

<https://doi.org/10.15407/knit2022.02.054>

УДК 520.8

Є. Б. ВОВЧИК, пров. інж., канд. техн. наук

E-mail: evavovchyk@ukr.net

А. І. БІЛІНСЬКИЙ, пров. інж.

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3647-9346>

E-mail: slr1831@ukr.net

К. П. МАРТИНЮК-ЛОТОЦЬКИЙ, інж.

E-mail: langurek@gmail.com

Н. В. ВІРУН, пров. інж.

E-mail: n.virun@gmail.com

І. Я. ПІДСТРИГАЧ, зав. відділу

E-mail: ipid@email.ua

Р. Т. НОГАЧ, пров. інж.

E-mail: rtnohach@gmail.com

Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія 8, Львів, Україна, 79005

ОПТИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ШТУЧНИХ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У ЛЬВІВСЬКІЙ АСТРОНОМІЧНІЙ ОБСЕРВАТОРІЇ

Космічне сміття стає все більшою загрозою для космічних місій, зокрема для супутникового зв'язку, для виведення на орбіту нових супутників, для програм навігації та вимірювання часу, навіть для спостережень Землі. Навколоземний простір стає все більш перевантаженим, тому потреба у відстеженні космічних об'єктів та наданні інформації про діяльність у космосі стає критичною, і найбільш актуальним є попередження зіткнень або пошкоджень, спричинених космічним сміттям. Серед методів стеження за штучними об'єктами є оптичні, які надають інформацію про положення вибраного об'єкта (позиційні спостереження), відстань до об'єкта (лазерні спостереження), поведінку об'єкта на орбіті та його форму (фотометричні спостереження). У статті описуються спеціальний апаратурний комплекс та програмне забезпечення, якими обладнана Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка для проведення оптичних спостережень.

Ключові слова: штучні космічні об'єкти, оптичні спостереження.

ВСТУП

З моменту запуску першого супутника у 1957 р. навколоземний простір заповнився сміттям: зараз на орбітах перебувають понад 23000 об'єктів розміром 10 см і більше, мільйони менших фрагментів, і тільки 6 % об'єктів експлуатуються [9]. Поширення космічного сміття може вплинути на супутникові послуги, якими користується

людство, зокрема може вплинути на телекомунікацію, утруднити дистанційне зондування Землі, навігацію, хронометраж тощо. Тому одним з найважливіших завдань є спостереження за якомога більшою кількістю штучних небесних об'єктів.

Серед методів спостереження за штучними космічними об'єктами (КО) є радіолокацій-

Цитування: Вовчик Є. Б., Білінський А. І., Мартинюк-Лотоцький К. П., Вірун Н. В., Підстригач І. Я., Ногач Р. Т. Оптичні спостереження штучних космічних об'єктів у Львівській астрономічній обсерваторії. *Космічна наука і технологія*. 2022. **28**, № 2 (135). С. 54–60. <https://doi.org/10.15407/knit2022.02.054>

ні та оптичні. За допомогою оптичних методів можна одержати інформацію для прогнозу про положення вибраного об'єкта (позиційні спостереження), про відстань до об'єкта (лазерна віддалеметрія), про поведінку об'єкта на орбіті та його форму (фотометричні спостереження). Максимальну інформацію дають комплексні спостереження, проведені з одного пункту та синхронні спостереження, проведені з різних пунктів [3].

АПАРАТУРНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛЬВІВСЬКОГО ПУНКТУ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ШТУЧНИМИ КОСМІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

В Астрономічній обсерваторії (АО) спостереження штучних космічних об'єктів ведуться з 1957 року [1]. Тепер у АО сформовано комплекс апаратури, за допомогою якого можна реалізувати позиційні, фотометричні та лазерно-локаційні спостереження.

Позиційні спостереження ведуться за допомогою невеликих телескопів (діаметри від 85 до 350 мм), встановлених на автоматизованому монтуванні телескопа Meade DS2130 або на гід телескопа ТПЛ-1М (рис. 1).

Використання різних оптичних систем та різних монтувань для гідуювання об'єкта визначається поставленою задачею. Світлоприймачами є ПЗЗ-камери WAT-902H2 і LCL 902K у телевізійному режимі.

З фотометричних спостережень можна отримати інформацію про вигляд супутника і дані про форму та стан об'єкта. На даний час фотометричні спостереження низькоорбітальних штучних космічних об'єктів ведуться за допомогою об'єктива діаметром 10 см, встановленого на гідуюальному монтуванні телескопа ТПЛ-1М (рис. 2). Така система дозволяє отримати криві блиску штучних космічних об'єктів у режимі стеження. Криві блиску у смугах системи BVR визначаються з похибкою 0.05^m , а положення — менш ніж $5''$.

Для визначення віддалі до об'єкта використовується лазерна локація супутників (ЛЛС) з метою уточнення позиційних даних. У АО такі спостереження виконує ЛЛС-станція, яка складається з 1-м телескопа ТПЛ-1М з імпуль-



Рис. 1. Телескоп для позиційних спостережень: фотооб'єктив «Юпітер-9» діаметром 85 мм на гідуюальному монтуванні Meade DS2130

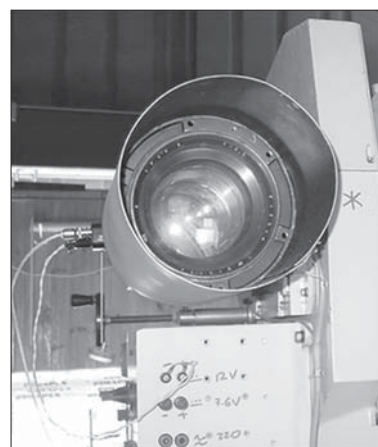


Рис. 2. Телескоп для фотометричних спостережень низькоорбітальних КО: об'єктив «Уран-9» встановлений на гідуюальному монтуванні ТПЛ-1М

сним лазерним передавачем SL212 (потужність 100 мДж, часове розділення 150 пс) та прецизійним таймером подій ComTiS (похибка не більше ніж 40 пс). Станція лазерно-локаційних спостережень вимірює віддалі до супутників, обладнаних кутиковими відбивачами, із точністю одиничного пострілу 10 см. [6]. Таймер подій ComTiS було використано для вивчення часових затримок реєстрації відеосигналу у фотометрії низькоорбітальних супутників [7].

Окремою групою стоять телескопи для спостереження за об'єктами на геостационарній ор-



Рис. 3. Оновлений телескоп АЗТ-14 із сучасною приймальною системою

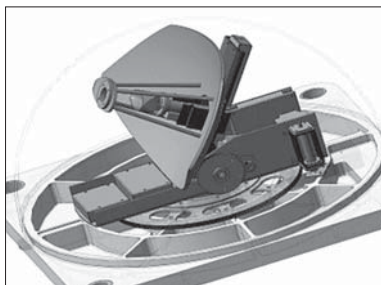


Рис. 4. Радіопеленгатор діапазону Ku (10.7...12.75 ГГц)

біті. Це телескоп АЗТ-14 ($D = 480$ мм), з астрокамерою Xpress SX-35 і фільтрами Astrodon UBVR1 (рис. 3), а також телескоп GLD-250 ($D = 250$ мм) з астрокамерою Starlight Xpress SXV-M9 і фільтрами Astrodon BVR. За допомогою цих телескопів проводяться позиційні і фотометричні спостереження геостационарних об'єктів. Криві блиску реєструються з похибкою не більше 0.05^m .

В АО розроблено та виготовлено оригінальний пристрій для визначення кутового положення геостационарного супутника у геодезичній системі координат WGS84 та знаходження азимута об'єкта, на якому встановлений радіопеленгатор (рис. 4). Стандартний супутниковий конвертер (LNB) діапазону Ku (10.7...12.75 ГГц) встановлений у фокусі параболічної антени, яка повертається за азимутом на 360° та по висоті від 0 до 60° за допомогою позиційного механізму з точністю наведення 0.01° . Амплітуда широкомугового сигналу діапазону Ku, що його випро-

мінюють геостационарні супутники, оцифровується та записується. Далі програма аналізує записану інформацію та порівнює її з моделлю, розрахованою з відомих ефемерид одного або кількох геостационарних супутників. В результаті аналізу можливе знаходження кутового положення геостационарного супутника при відомому азимуті встановлення пеленгатора (пряма задача) або знаходження азимута встановлення пеленгатора при відомих ефемеридах одного чи кількох супутників (обернена задача). Точність визначення кутового положення геостационарного супутника 0.05° .

Перевагою радіоспостережень є їхня незалежність від погоди та цілодобовість.

Для кожного з методів спостереження і для кожного телескопа чи комплексу апаратури в цілому є своє специфічне програмне забезпечення. Це, по-перше, програми для підготовки до спостережень — визначення об'єкта, його орбітальних даних, приблизна оцінка блиску та інше. Другу групу програм складають процедури проведення спостережень проходження — гідкування, реєстрація, запис даних в комп'ютер. Третя група — це програми попередньої обробки та передачі на зберігання. Більшість з цих програм було розроблено та впроваджено в дію співробітниками АО.

РЕЗУЛЬТАТИ, ОТРИМАНІ У 2020–2021 РОКАХ

Результатом перших пробних спостережень у кампанії IADC (Inter Agency Debris Committee) у співпраці із НЦУВКЗ (Національний центр управління та випробувань космічних засобів) стала крива блиску китайської ракети-носія 40879 (CZ-4C R/B) (рис. 5, а). У рамках програми УМОС (Українська мережа оптичних станцій) отримано криві блиску супутника Топек (рис. 5, б) [4].

Кількість отриманих результатів за рік залежить від багатьох факторів, у першу чергу — від погодних умов, тобто від кількості ясних ночей. У Львові середнє число ясних ночей становить 100...150. На рис. 6 показано кількість спостережень за 2021 р. Для різних штучних космічних об'єктів (номери під стовпцями).

БАНК ДАНИХ

Велика кількість результатів спостережень, які зібрано у АО, зумовила необхідність створення банку даних у форматі «сховища даних». В АО, на основі попереднього досвіду із супроводу бази даних ЛЛС-спостережень [2], реалізовано впорядкування, збереження та відображення різнотипних даних із акцентом власне на результати спостережень.

Основою будь-якого сховища даних є текстова та/або графічна (бінарна) інформація, яка зберігається у звичайних файлах або у складніших структурах, наприклад у таблицях баз даних. Наступним кроком для організації повноцінного сховища даних є вибір програмного забезпечення для гнучкого відображення різнотипних даних (файли текстові і бінарні, таблиці баз даних тощо). В АО для цього було вибрано “Tiki Wiki CMS Groupware” — це вільна багато-

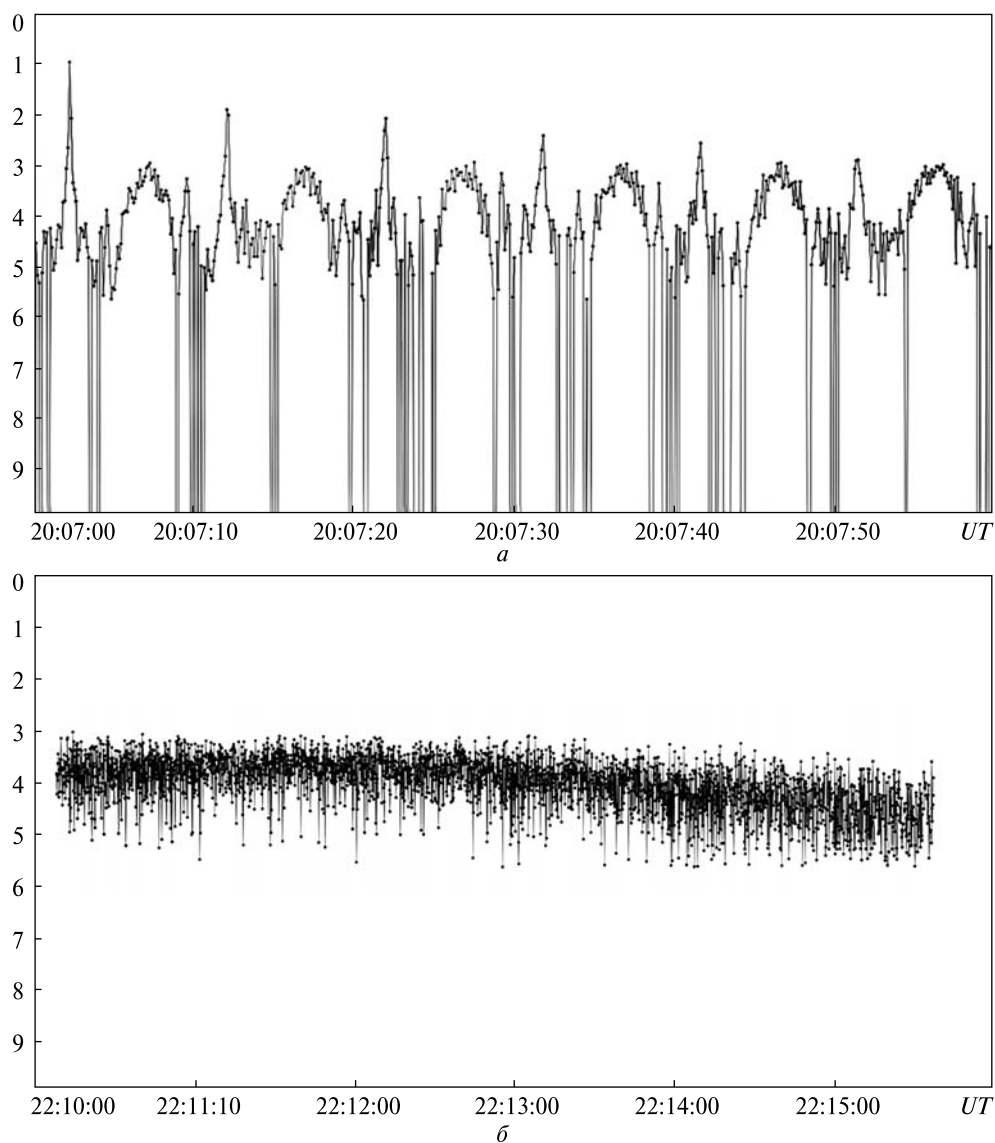


Рис. 5. Криві блиску: *a* — об'єкта 40879 (CZ-4C R/B), *б* — супутника Топекс 22076

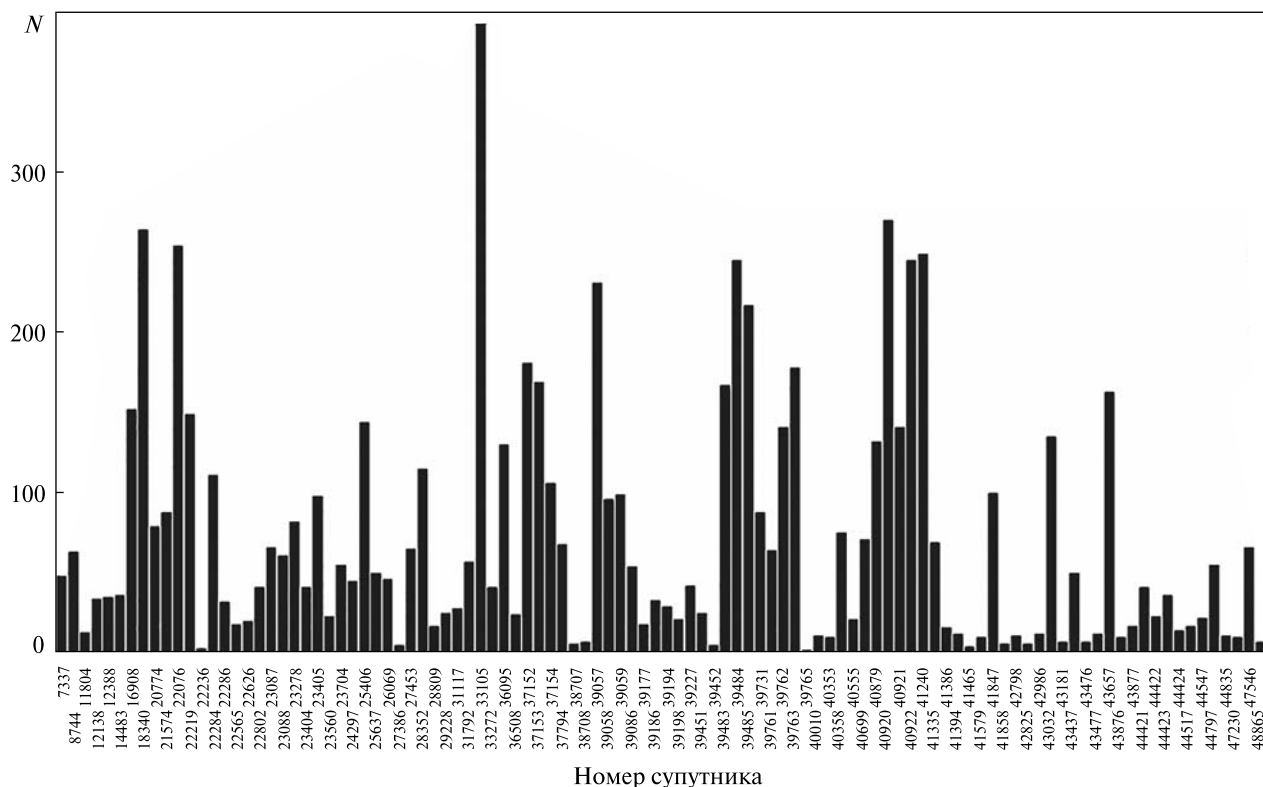


Рис. 6. Кількість оцінок координат різних штучних космічних об’єктів у екваторіальній системі (2021 рік, з січня по жовтень)

платформна система керування контентом, на основі PHP, яка підтримує роботу із базами даних MySQL. Таким чином, підібравши необхідні програмні рішення, було організовано пробну реалізацію повноцінного сховища даних спостережень штучних супутників Землі. На даний час триває наповнення банку даних.

ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Слід відзначити, що АО була однією з засновників і досі є активним членом УМОС, виконує позиційні і фотометричні спостереження згідно із списком УМОС, а отримані результати надає у вільний доступ для всіх членів мережі [4, 5].

Крім того, результати спостережень надаються Національному центру управління та випробувань космічних засобів (НЦУВКЗ) згідно із запитом.

ВИСНОВОК

Протягом більш ніж 60 років робіт зі спостережень штучних космічних об’єктів в АО було створено комплекс апаратури для такого роду робіт, накопичено значну кількість результатів спостережень. Ефективних результатів методом оптичного спостереження можна досягти лише у співпраці з іншими пунктами спостережень. Львівська АО продовжує розвивати астрономічне обладнання для спостережень, створювати програмне забезпечення, а також досліджувати параметри космічної погоди, зокрема вплив сонячної активності на рух штучних космічних об’єктів [8].

Спостереження в рамках діяльності мережі УМОС проведено за часткової фінансової підтримки Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Апунович С. В., Благодир Я., Вовчик Є. *Відділ практичної астрономії та фізики ближнього космосу*. Історія астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка. За ред. Б. С. Новосядлого. Львів: Львівський нац. ун-т імені Івана Франка, 2011. С. 145—160.
2. Білінський А. Застосування скриптового програмування у LINUX для створення бази даних спостережень у АО ЛНУ. *Теор. електротехніка*: зб. наук. праць. 2010. Вип. 61. С. 82—89.
3. Епишев В. П., Исак И. И., Кудак В. И. та ін. Результаты исследований поведения на орбите ИСЗ в нештатном режиме под воздействием околоземного космического пространства. *Космична наука і технологія*. 2012. **18** (1). С. 60—67.
4. УМОС — Українська мережа оптичних станцій для дослідження навколосезного космічного простору: Каталог. URL: <http://mao.uran.ua/umos/index.php?slab=slabid-12> (дата звернення 09.10.2021).
5. Шулга О. В., Кравчук С. Г., Сибірякова Є. С. та інші. Розвиток української мережі оптичних станцій УМОС як складового елементу системи контролю навколосезного космічного простору. *Космична наука і технологія*. 2015. **21**(3). Р. 74—81.
6. Blagodyr Ja., Bilinsky A., Martynyuk-Lototsky K., et al. Overview and performance of the Ukrainian SLR station “Lviv-1831”. *Artificial Satellites*. 2007. **42**, No. 1. С. 9—15.
7. Koshkin N., Shakun L., Melikyants S., et al. Simultaneous multi-site photometry of LEO satellites to characterise their rotation states. *Odessa Astron. Publs*. 2020. **33**. Р. 119—124. DOI: 10.18524/1810-4215.2020.33.216464
8. Koval'chuk M. M., Hirnyak M. B., Baran O. A., et al. Investigation of heliogeoaactivity impact on the dynamics of orbital parameters of Earth's artificial satellites. I. *Kinemat. Phys. Celest. Bodies*. 2017. **33**. Р. 245—249. URL: <https://doi.org/10.3103/S0884591317050038> (дата звернення 09.10.2021).
9. Orbital Debris Quarterly News by NASA. Vol/=25.iss.3. September 2021. URL: <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/pdfs/odqnv25i3.pdf> (дата звернення 09.10.2021).

REFERENCES

1. Apunevych S. V., Blagodyr J., Vovchik E. (2011). Department of Practical Astronomy and Near Space Physicists. History of the Astronomical Observatory of Ivan Franko National University of Lviv. Ed. B. S. Novosiadlyi. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 145—160.
2. Bilinsky A. (2010). Application of script programming in LINUX to create a database of observations in LNU. Theoretical electrical engineering: a collection of scientific papers. Lviv: LNU Publishing Center. I. Franko, No. 61. 82—89.
3. Epishev V. P., Isak I. I., Kudak V. I., et al. (2012). The results of studies of the behavior in the orbit of satellites in the abnormal mode under the influence of near-Earth space. *Space Science and Technology*, **18** (1), 60—67.
4. UMOS — Ukrainian network of optical stations for the study of near-Earth space: Catalog. URL: <http://mao.uran.ua/umos/index.php?slab=slabid-12> (Last accessed 09.10.2021).
5. Shulga O. V., Kravchuk S. G., Sibiryakova E. S., et al. (2015). Development of the Ukrainian network of optical stations as a component of the control system of near-Earth space. *Space Science and Technology*, **21** (3), 74—81.
6. Blagodyr Ja., Bilinsky A., Martynyuk-Lototsky K., et al. (2007). Overview and performance of the Ukrainian SLR station “Lviv-1831”. *Artificial Satellites*, **42**, No. 1, 9—15.
7. Koshkin N., Shakun L., Melikyants S., et al. (2020). Simultaneous multi-site photometry of LEO satellites to characterise their rotation states. *Odessa Astron. Publs*, **33**, 119—124. DOI: 10.18524/1810-4215.2020.33.216464
8. Koval'chuk M. M., Hirnyak M. B., Baran O. A. et al. (2017). Investigation of heliogeoaactivity impact on the dynamics of orbital parameters of Earth's artificial satellites. I. *Kinemat. Phys. Celest. Bodies*, **33**, 245—249. URL: <https://doi.org/10.3103/S0884591317050038> (Last accessed 09.10.2021).
9. Orbital Debris Quarterly News by NASA. Vol/=25.iss.3. September 2021. URL: <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/pdfs/odqnv25i3.pdf> (Last accessed 09.10.2021).

Стаття надійшла до редакції 20.11.2021
 Після доопрацювання 12.02.2022
 Прийнято до друку 20.04.2022

Received 20.11.2021
 Revised 12.02.2022
 Accepted 20.04.2022

Ye. B. Vovchyk, Leading Engineer, Ph.D. in Tech.

E-mail: evavovchyk@ukr.net

A. I. Bilinsky, Leading Engineer

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3647-9346>

E-mail: slr1831@ukr.net

K. P. Martynyuk-Lototskyu, Engineer

E-mail: langurek@gmail.com

N. V. Virun, Leading Engineer

E-mail: n.virun@gmail.com

I. Ya. Pidsryhach, Head of Department

E-mail: ipid@email.ua

R. T. Nohach, Leading Engineer

E-mail: rtnohach@gmail.com

Astronomical observatory of Ivan Franko National University of Lviv

8, Cyryl and Mefodij St., Lviv, 79005, Ukraine

OPTICAL OBSERVATIONS OF THE ARTIFICIAL OBJECTS IN LVIV ASTRONOMICAL OBSERVATORY

Space debris is becoming an increasing threat to near space services, including satellite communications, the launching of new satellites, as well as navigation and timekeeping programs. It affects even observations of the Earth. As space around us becomes more congested, the need to track space objects and provide information about space activities is becoming increasingly critical and urgent in helping to prevent collisions or damage caused by space debris.

Among the methods of tracking artificial objects are optical methods, which can provide information about the position of the selected object (positional observations), distance to the object (laser observations), as well as about the behavior of the object in orbit and its shape (photometric observations). The Astronomical Observatory of Lviv National University is equipped with a special hardware complex and software for the implementation of observations of artificial objects and can provide relevant information.

Keywords: space debris, artificial space objects, optical observations, photometric observations, laser observations.