметри, фізичні характеристики та хімічний склад вибраних метеорних тіл. *Космічна наука і технологія*, 30(4), 58–72. <https://doi.org/10.15407/knit2024.04.058>
- Мозгова, А., & Голубаєв, О. (2022). Метеорна База даних за спостереженнями у 2019–2021 роках на автоматизованому відео-спектральному метеорному патрулі Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія*, 66(2), 21–30. <https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2022.66.26-35>
- Global Meteor Network. (n. d.). *Camera Status*. <https://globalmeteornetwork.org/status>
- Global Meteor Network. (n. d.). *RMS Documentation*. <https://globalmeteornetwork.org>
- International Meteor Organization. (n. d.). <https://www.imo.net>
- Jenniskens, P., Lauretta, D. S., Towner, M. C., Heathcote, S., Jehin, E., Hanke, T., Cooper, T., Baggaley, J. W., Howell, J. A., Johannink, C., Breukers, M., Odeh, M., Moskovitz, N., Juneau, L., Beck, T., De Cicco, M., Samuels, D., Rau, S., Albers, J., & Gural, P. S. (2021). Meteor showers from known long-period comets. *Icarus*, 365, 114469. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2021.114469>
- Tomko, D., & Neslušan, L. (2019). Meteoroid-stream complex originating from comet 2P/Encke. *Astronomy and Astrophysics*, 623, A13. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833868>
- Vida, D., Šegon, D., Gural, P. S., Brown, P. G., McIntyre, M. J. M., Tammo, Dijkema, J., Pavletić, L., Kukić, P., Mazur, M. J., Eschman, P., Roggemans, P., Merlak, A., & Zubović, D. (2021). The Global Meteor Network – Methodology and first results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506(4), 5046–5074. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2008>

References

- Global Meteor Network. *Camera Status*. Website: <https://globalmeteornetwork.org/status>
- Global Meteor Network. *RMS Documentation*. Website: <https://globalmeteornetwork.org>
- Golubaev, A. V., Gorbanev, Yu. M., Shulga, O. V., Andreev, O. A., Bushuev, F. I., Vidmachenko, A. P., Hrudynin, B. O., Zhilyaev, B. E., Kaliuzhnyi, M. P., Kozak, P. M., Kulichenko, M. O., Malynovskiy, Ye. V., Mozgova, A. M., Savchuk, S. G., Steklov, A. F., Sumaruk, Yu. P., & Yankiv-Vitkovska, L. M. (2022). Creation of the Ukrainian meteor observation network: instruments, methods for processing, observatin possibilities. *Space Science and Technology*, 28(4), 39–70 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/knit2022.04.039>
- Golubaev, A. V., & Mozgova, A. M. (2024). Kinematic parameters, physical characteristics, and chemical composition of selected meteor bodies. *Space Science and Technology*, 30(4), 58–72 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/knit2024.04.058>
- International Meteor Organization. Website: <https://www.imo.net>
- Jenniskens, P., Lauretta, D. S., Towner, M. C., Heathcote, S., Jehin, E., Hanke, T., Cooper, T., Baggaley, J. W., Howell, J. A., Johannink, C., Breukers, M., Odeh, M., Moskovitz, N., Juneau, L., Beck, T., De Cicco, M., Samuels, D., Rau, S., Albers, J., & Gural, P. S. (2021). Meteor showers from known long-period comets. *Icarus*, 365, 114469. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2021.114469>
- Mozgova A., & Golubaev A. (2022). The meteor Database of observations in 2019–2021 with the automatical video and spectral meteor patrol of V. N. Karazin Kharkiv National University. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Astronomy*, 66(2), 26–35 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.17721/BTSNUA.2022.66.26-35>
- Tomko, D., & Neslušan, L. (2019). Meteoroid-stream complex originating from comet 2P/Encke. *Astronomy and Astrophysics*, 623, A13. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833868>
- Vida, D., Šegon, D., Gural, P. S., Brown, P. G., McIntyre, M. J. M., Tammo, Dijkema, J., Pavletić, L., Kukić, P., Mazur, M. J., Eschman, P., Roggemans, P., Merlak, A., & Zubović, D. (2021). The Global Meteor Network – Methodology and first results. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 506(4), 5046–5074. <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2008>

Отримано редакцією журналу / Received: 29.10.25
Прорецензовано / Revised: 07.11.25
Схвалено до друку / Accepted: 11.11.25

Alona MOZGOVA, PhD (Phys. & Math.)
ORCID ID: 0000-0002-8490-4327
e-mail: alenamozgova@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Alexander GOLUBAEV, PhD (Phys. & Math.)
ORCID ID: 0000-0002-3265-5285
e-mail: alexandr_sky1@ukr.net
V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

CONCEPT OF A MODERN AUTONOMOUS METEOR STATION AT THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY OF KYIV BASED ON THE RMS PLATFORM AND AI CAPABILITIES

Background. *Efficient acquisition and processing of meteor observation data, followed by the precise determination of their kinematic and physical characteristics, requires continuous improvement of both optical instruments and information processing methods. This work presents the initial results of the modernization of the video-spectral meteor complex (VSC) at the Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv (AO TSNUK).*

Methods. *The modernization of the VSC is being carried out through the integration of the RMS (Raspberry Pi Meteor Station) platform – open-source software developed within the framework of the Global Meteor Network (GMN) initiative. RMS is intended for the automatic detection of meteors, analysis of their trajectories, and uploading of results to GMN cloud servers. Two stations are planned to be set up: one for positional observations and another for recording meteor spectra using a diffraction grating (500–600 grooves/mm). In the future, the integration of open technologies, modern equipment, and artificial intelligence components is planned to address specific tasks in meteor astronomy – in particular, the development of AI-based software for modeling meteoroid trajectories with the goal of predicting meteorite fall locations.*

Results. *The observation complex has been assembled and configured under laboratory conditions. Test observations of meteors were carried out during the nights of October 25–29, 2025. The correctness of astrometric calibration, frame rate stability (25.000 ± 0.02 FPS), and automatic meteor event detection were verified. Data on the kinematic parameters of meteor bodies observed in the Earth's atmosphere were obtained, and the elements of their orbits were calculated.*

Conclusions. *The obtained results confirm both the technical feasibility and the scientific potential of the proposed approach. The integration of RMS into the video-spectral complex enables the creation of an autonomous, expandable, and globally integrated meteor observation system. Further work will include the full deployment of stations at the observation sites of the Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv and the expansion of the Ukrainian Meteor Observation Network (UMON).*

Keywords: *meteors, meteoroids, optical instruments, digital video surveillance systems, Ukrainian Meteor Observation Network (UMON), Global Meteor Network (GMN), Raspberry Pi Meteor Station (RMS).*

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.