УДК 520.34 + 520.8 + 520.88 + 521.3 + 629.78
КПКВК 6541030
№ держреєстрації 0118U004069
Інв. №

Національна академія наук України

Головна астрономічна обсерваторія

03143, м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 27;
тел. (044) 526 4762, (044) 526 4763; факс 526 2147

“Затверджую”

Директор ГАО НАН України
Академік НАН України

_____Я. С. Яцків

«___» _____ 2018 р.

ЗВІТ

ПРО НАУКОВИЙ ПРОЕКТ

«Інформаційно-ефемеридний сервіс та інформаційний сервіс спостережень штучних супутників Землі і малих небесних тіл» (проект ІСС ШСЗ МНТ).

Етап 1. «Формування напрямків інформаційного сервісу та моніторингу космічної обстановки».

(остаточний)

Науковий керівник НП:
Заступник керівника ННЦ
кандидат технічних наук Я.О. Романюк

Рукопис завершено __ грудня 2018 р.

Результати роботи розглянуто Вченою Радою ГАО НАН України,
протокол від 13 грудня 2018 р., № __

2018

СПИСОК ВИКОНАВЦІВ

Науковий керівник НП Заст. керівника ННЦ к.т.н., с.н.с.	_____	Я.О. Романюк (вступ, розділ 1,вис-ки)
Директор НДІ МАО д-р фіз-мат. наук	_____	О.В. Шульга (вступ, розділ 1)
Зав. відділу ПАА С.н.с., к.ф-м.н.	_____	І.Б. Вавилова (розділ 2, вис-ки)
С.н.с. відділу АКІВЦ к.ф-м.н.	_____	Л.К. Пакуляк (розділ 2)
Н.с. відділу АКГ	_____	С.В. Шатохіна (розділ 2,3, додатки А-Ж)
Доцент, к.ф-м.н., КНУ ім. Т.Г. Шевченка	_____	В.Я. Чолій (розділ 3)
С.н.с. відділу АКГ	_____	В.М. Андрук (розділ 2)
Н.с. відділу ПАА	_____	В.В. Головня (розділ 2)
М.н.с. відділу ПАА	_____	О.М. Їжакевич (розділ 2)
С.н.с. відділу ПАА, Доктор тех. наук	_____	В.Є. Саваневич (розділ 2)
Н.с. НДІ Астрономії ХНУ ім. В.Н. Каразіна, к.ф-м.н.	_____	С.В. Хламов (розділ 2)
Завідувач лабораторії НДІ МАО, к.ф-м.н.	_____	Н.В. Майгурова (розділ 2)
Завідувач сектором НДІ МАО, к.ф-м.н.	_____	Ю.І. Процюк (розділ 2)
Нач-к спостережної станції АО ОНУ ім. І.І. Мечникова, к.ф-м.н.	_____	С.Г. Кашуба (розділ 2)
Н.с. АО ОНУ ім. І.І. Мечникова, к.ф-м.н.	_____	В.В. Троянський (розділ 2)

РЕФЕРАТ

Звіт про науковий проект «Інформаційно-ефемеридний сервіс та інформаційний сервіс спостережень штучних супутників Землі і малих небесних тіл» (проект ІСС ШСЗ МНТ). Етап 1. «Формування напрямків інформаційного сервісу та моніторингу космічної обстановки»: 75 с., 20 рис., 10 табл., 6 дод, 32 джерела.

КОСМІЧНИЙ ОБ'ЄКТ, КОСМІЧНЕ СМІТТЯ, ЕЛЕМЕНТИ ОРБІТИ, FTP–СЕРВЕР, ОПТИЧНІ ТЕЛЕСКОПИ, СПОСТЕРЕЖЕННЯ, ПЗЗ КАМЕРА, КМОП КАМЕРА, ОБРОБКА ДАНИХ, БАЗА ДАНИХ, ШТУЧНИЙ СУПУТНИК ЗЕМЛІ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА

Об’єкт дослідження - наземні спостереження штучних супутників Землі та малих тіл Сонячної системи в інститутах Національної Академії наук, Державного космічного агентства та вищих наукових закладів України. Бази даних малих тіл Сонячної системи (СС) в обсерваторіях України. Українська мережа оптичних станцій (УМОС). Елементи орбіт штучних космічних об'єктів на навколоземних орбітах.

Мета роботи:

Створити та постійно поповнювати інформаційний сервіс наземних спостережень ШСЗ та вибраних малих тіл СС. Протягом року оновлювати наявні бази даних академічного сегменту Української системи моніторингу космічної обстановки.

Здійснювати інформаційну підтримку WEB-ресурсів відповідних сайтів шляхом наповнення бази спостережень (ftp сервер) та каталога елементів орбіти Української мережі оптичних станцій (УМОС) для дослідження і контролю навколоземного космічного простору.

Розробка оптичної системи та виготовлення дзеркала пошукового телескопа для УМОС.

Визначення об’єктів для оновлення бази даних академічного сегменту Української системи моніторингу космічної обстановки

Пошук та обробка таких зображень, які дають положення астероїдів на моменти часу, які не використані в ефемеридних обчисленнях через відсутність спостережних даних у цей період.

Збір інформації щодо існуючих в Україні програмних засобів із ефемеридно-балістичного забезпечення об’єктів космічного простору, її експертний аналіз та

підготовку пропозицій щодо створення єдиного інформаційно-ефемеридного сервісу моніторингу космічної обстановки (МКО).

Формування концепції, вибір засобів реалізації та створення пілотного проекту узагальненої бази даних малих тіл СС.

Результати роботи та їхня новизна.

В результаті роботи:

Систиматично проводилися оптичні позиційні спостереження штучних супутників Землі. За 2018 рік отримано спостереження 442 космічних об'єктів (КО) на низьких орбітах (LEO) орбітах, 23 КО на геостаціонарних орбітах (GEO).

Результати спостережень для станцій УМОС, які брали участь в спостереженнях, доступні на FTP-сервері мережі, а розраховані елементи орбіт - на веб-сайті УМОС.

Проводився моніторинг малих тіл Сонячної системи з використанням телескопів України, Грузії, Латвії, Узбекистану та інших країн.

Розроблено обчислюваний метод для автоматичної обробки кадрів та автоматизованого відкриття астероїдів і комет на серіях ПЗЗ-кадрів.

Виконано збір та аналіз інформації щодо наявного ефемеридно-балістичного програмного забезпечення спостережень та визначення параметрів руху ШСЗ та тіл СС. Проведено робочу нараду експертів, де обговорювалися проблеми наявного ефемеридно-балістичного забезпечення, зібрана інформація з цього питання та проблеми ефемеридно-балістичного забезпечення для національної системи моніторингу космічної обстановки; пропозиції до створення інформаційно-ефемеридного сервісу моніторингу космічної обстановки.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ…….. 7
ВСТУП…….. 8
РОЗДІЛ 1. СТВОРЕННЯ ТА НАПОВНЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРВІСУ НАЗЕМНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ШСЗ ЗА ВИЗНАЧЕНИМИ ПРІОРИТЕТАМИ, А САМЕ ОБ'ЄКТИ НА НИЗЬКІЙ І ГЕОСТАЦІОНАРНІЙ ОРБІТІ, СПЕЦІАЛЬНІ ШСЗ ТА ІНШІ…… 9
1.1. Склад УМОС …… 10
1.2. Об'єкти та методи їх спостереження ……. 12
1.2.1. Методи визначення екваторіальних координат КО ……..
1.3. Координація позиційних спостережень КО …….. 14
1.4. Мета та план робіт Української Мережі Оптичних Станцій ……... 15
1.5. Виконані роботи…… 17
1.5.1. Формування обраних списків КО ……... 17
1.6. Статистика спостережень……..... 20
1.6.1. Умови спостережень ……..... 20
1.6.2. Оцінка точності спостережень КО ……. 25
1.6.3. Розрахунок елементів орбіти …… 32
1.7. Модернізація наявного спостережного парку МКО та розробка нових спостережних інструментів . …….. 32
РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ ТА НАПОВНЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРВІСУ НАЗЕМНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ВИБРАНИХ МАЛИХ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОНОВЛЕННЯ БАЗИ ДАНИХ АКАДЕМІЧНОГО СЕГМЕНТУ УКРАЇНСБКОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОСМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ …….. 33
2.1. Основні світові бази даних малих тіл Сонячної системи ……. 33
2.2. Розробка обчислюваних методів для автоматичної обробки кадрів та автоматизованого відкриття астероїдів і комет на серіях ПЗЗ-кадрів 36
2.3. Проведення постійного моніторингу малих тіл Сонячної системи з використанням телескопів України, Грузії, Латвії, Узбекистану та інших країн …….. 37
2.4. Створення та наповнення бази даних малих тіл Сонячної системи для подальшого дослідження їх кінематичних і динамічних характеристик …….. 41
РОЗДІЛ 3. ЗБІР ТА АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО НАЯВНОГО ЕФЕМЕРИДНО-БАЛІСТИЧНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ШСЗ ТА ТІЛ СС. 42
3.1. Ефемеридне і балістичне програмне забезпечення для спостережень та визначення параметрів руху штучних супутників Землі 43
3.2. Використання ефемеридного програмного забезпечення спостережень природніх тіл Сонячної системи в установах України 48
Висновки 52
Перелік джерел посилання 52

Додаток А Інформація про наявне програмне забезпечення для визначення орбіт штучних та природних тіл Сонячної системи в НДІ «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету ім. І.І.Мечнікова …… 57
Додаток Б Інформація про наявне програмне забезпечення для визначення орбіт штучних та природних тіл Сонячної системи в НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія»……
Додаток В Інформація про наявне програмне забезпечення для визначення орбіт штучних та природних тіл Сонячної системи у Центрі контролю космічного простору Західного центру радіотехнічного спостереження …….
Додаток Г Інформація про наявне програмне забезпечення для визначення орбіт штучних та природних тіл Сонячної системи у ДП КБ «Південне» …….
Додаток Д Інформація про наявне програмне забезпечення для визначення орбіт штучних та природних тіл Сонячної системи у «Астрономічній обсерваторії» Київського Національного університету ім.. Т.Г. Шевченка …….
Додаток Ж Протокол засідання семінару «Інформаційно-ефемеридне забезпечення космічних проектів», який відбувся в рамках Першого українського космічного форуму, Київ, 19 вересня 2018 р. ……..

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АНЗ	астероїд, що наближується до Землі
БДМТСС	база даних малих тіл СС
КА	космічний апарат
КМОП	комплементарна структура металл-оксид-напівпровідник
КО	космічний об'єкт
НДІ	науково-дослідний інститут
НЗКП	навколоземний космічний простір
ОЗ	оптичні засоби
ОЕЗ	оптико-електронні засоби
ПЗЗ	прилад зарядового зв'язку
ПНА	потенційно небезпечний астероїд
ПК	програмний комплекс
СС	Сонячна система
СПЗ	спеціалізоване програмне забезпечення
ТЗ	технічне завдання
ШСЗ	штучний супутник Землі
CPF	формат консолідованого прогнозу положення для
FTP	лазерного діапазону спостереження супутників
LEO	сервіс — доступ до файлів через Інтернет
GEO	низька орбіта супутника Землі
	висока орбіта супутника Землі

ВСТУП

Світовий досвід сучасних фундаментальних і прикладних досліджень свідчить про високу ефективність використання координатної і некоординатної інформації, яку одержують за допомогою оптико-електронних (ОЕЗ) і оптичних засобів (ОЗ). Вони можуть бути використані для контролю руху малих тіл Сонячної системи та космічних апаратів (КА) в інтересах виявлення невідомих небесних тіл, заново запущених КА і космічного сміття та їх супроводу, одержання координатної і некоординатної інформації для розв′язання задач розпізнавання та моніторингу.

Дослідження кінематичних і динамічних характеристик космічних апаратів та малих тіл Сонячної системи є одним із вагомих напрямів сучасної астрономії, особливий інтерес до яких підвищився в останні десятиліття у зв’язку з запусками космічних апаратів до астероїдів і комет та зростанням усвідомлення людством астероїдно-кометної небезпеки. При цьому лавиноподібно зростає обсяг результатів спостережень, які підлягають обробці, та значно зростають вимоги до показників точності спостережень КО.

Ці завдання можливо вирішувати шляхом створення та наповнення інформаційного сервісу наземних спостережень малих небесних тіл в рамках академічного сегменту Української системи моніторингу космічної обстановки а саме:

1. створення сервісу з автоматичної обробки кадрів та автоматизованого відкриття астероїдів і комет, а також елементів космічного сміття на серіях ПЗЗ-кадрів,
2. проведення постійного моніторингу КА та тіл Сонячної системи з використанням телескопів України та інших країн,
3. створення та наповнення бази даних КА та малих тіл Сонячної системи для подальшого дослідження їх кінематичних і динамічних характеристик.
4.

РОЗДІЛ 1. СТВОРЕННЯ ТА НАПОВНЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРВІСУ НАЗЕМНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ШСЗ ЗА ВИЗНАЧЕНИМИ ПРІОРИТЕТАМИ (ОБЄ'КТИ НА НИЗЬКІЙ І ГЕОСТАЦІОНАРНІЙ ОРБІТІ, СПЕЦІАЛЬНІ ШСЗ ТА ІНШІ)

Активне використання НЗКП призвело до істотного збільшення кількості космічних об'єктів штучного походження, і особливо космічного сміття на навколоземних орбітах. За станом на липень 2018 року, згідно даних відділу NASA зі спостережень штучних космічних об'єктів, в НЗКП налічувалося 19219 об'єктів, що супроводжуються об'єднаною системою аерокосмічною оборони США и Канади - NORAD.

У зв'язку із збільшенням кількості КС і його некерованістю зростає загроза зіткнень КС з працюючими космічними апаратами. Для запобігання зіткнень необхідне проведення спостережень максимальної кількості КО в НЗКП. Крім того, важливими завданнями у вивченні НЗКП є також:

- розрахунок небезпечних зближень КО;
- уточнення теорії орбітального руху КО;
- контроль стартів, падінь та взаємного положення КО в кластерах.

Провідні космічні країни спрямовують значні зусилля і кошти на створення, розвиток, а також підтримання в робочому стані систем контролю космічного простору. Результативність роботи СККП досягається використанням радіо і оптичних засобів наземного і космічного базування.

В Україні спостереженнями штучних космічних об'єктів у навколоземному космічному просторі займається «Система контролю космічної обстановки», розроблена Державним космічним агентством України. СКАКО забезпечує супровід близько 300 пріоритетних космічних об'єктів. Однак для розрахунку небезпечних зближень, вирішення всіх важливих завдань контролю космічного простору, зокрема дослідження форми КО, одержуваної в СКАКО, інформації недостатньо. Одним із перспективних шляхів розширення джерел інформації про КО і КС для СКАКО є залучення до робіт Української мережі оптичних станцій

до дослідження навколоземного космічного простору. Учасниками УМОС напрацьований різноманітний досвід у проведенні позиційних та фотометричних спостережень КО та КС [1,2], а також модернізації апаратного і програмного забезпечення.

1.1. Склад УМОС

1.1. Склад УМОС

З 2012 року до складу УМОС входять такі організації (у подальшому організації учасники УМОС будуть найменуватися за назвою міста):

1. Головна астрономічна обсерваторія НАН України – у подальшому Київ.
2. НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» МОН України - у подальшому Миколаїв.
3. Астрономічна обсерваторія Одеського національного університету імені І.І. Мечникова МОН України - у подальшому Одеса.
4. Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка МОН України - у подальшому Львів.
5. Лабораторія космічних досліджень Ужгородського національного університету МОН України - у подальшому Ужгород.
6. Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля НЦУВКЗ ДКАУ - у подальшому Дунаєвці.

Організації-учасники мережі мають у своєму розпорядженні різноманітні телескопи та навісне обладнання, що може бути застосовано для позиційних спостережень КО. У період травень - червень 2018 року спостереження проводились станціями УМОС на телескопах, які представлені в таблиці 1 та таблиці 2.

Таблиця 1. Обладнання станцій учасників УМОС для спостережень об’єктів на низьких орбітах

Станція УМОС	Телескоп	Об’єктив F/D (мм)	Назва камери розмір матриці, фізичний розмір пікселя	Поле зору (°)	Фотомер. полоса	Служба часу	Довгота (°)	Широта (°)	Висота (м)
Київ	CST	85/56	WAT-902H2 752×582, 8.6×8.3 мкм	4.3 × 3.2	Інтегр.	GPS Resolution T ±40 нс	30.5288001 30°31'43.71"	50.2969999 50°17'49.19"	158
Одеса	КТ-50	2000/500	WAT-902H2 752×582, 8.6×8.3 мкм	0.18×0.14	Інтегр.	GPS Resolution T ±5 мс	30.755640 30°45′20,30″	46.47778 46°28′40,01″	56
Миколаїв	МОБІТЕЛ «ТВТ»	135/48	WAT-902H2 752×582, 8.6×8.3 мкм	2.6 × 2.0	Інтегр.	GPS Resolution T ±40 нс	31.973642 31°58′25,11″	46.971147 46°58′16,13″	77
Львів	ТПЛ (гід)	85/56	LCL-902H 752×582, 8.6×8.3 мкм	4.2 × 3.2	Інтегр.	GPS Motorola UTOncore ±50 нс, СЧЧ-74 ±1 мкс	23.954220 23°57′15,19″	49.917540 49°55′03,14″	365
Ужгород	ТПЛ-1М (гід)	85/56	CCTV 795x596 8.6x8.3 мкм	4.2 × 3.2	Інтегр.	GPS Resolution T ±40 нс	22.45380 22°27′13,68″	48.56360 48°33′48,96″	273

* усі телескопи мають азимутальне монтування

Таблиця 2. Обладнання станцій учасників УМОС для позиційних спостережень геостаціонарних КО

Станція УМОС	Телескоп	Тип монтування	Об'єктив F/D (мм)	Назва камери розмір матриці, розмір пікселя	Поле зору (°)	Фотометрична полоса	Служба часу	Довгота (°)	Широта (°)	Висота (м)
Київ	KIT	Німецька екваторіальне	3852/355	SBIG ST-8XM 1530x1020, 9×9 мкм	0.20×0.13	U,B,V,R,I,n	NTP server	30.5288000 30°31'43.68"	50.2970000 50°17'49.20"	158
Одеса	OMT 800	Паралактична	2400/800	FLI ML9000 3056×3056, 12×12 мкм	0.89×0.89	integral	GPS Resolution T ±40 нс	30.27127709 30°16'16.59"	46.39696195 46°23'49.06"	19
	KTC	Азимутальна	1500/280	AltaApoge U9, 3072 x 2048, 9×9 мкм	1.5 × 1.0					
Львів	GLD-250	Паралактична	1206/250	Starlight SXV-M9 752x582 pix, 12×11 мкм	0.3 × 0.4	integral	NTP	23.954327 23°57'15.58"	49.917689 49°55'03.68"	359
Ужгород	BRC 250M	Паралактична	1268/250	AltaApoge U9, 3072 x 2048, 9×9 мкм	1.25×0.83	R	GPS	22.453751 22°27'13.50"	48.5635505 48°33'48.78"	231
	T400	Паралактична	1750/400	FLI PL9000, 3056×3056,12×12 мкм	1.22×1.22	B, V, R	GPS	22.453500 22°27'12.60"	48.5633833 48°33'48.18"	240
Миколаїв	МОБІТЕЛ «КТ-50»	Азимутальна	3000/500	Alta U9000 3056×3056, 12×12 мкм	0.7 × 0.7	V	GPS Resolution T ±40 нс	31.973623 31°58'25.04"	46.971147 46°58'16.13"	77
	МОБІТЕЛ «МЕЗОН»	Азимутальна	800/230	Alta U9000 3056×3056, 12×12 мкм	2.7 × 2.7	R	GPS Resolution T ±40 нс	31.973577 31°58'24.88"	46.971147 46°58'16.08"	77
	FRT	Азимутальна	1500/280	Alta U9000 3056×3056, 12×12 мкм	1.4 × 1.4	R	GPS Resolution T ±40 нс	31.973314 31°58'23.93"	46.972488 46°58'20.96"	78

1.2. Об’єкти та методи їх спостереження

Об’єктами спостереження УМОС є КО та КС на навколоземних орбітах з висотами 200 – 40000 км. Технічні характеристики станцій УМОС та програмне забезпечення дозволяють здійснювати позиційні спостереження КО з відомими параметрами орбіти на усіх типах навколоземних орбіт:

- Низькі навколоземні орбіти – LEO: апогей/перигей 400 км –2500 км;
- Геосинхронні орбіти – GSO: апогей/перигей ~ 36000 км;
- Середні навколоземні орбіти – MEO: апогей/перигей 2500км – 36000 км;
- Геоперехідні орбіти – GTO: апогей ~ 36000 км, перигей < 30000 км;
- Полусинхронні орбіти – SSO: апогей/перигей ~ 20000 км;
- Високоелептичні орбіти – HEO: апогей > 40000 км, перигей < 36000 км.

1.2.1. Методи визначення екваторіальних координат КО

- Диференційний метод – за зображенням опорних зірок, що знаходяться на одому кадрі з об’єктом.
- Комбінований метод спостережень (КМС) – за зображенням опорних зірок, що знаходяться на окремих кадрах, отриманих із застосуванням іншого режиму роботи ПЗЗ. КМС використовується на нерухомому телескопі з використанням способів формування зображення НКЗ та ВСПЗ.
- Абсолютний метод – за датчиками кутів повороту осей телескопа.

На станціях УМОС для позиційних спостережень використовуються різні методи та спеціальне програмне забезпечення, деякі з яких є власною розробкою учасників УМОС. Нижче наведені скорочені назви та основні складові методів спостереження КО.

- **Комбінований + НКЗ:** нерухомий телескоп, телевізійна ПЗЗ камера, формування зображення КО накопиченням кадрів зі зсувом (цифровий супровід), комбінований метод визначення екваторіальних координат КО (розробка Миколаїв).

- **Комбінований + ВСПЗ:** нерухомий телескоп, повнокадрова ПЗЗ камера з режимом синхронного переносу заряду та поворотною платформою, формування зображення КО способом вкороченого синхронного переносу заряду (електронний супровід), комбінований метод визначення екваторіальних координат КО (розробка Миколаїв).
- **Диференційний + механічний супровід:** механічний супровід КО телескопом, телевізійна ПЗЗ камера, формування зображення КО статичним кадровим способом, диференційний метод визначення екваторіальних координат КО (розробка Одесса).
- **Диференційний + нерухомий телескоп:** нерухомий телескоп, повнокадрова ПЗЗ камера, формування зображення КО статичним кадровим способом, диференційний метод визначення екваторіальних координат КО з обробкою витягнутих зображень опорних зір (класичний метод спостереження високоорбітальних КО).
- **Диференційний + добове ведення:** добове ведення телескопу, повнокадрова ПЗЗ камера, диференційний метод визначення екваторіальних координат КО (класичний метод астрометричних спостережень астероїдів, підходить для спостереження високо еліптичних КО в апогеї)

Основні параметри діючих систем позиційних спостережень УМОС наведені в таблиці 3.

1.3. Координація позиційних спостережень КО

Центром координації проведення позиційних спостережень УМОС є Миколаївська астрономічна обсерваторія. Координація здійснюється формуванням загального списку спостережень з пріоритетами. Розрахунок цілевказівок для оптичних спостережень КО здійснюється кожною станцією самостійно за елементами орбіт з Інтернет ресурсу space-track.org.

Таблиця 3. Основні характеристики телескопів станцій УМОС для проведення позиційних спостережень КО.

№ з/п	Станція УМОС	Назва телескопа	Метод спостереження	Типи орбіт КО
1	Київ	CST	комбінований + НКЗ	LEO
2	Київ	КІТ	диференційний + нерухомий телескоп	GEO
3	Миколаїв	МОБІТЕЛ «КТ-50»	комбінований + ВСПЗ	LEO MEO GEO
4	Миколаїв	МОБІТЕЛ «МЕЗОН»	комбінований + ВСПЗ	LEO MEO GEO
5	Миколаїв	ШАК	комбінований + ВСПЗ	LEO MEO GEO
6	Миколаїв	МОБІТЕЛ «ТВТ»	комбінований + НКЗ	LEO
7	Одеса	КТ-50	диференційний + механічний супровід	LEO
8	Одеса	ОМТ 800	диференційний + нерухомий телескоп	GEO
9	Одеса	КТС	комбінований + ВСПЗ	LEO MEO GEO
10	Ужгород	ТПЛ-1М (гід)	комбінований + НКЗ	LEO
11	Ужгород	Т400	диференційний + нерухомий телескоп	GEO
12	Ужгород	BRC 250M	диференційний + нерухомий телескоп	GEO
13	Львів	ТПЛ- (гід)	комбінований + НКЗ	LEO
14	Львів	GLD-250	диференційний + нерухомий телескоп	GEO

Обробка спостережень до екваторіальних координат КО проводиться кожною станцією самостійно. Результатами спостережень є пряме

сходження, схилення та зоряна величина КО на момент спостережень в форматі mea. Результати спостережень накопичуються на внутрішньому FTP сервері УМОС (umoss@194.44.78.107/pub/positional), що створений та обслуговується в Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету. Загальне обчислення масиву спостережень здійснюється в Миколаївський обсерваторії до елементів орбіти в форматах TLE та CPF.

1.4. Мета та план робіт Української Мережі Оптичних Станцій (УМОС)

Метою роботи є проведення регулярних астрометричних та фотометричних спостережень навколоземних космічних об'єктів з використанням УМОС. Визначення орбітальної інформації та функціонального стану КО з використанням наповнюваної бази даних результатів спостережень. Уточнення ефемерид КО з ціллю підтримки сеансів лазерної локації. Спостереження КО, що зближуються, для уточнення обставин зближення. В процесі виконання роботи будуть виконані наступні завдання:

Координатні спостереження низькоорбітальних КО:

- Спостереження обраних списків КО для наповнення бази даних УМОС та цілей розвитку досліджень УМОС;

Обробка результатів астрометричних спостережень:

- Обробка спостережень до екваторіальних координат КО проводиться кожною станцією мережі самостійно.
- Результати обробки спостережень оформляються в форматі - прямі піднесення, схилення та зоряна величина КО на момент спостережень.
- Масив результатів спостережень формується на робочий FTP сервер УМОС в формі спільної бази даних положень КО.

Розрахунок елементів орбіт та уточнення теорії руху КО:

- Розрахунок елементів орбіт в форматі TLE та CPF за базою положень КО, о розміщені на FTP сервері УМОС проводиться в НДІ МАО (м. Миколаїв) з використанням чисельної моделі руху КО, яка впроваджена в роботу з 2015

року. Одержані результати оформлюються у вигляді бази даних та розміщуються на робочому сайті УМОС;

- Оцінка точності отриманих при спостереженнях положень КО (тільки для КО зі списку ILRS) розрахована з використанням чисельної моделі руху КО відносно апроксимуючої чисельної орбіти, проводиться як для кожної станції УМОС так і окремо. Проводиться оцінка умов спостережень з використанням реальних вимірювань на станціях УМОС.

Розвиток інтернет-ресурсів УМОС:

- Підтримка FTP сервера для координації спостережень КО та аналізу їх результатів;
- Оновлення загальної інформації про станції-учасники;
- Регулярне оновлення поточної версії каталогу елементів орбіт в форматах TLE та CPF.

1.5. Виконані роботи

1.5.1. Формування обраних списків КО

Головною метою першого етапу роботи є спостереження КО зі списку Міжнародної служби лазерної локації при умовах:

- позиційні спостереження КО станціями УМОС у складі – ГАО НАНУ, НДІ «МАО», НДІ АО ОНУ. Метод спостереження обирається кожною станцією в залежності від наявного обладнання та програмного забезпечення. Складається єдиний список КО для спостережень для всіх станцій мережі на період спільних одночасних спостережень;

- обробка спостережень до екваторіальних координат КО проводиться кожною станцією мережі самостійно. Результатами обробки спостережень мають бути прямі піднесення, схилення та зоряна величина КО на момент спостережень в узгодженому форматі. Результати спостережень надходять на робочий FTP сервер УМОС, де формується спільна база даних положень КО;

- розрахунок елементів орбіт в форматі TLE та CPF за каталогом положень КО проводиться в НДІ МАО (м. Миколаїв) з використанням

чисельної моделі руху КО, яка впроваджена в роботу з 2015 року. Одержані результати оформлюються у вигляді бази даних та розміщуються на робочому сайті УМОС;

- оцінка точності отриманих при спостереженнях положень КО (тільки для КО зі списку ILRS) розрахована з використанням чисельної моделі руху КО відносно апроксимуючої чисельної орбіти проводиться як для кожної станції УМОС окремо.

- проведення оцінки умов спостережень з використанням реальних вимірювань на станціях УМОС.

Списки КО, які спостерігались, представлені в таблицях 4 – 7:

Таблиця 4. Низькоорбітальні КО з високоточними ефемеридами

NORAD	Int'i Code	Period(min)	Apodee(km)	Perigee(km)	Inclination(o)	RCS(m2)	Massa(kg)	Name		Country
31698	2007-026A	94.8	516.9	514.2	94.8	2.424	1250	TerraSAR-X	(terrasarx)	Germany
36605	2010-030A	94.8	516.4	514.6	97.4	2.5155	1250	TanDEM-X	(tandemx)	Germany
39068	2013-003A	94.9	762.3	280.1	80.2	0.7441	<100	STSAT 2C	(stsat2c)	South Korea
39227	2013-042A	95.7	560.5	559.7	97.6	?	1400	KOMPSat 5	(kompsat5)	South Korea
39451	2013-067A	94.7	511.6	508.0	87.8	?	468	Swarm A	(swarma)	Europe
39452	2013-067B	93.4	448.9	444.0	87.4	?	468	Swarm B	(smarmb)	Europe
39453	2013-067C	94.7	448.9	444.0	87.4	?	468	Swarm C	(smarmc)	Europe
42829	2017-042E	96.6	612.1	592.9	97.6	?	18	TECHNOSAT	(technosat)	Germany
43044	2017-071H	93.5	450.7	451.2	93.5	?	4	CHEFSAT	(chefsat)	USA
43183	2018-014G	97.7	593.3	576.7	97.7	?	?	S-NET	(snet2)	Germany
43187	2018-014H	97.7	593.3	576.7	97.7	?	?	OBJECT H	(snet3)	Germany
43188	2018-014J	97.7	593.3	576.7	97.7	?	?	D-STAR ONE	(snet4)	Germany
43189	2018-014K	96.2	593.3	576.7	97.7	?	?	OBJECT K	(snet1)	Germany
43476	2018-047A	94.5	450.7	451.2	89.0	?	580	GRACE-FO 1	(gracefo1)	USA Germany
43477	2018-047B	94.5	513.8	489.8	89.0	?	580	GRACE-FO 2	(gracefo2)	USA Germany
22824	**1993-061B**	**100.9**	**811.5**	**803.8**	**98.8**	0.167	48	Stella	(stella)	France
27386	2002-009A	100.1	773.4	771.8	98.2	19.4975	8211	ENVISAT	(envisat)	ESA
27944	2003-042F	98.4	699.8	680.4	98.0	0.1347	21?	Larets	(larets)	Russia
36508	2010-013A	99.2	731.9	719.4	92.0	2.9703	750	CryoSat 2	(cryosat2)	Europe
37781	2011-043A	104.4	976.2	975.0	99.3	5.2193	?	HAIYANG 2A	(hy2a)	China
39086	2013-009A	100.6	793.8	790.5	98.5	2.167	346	SARAL	(saral)	India France
41335	2016-011A	100.9	810.5	809.0	98.6	?	1200	Sentinel 3A	(sentinel3a)	Europe
41579	2016-034A	103.9	950.9	949.3	99.3	?	1400	COSMOS 2517	(geoik2)	Russia
7646	1975-010A	104.2	1113.7	812.0	49.8	0.168	47	Starlette	(starlette)	France
16908	1986-061A	115.7	1503.7	1485.9	50.0	3.9811	685	EGS	(ajisai)	Japan
33105	2008-032A	111.8	1324.2	1311.9	66.0	2.972	553	JASON 2	(jason2)	USA France
38077	2012-006A	114.7	1459.6	1442.6	69.5	0.0386	400?	LARES	(lares)	Italy
41240	2016-002A	112.4	1351.0	1338.7	66.0	?	553	Jason 3	(jason3)	USA France
8820	1976-039A	225.5	5954.9	5845.5	109.8	0.3981	411	LAGEOS 1	(lageos1)	USA Italy
22195	1992-070B	222.5	5957.8	5624.0	52.6	0.3981	405	LAGEOS 2	(lageos2)	USA Italy

Таблиця 5. Низькоорбітальні КО Росії військового призначення

NORAD	Int'I Code	Period(min)	Apogee(km)	Perigee(km)	Inclination(o)	RCS(m2)	Mass(kg)	Name		Country
33272	2008-037A	99.2	737.9	716.3	97.9	20.3192	+7000	COSMOS 2441	(Persona)	Russia,
39177	2013-028A	99.1	728.9	713.5	98.1	?	+7000	COSMOS 2486	(Persona)	Russia,
40420	2015-009A	96.1	583.8	573.6	97.8	?	4000?	COSMOS 2503	(Bars-M)	Russia,
40699	2015-029A	99.1	729.0	714.1	98.2	?	7000?	COSMOS 2506	(Persona)	Russia,
41099	2015-071B	98.5	699.8	688.3	98.2	?	15.8	COSMOS 2512	(KYuA)	Russia,
41394	2016-020A	96.1	602.8	554.4	97.7	?	4000?	COSMOS 2515	(Bars-M)	Russia,
41579	2016-034A	103.9	949.4	945.9	99.3	?	1400	COSMOS 2517	(Geo-IK-2)	Russia,
42798	2017-037A	97.9	677.5	656.7	98.0	?	?	COSMOS 2519	(Nivelir-ZU)	Russia,

Таблиця 6. КО на середніх висотах з високоточними ефемеридами

NORAD	Int'i Code	Period(min)	Apodee(km)	Perigee(km)	Inclination	RCS(m2)	Massa(kg)	Name	Country
37846	2011-060A	844.7	23240.1	23218.2	56.1	51.3777	640	GALILEO-PFM (galileo101)	ESA
37847	2011-060B	844.7	23241.1	23217.2	56.1	48.7715	640	GALILEO-FM2 (galileo102)	ESA
38857	2012-055A	844.7	23245.5	23213.2	54.9	10.3554	640	GALILEO-FM3 (galileo103)	ESA
38858	2012-055B	844.7	23241.9	23216.8	54.9	13.2202	640	GALILEO-FM4 (galileo104)	ESA
40128	2014-050A	776.2	26232.8	16980.4	50.5	?	733	GALILEO 5 (galileo201)	ESA
40129	2014-050B	776.2	26233.2	16980.0	50.5	?	733	GALILEO 6 (galileo202)	ESA
40544	2015-017A	844.7	23233.5	23225.0	55.9	?	733	GALILEO 7 (galileo203)	ESA
40545	2015-017B	844.7	23233.1	23225.4	55.9	?	733	GSAT0204 (galileo204)	ESA
40889	2015-045A	844.7	23233.0	23225.4	56.7	?	733	GALILEO 9 (galileo205)	ESA
40890	2015-045B	844.7	23231.0	23227.3	56.7	?	733	GALILEO 10 (galileo206)	ESA
41174	2015-079A	844.7	23249.0	23209.8	54.9	?	733	GALILEO 12 (galileo209)	ESA
41175	2015-079B	844.7	23246.4	23212.4	54.9	?	733	GALILEO 11 (galileo208)	ESA
41549	2016-030A	844.7	23235.1	23223.3	56.9	?	733	GALILEO 14 (galileo211)	ESA
41550	2016-030B	844.7	23238.3	23220.1	56.9	?	733	GALILEO 13 (galileo210)	ESA
41859	2016-069A	844.7	23248.6	23210.2	54.6	?	733	GALILEO 15 (galileo207)	ESA
41860	2016-069B	844.7	23245.3	23213.6	54.6	?	733	GALILEO 16 (galileo212)	ESA
41861	2016-069C	844.7	23245.8	23213.0	54.6	?	733	GALILEO 17 (galileo213)	ESA
41862	2016-069D	844.7	23243.6	23215.2	54.6	?	733	GALILEO 18 (galileo214)	ESA
43055	2017-079A	844.7	23238.1	23220.6	56.8	?	733	GALILEO 19 (galileo215)	ESA
43056	2017-079B	844.7	23241.9	23216.7	56.8	?	733	GALILEO 20 (galileo216)	ESA
43057	2017-079C	844.7	23239.4	23219.2	56.8	?	733	GALILEO 21 (galileo217)	ESA
43058	2017-079D	844.7	23243.6	23215.0	56.8	?	733	GALILEO 22 (galileo218)	ESA

Таблиця 7. КО на геостаціонарних висотах з високоточними ефемеридами

NORAD	Int'I Code	Period(min)	Apogee(km)	Pergee(km)	Inlination(o)	RCS(m2)	Mass(kg)	Location(°)	Name	Country
37948	2011-073A	1435.8	36021.3	35554.5	52.7	7.9433	2300	110c.д.	BEIDOU IGSO5(compassi5)	China
40938	2015-053A	1436.3	36013.5	35581.3	53.7	?	4200	90c.д.	BEIDOU I2-S (compassis2)	China
41434	2016-021A	1436.0	35921.1	35662.1	56.0	?	2300	95c.д.	BEIDOU IGSO6(compassi6b)	China
39199	2013-034A	1436.1	35870.4	35718.1	29.4	?	1425	55c.д.	IRNSS-1A (irnss1a)	India
39635	2014-017A	1436.1	35885.8	35700.8	29.2	?	1432	55c.д.	IRNSS-1B (irnss1b)	India
40269	2014-061A	1436.1	35870.6	35717.9	2.4	?	1425	83c.д.	IRNSS-1C (irnss1c)	India
41384	2016-015A	1436.1	35884.4	35702.6	3.4	?	1425	32c.д.	IRNSS-1F (irnss1f)	India
43286	2018-035A	1436.0	35874.9	35710.2	28.6	?	1425	55c.д.	IRNSS-1I (irnss1i)	India

1.6. Статистика спостережень

Спостерігати низькоорбітальні та геостаціонарні КО мають можливість усі учасники УМОС, що приймають участь у координатних спостереженнях. Статистику спостережень, отриманих за 2018 рік представлено в табл.. 8 та 9.

Таблиця 8. Статистика спостережень низькоорбітальних КО у 2018 році

Станція УМОС	Ночі	Об'єкти	Проводки	Вимірів	Тривалість (хв)
Київ	37	114	840	4005	2002.5
Миколаїв	53	177	843	12538	835.87
Одеса	64	151	967	2250985	750.33
Всього	**154**	**442**	**2650**	**2267528**	**3588.7**

Таблиця 9. Статистика спостережень геостаціонарних КО у 2018 році

Станція УМОС	Ночі	Об'єкти	Проводки	Вимірів	Тривалість (хв)
Київ	5	2	5	593	444.75
Миколаїв	40	5	81	2278	341.7
Одеса	13	5	21	3819	954.75
Ужгород	8	10	19	504	504
Львів	1	1	1	111	37
Всього	**67**	**23**	**127**	**7305**	**2282.2**

1.6.1. Умови спостережень

Проведена оцінка умов спостережень, яка дає уявлення про яскравість КО, які спостерігались, умов розміщення телескопів на місцевості та алгоритмія процесу спостережень реалізованих на телескопах мережі УМОС.

Для телескопу ТВТ станції Миколаїв результати представлені на рис. 1-6, для побудови яких використано 12538 спостережень.

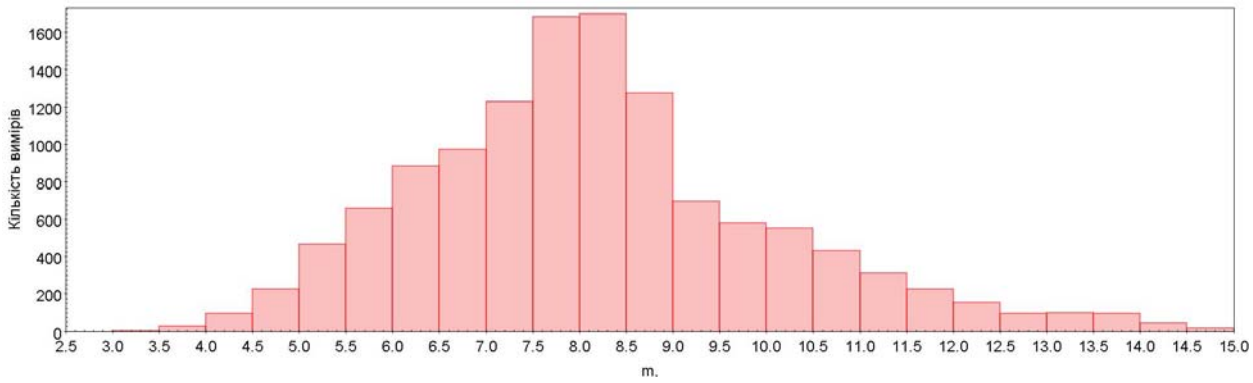


Рис 1. Розподіл спостережень по зоряній величині для телескопу ТВТ.

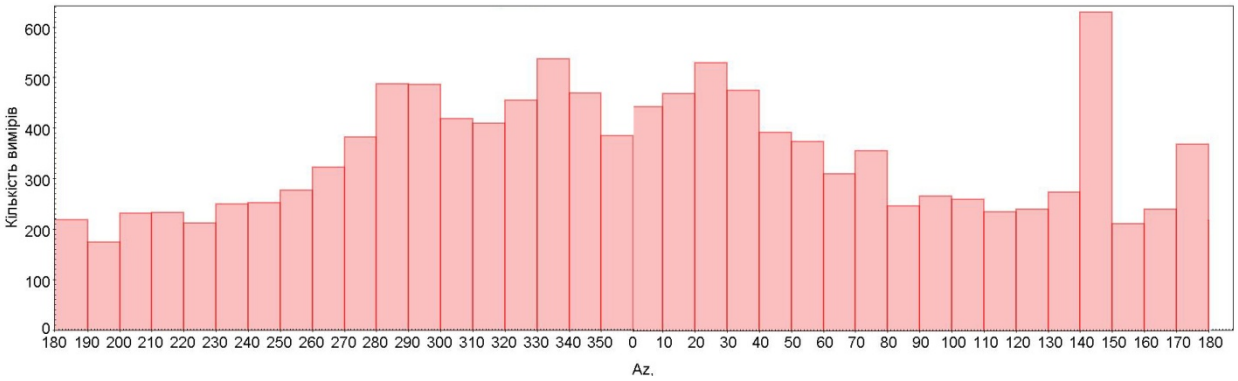


Рис 2. Розподіл спостережень по азимуту для телескопу ТВТ.

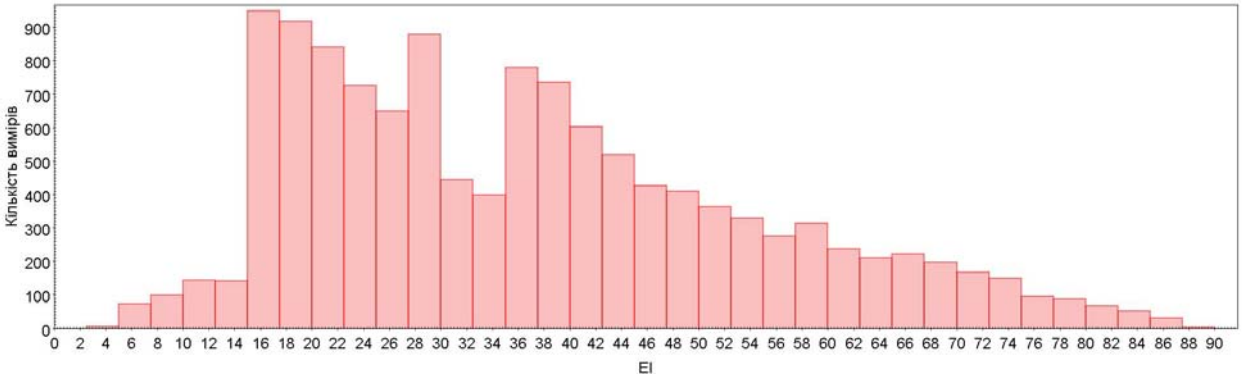


Рис 3. Розподіл спостережень по підвищенню для телескопу ТВТ.

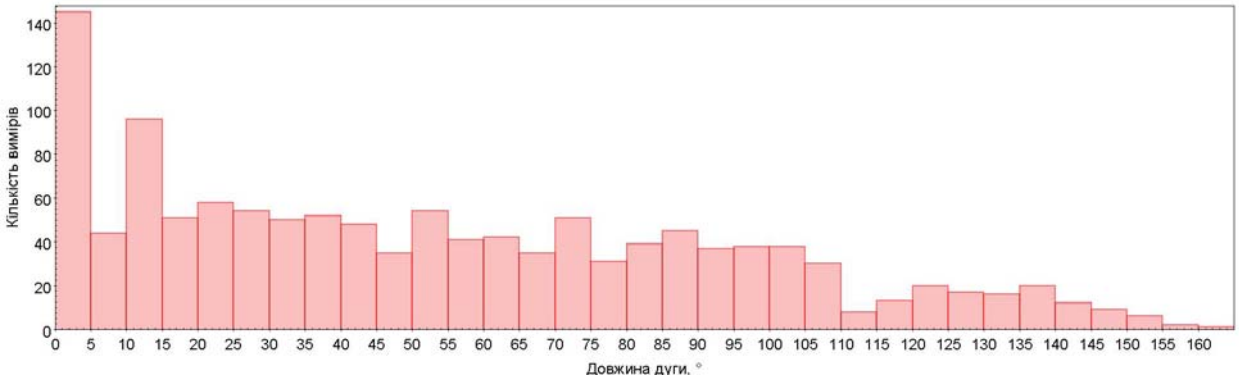


Рис 4. Розподіл довжин дуг спостереження для телескопу ТВТ.

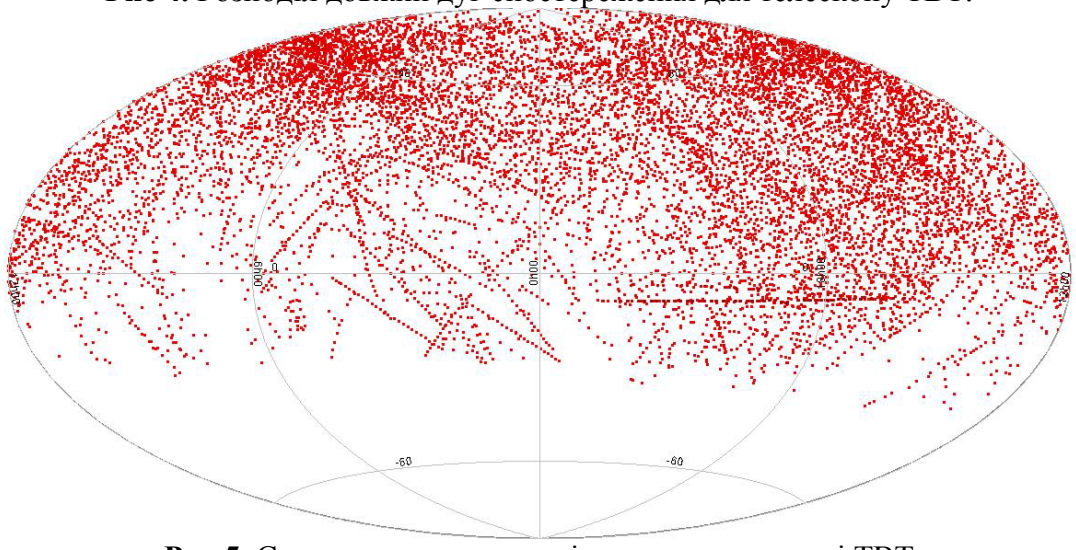


Рис 5. Супутники що спостерігалися на телескопі ТВТ
на небесній сфері в екваторіальних координатах.

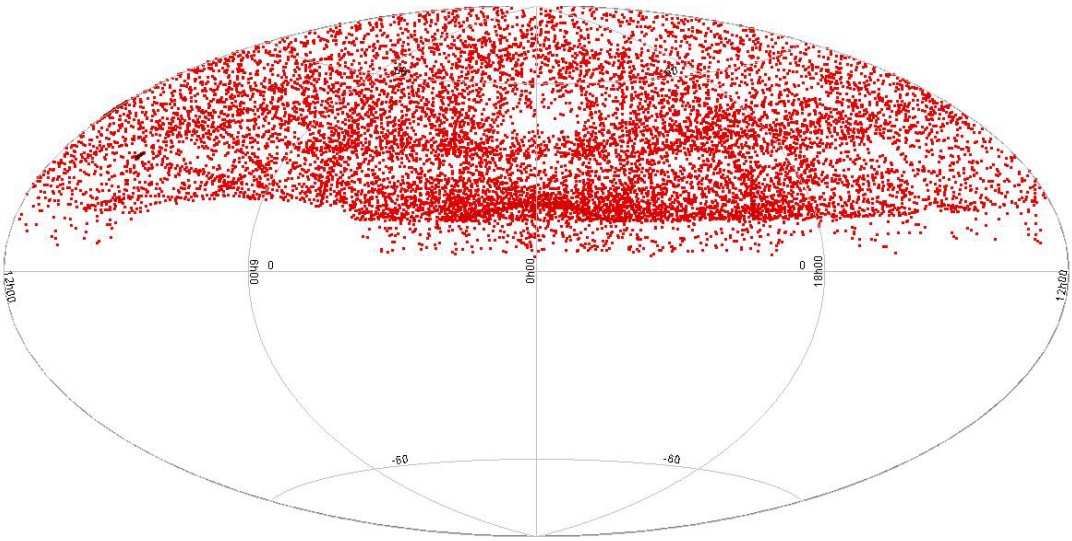


Рис 6. Супутники що спостерігалися на телескопі ТВТ
на небесній сфері в азимутальних координатах.

Для телескопа KIT станції Київ результати представлені на рис. 6.7. - 6.12., для побудови яких використано 4005 спостережень.

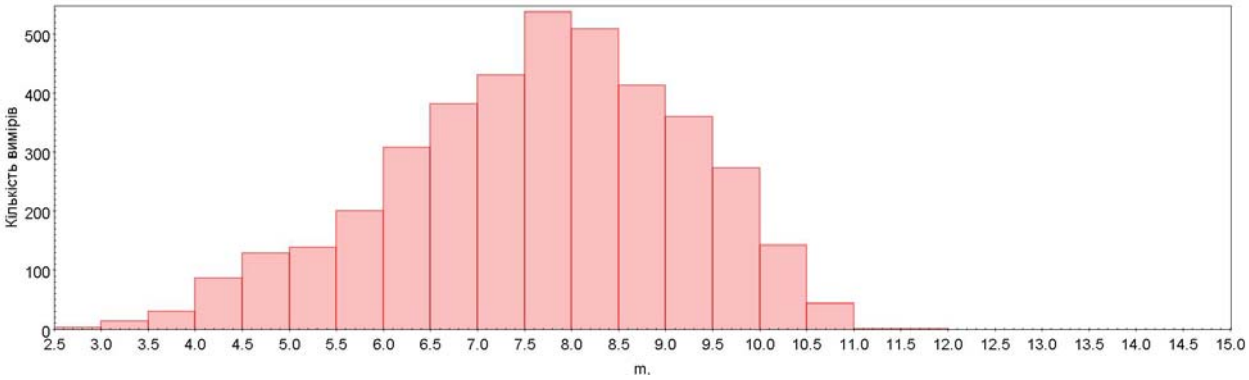


Рис 7. Розподіл спостережень по зоряній величині для телескопа KIT.

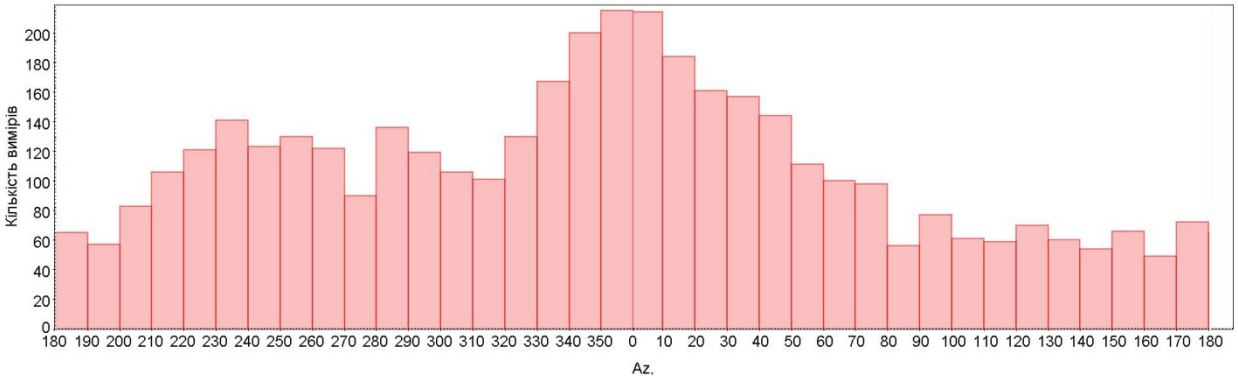


Рис 8. Розподіл спостережень по азимуту для телескопа KIT.

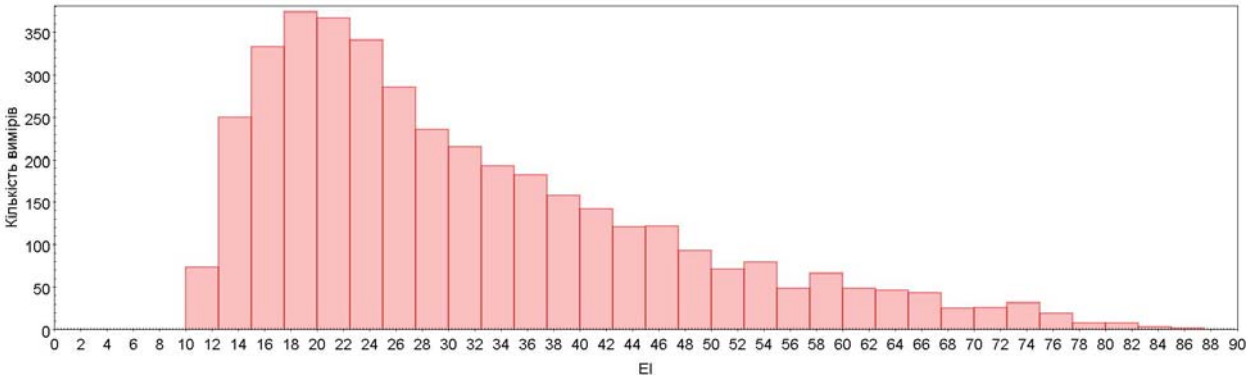


Рис 9. Розподіл спостережень по підвищенню для телескопа KIT.

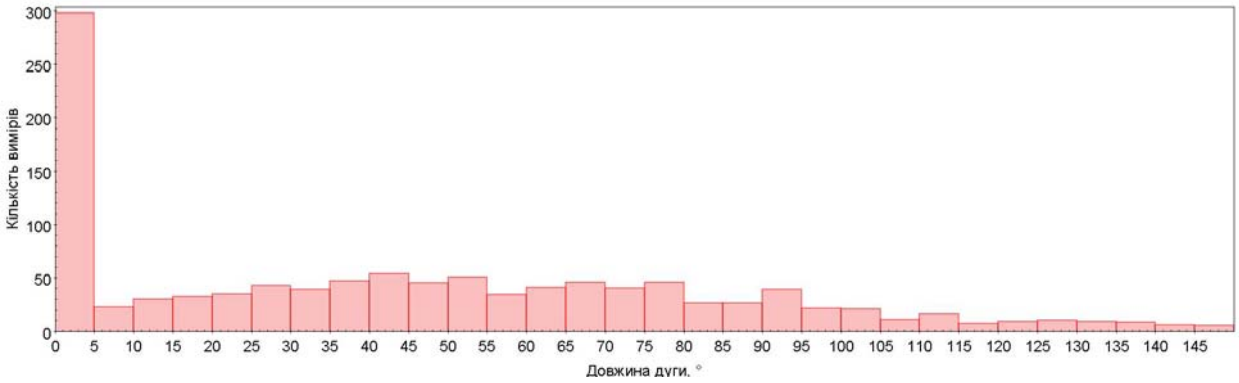


Рис 10. Розподіл довжин дуг спостереження для телескопа KIT.

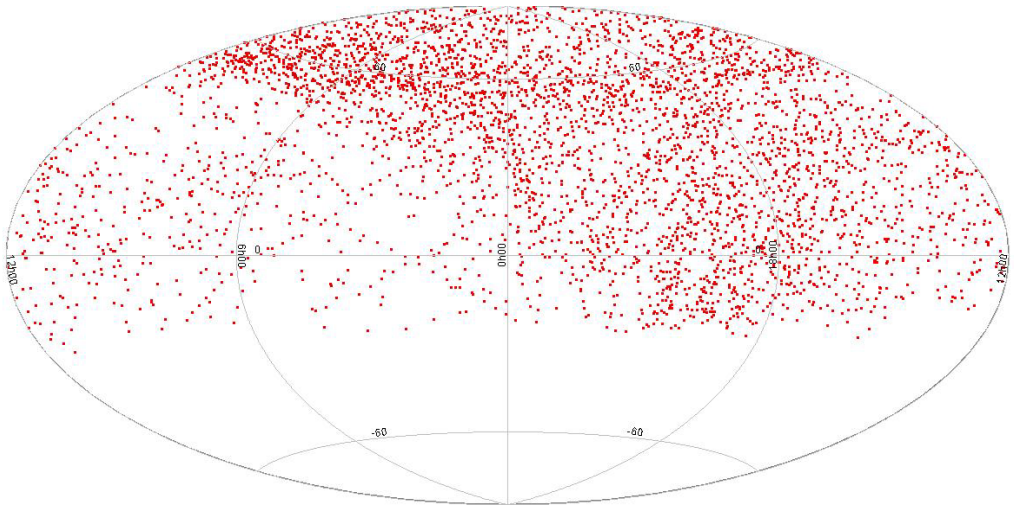


Рис 11. Супутники, які спостерігалися телескопом KIT
на небесній сфері в екваторіальних координатах.

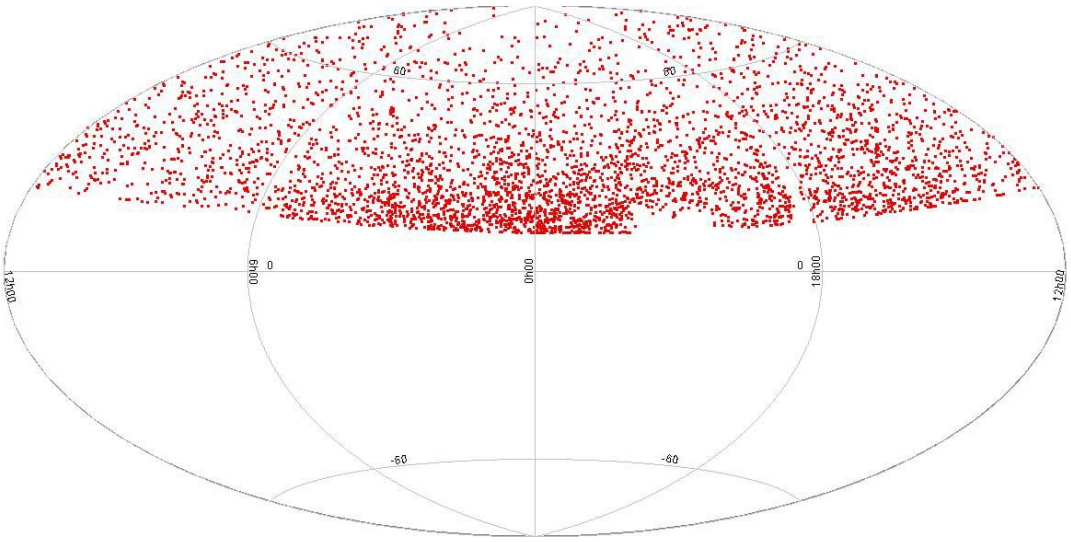
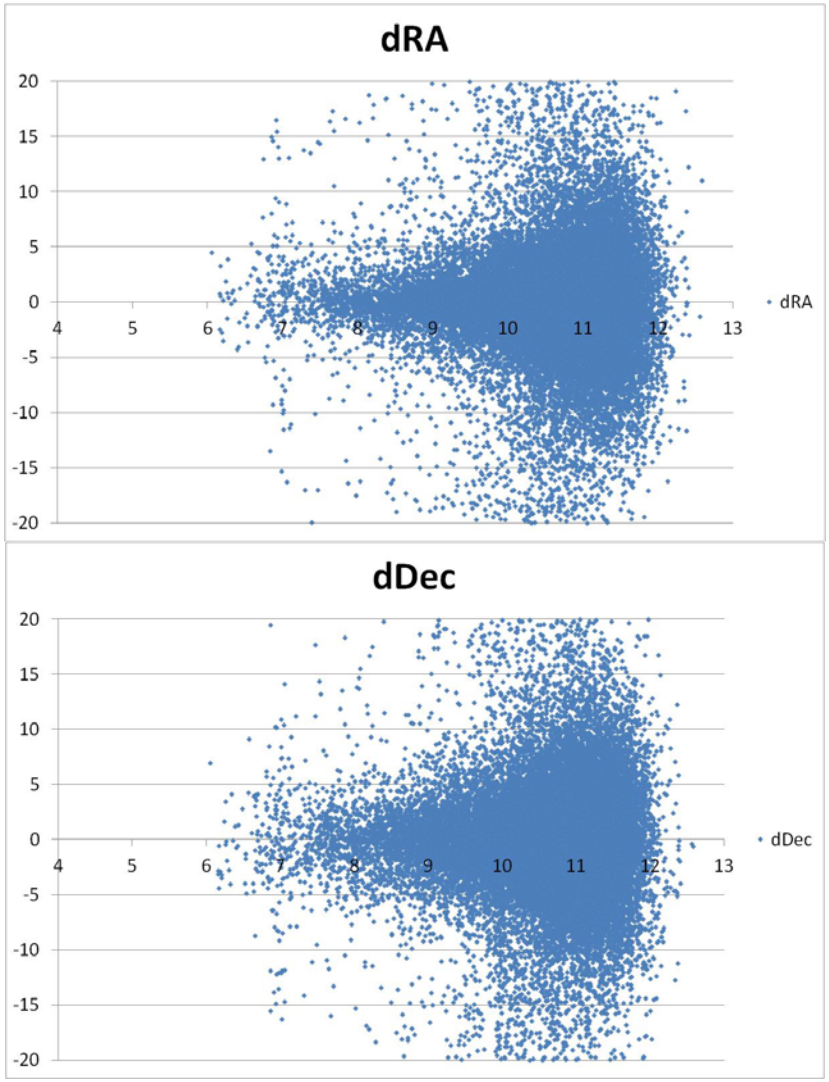


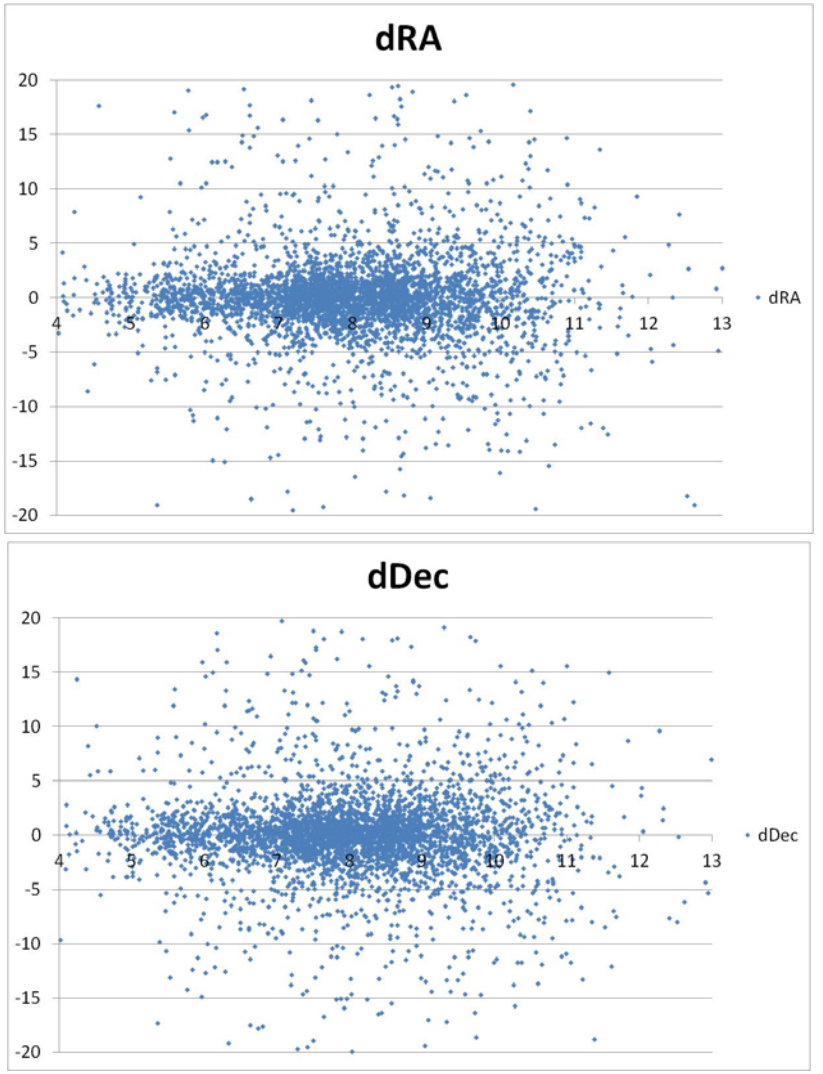
Рис 12. Супутники що спостерігалися на телескопі KIT
на небесній сфері в азимутальних координатах

1.6.2 Оцінка точності спостережень КО

Оцінка точності спостережень (в випадковому відношені) проводилась відносно кеплерової орбіти. Відхилення для станцій Миколаїв та Київ представлені на рис. 13 та рис. 14 для КО на низьких орбітах.



Опорні зорі



LEO супутники за 1-е півріччя

Рис. 13. (O-C) по α та δ для КО на низьких орбітах для станції Миколаїв.



Опорні зорі LEO супутники за 1-е півріччя

Рис. 14. (O-C) по α та δ для КО на низьких орбітах для станції Київ.

Відхилення (O - C) для всіх станцій (Київ, Миколаїв, Одеса, Ужгород, Львів) представлені на рис. 15 та рис. 16 для КО на геостаціонарних орбітах.

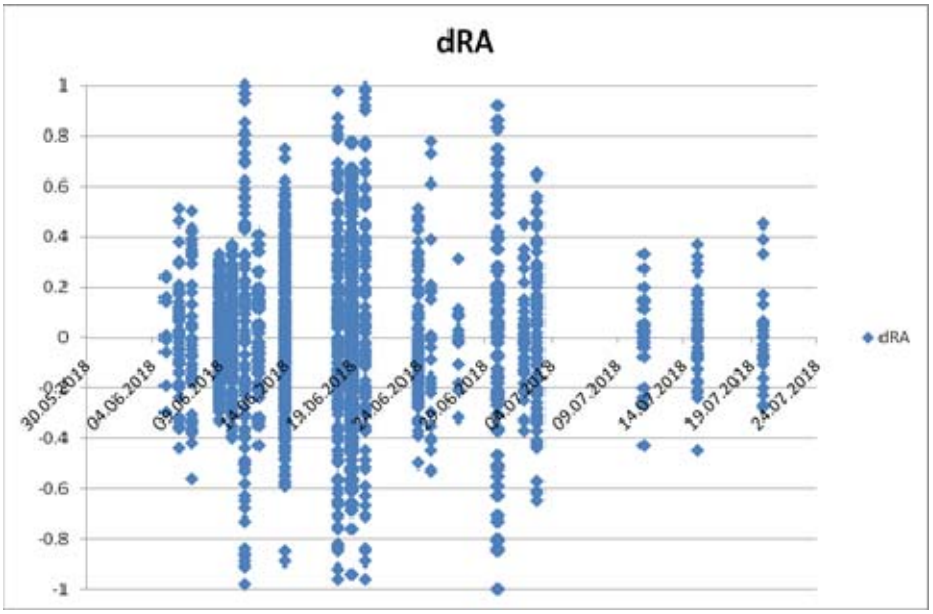


Рис. 15. (O-C) по прямому піднесенню для КО на геостаціонарних орбітах.

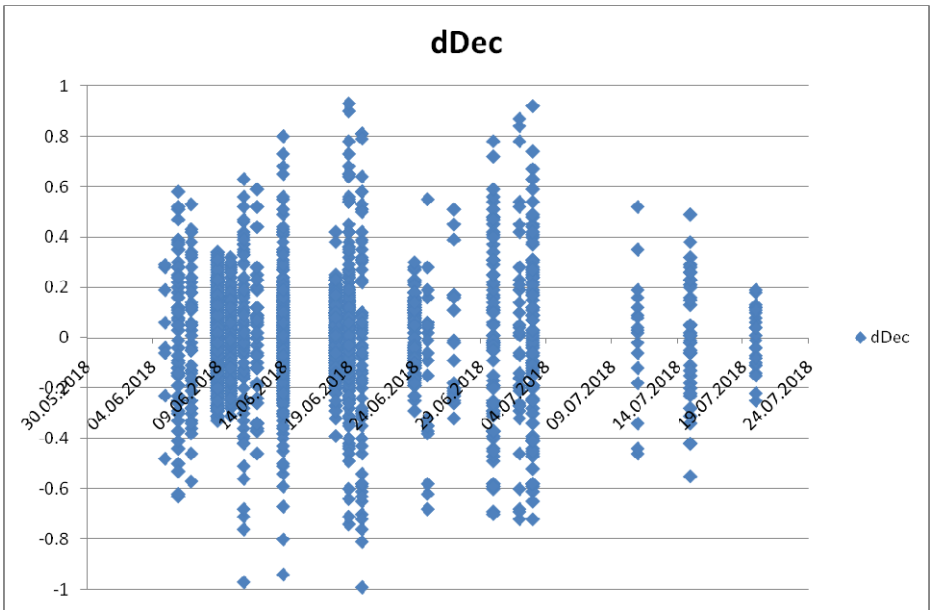
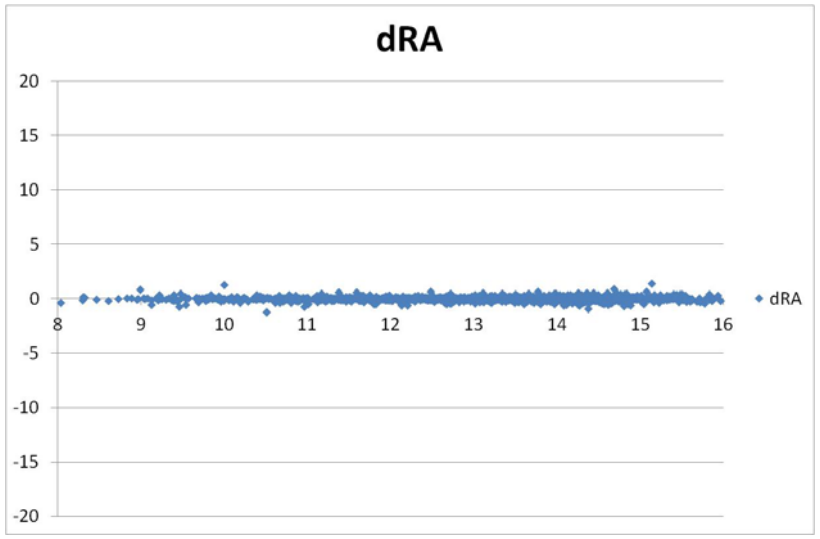
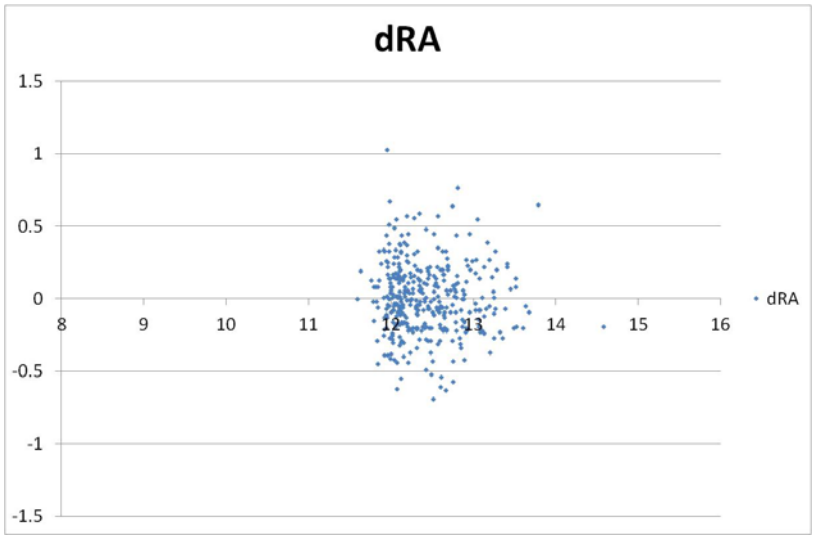
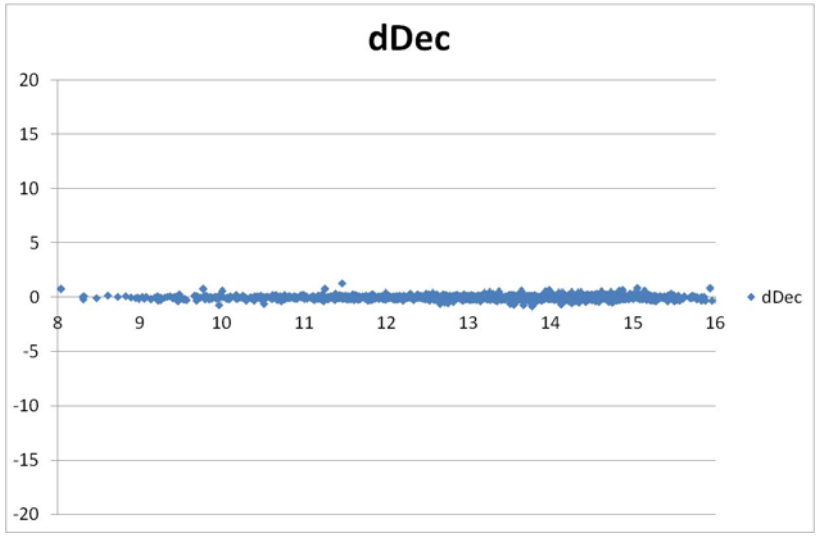


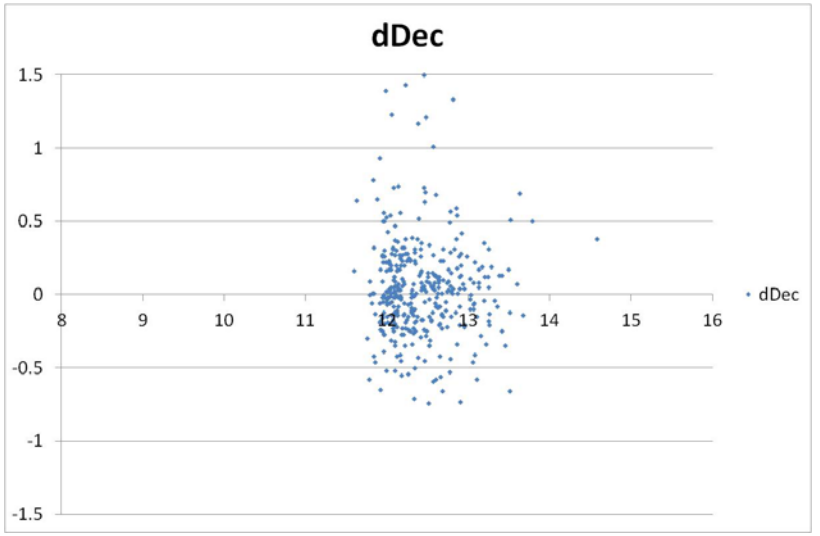
Рис. 16. (O-C) по схиленню для КО на геостаціонарних орбітах

Похибки визначення координат опорних зір та об’єкта 41384 для станцій Миколаїв, Одеса, Ужгород показані на рисунках 17 – 19.





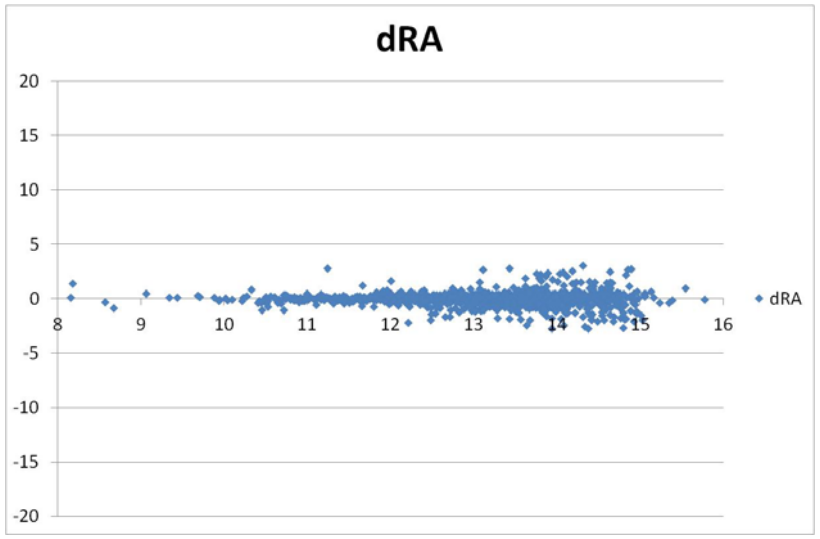


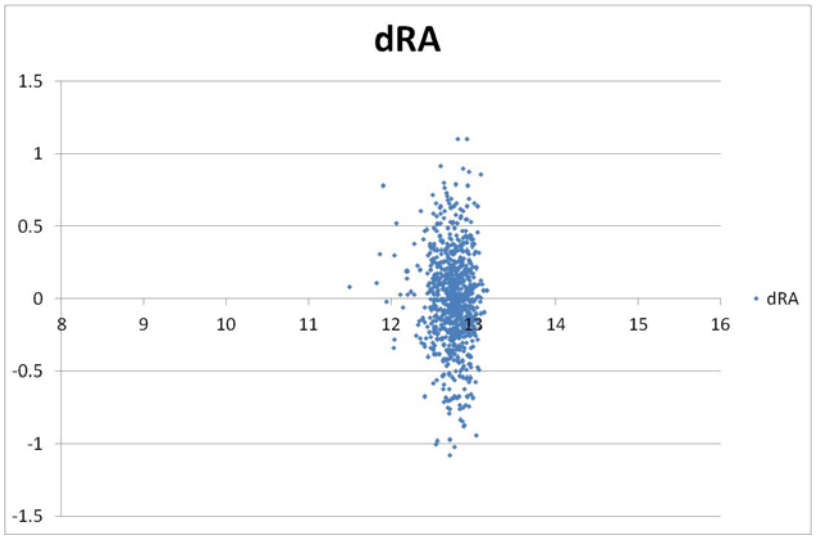


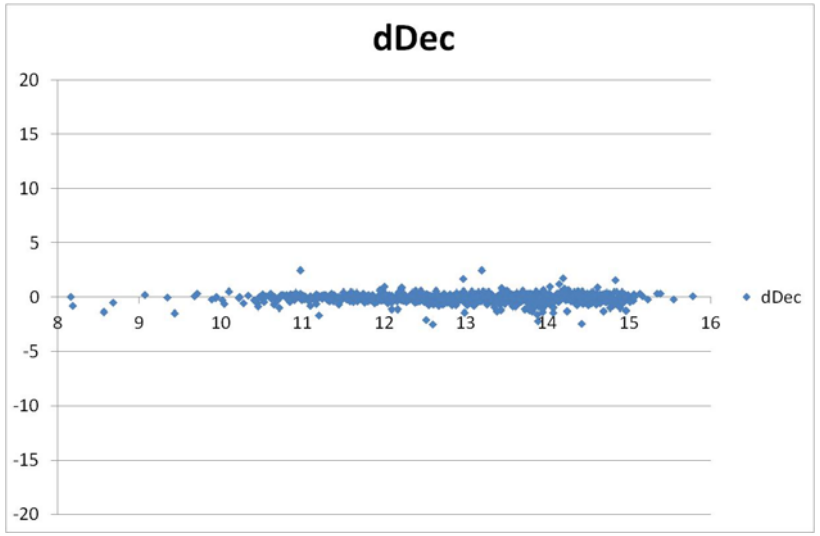
Відхилення опорних зір.

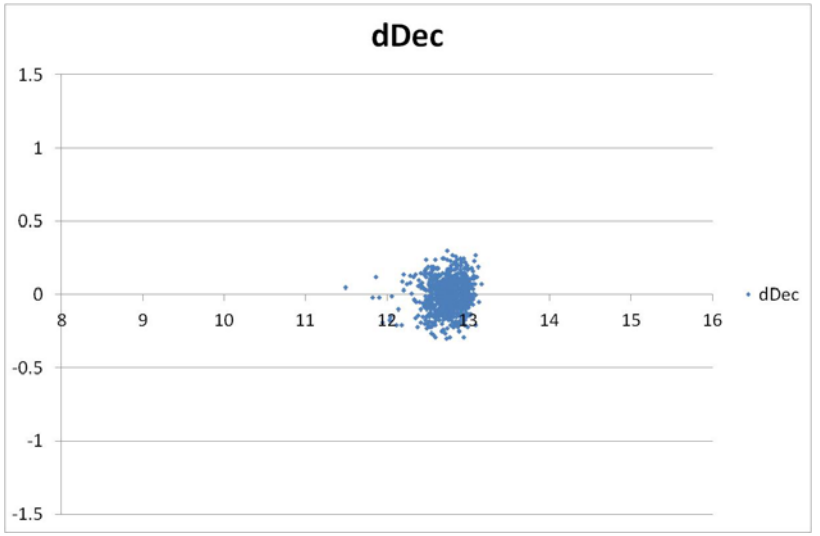
Відхилення 41384

Рис. 17. Похибки визначення координат об’єкта 41384 по спостереженням в Миколаєві.





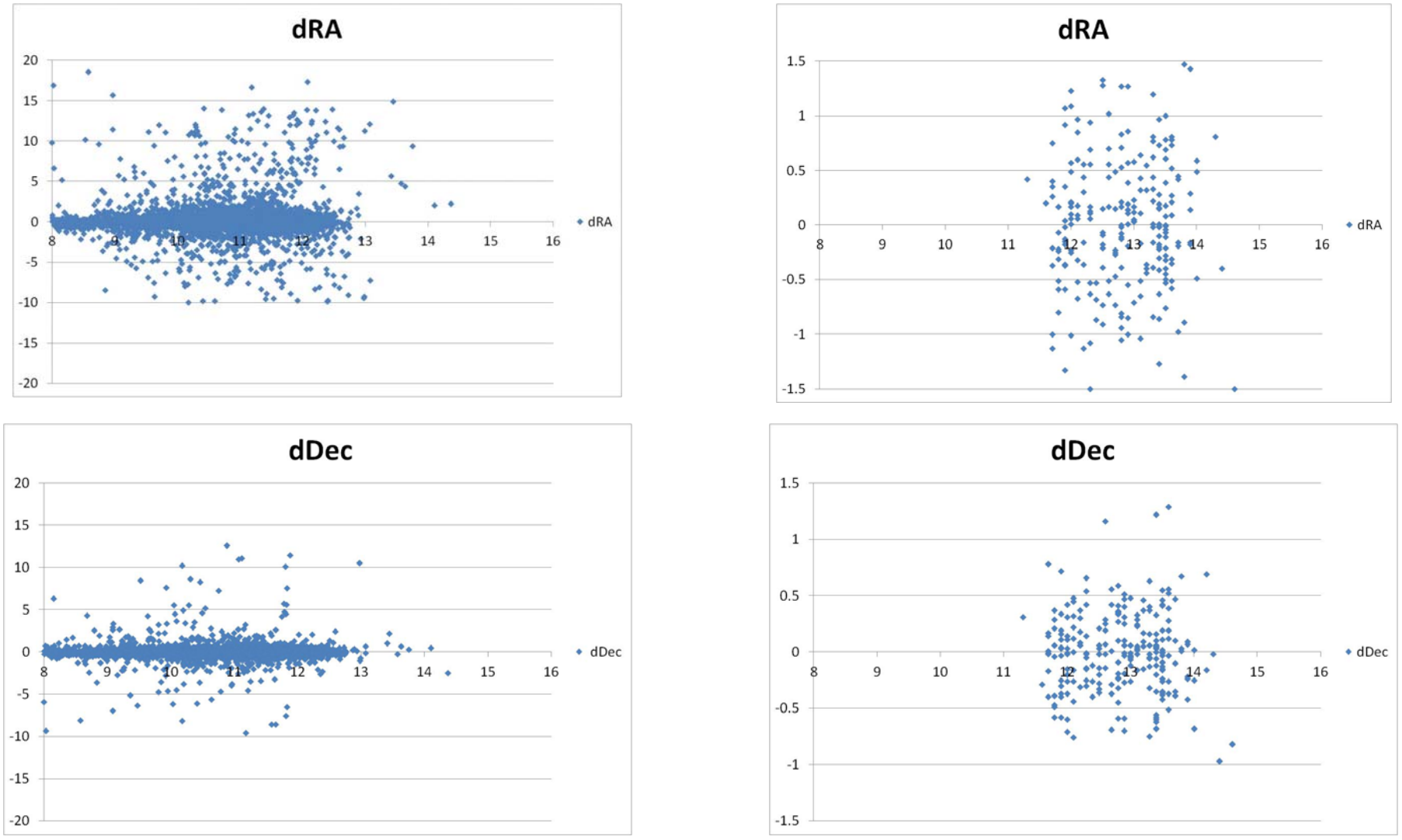




Відхилення опорних зір.

Відхилення 41384

Рис. 18. Похибки визначення координат об’єкта 41384 по спостереженням в Одесі (Маяки)



Відхилення опорних зір.

Відхилення 41384

Рис. 19. Похибки визначення координат об’єкта 41384 по спостереженням в Ужгороді

1.6.3. Розрахунок елементів орбіти

Розрахунок елементів орбіт проводиться в НДІ «МАО» (м. Миколаїв) в форматі TLE та CPF за каталогом положень КО, що розміщені на FTP сервері УМОС. Розрахунок проводиться з використанням чисельної моделі руху навколоземних КО на висотах 600–40000 км по розрахунку методом Еверхарта 15-го порядку з урахування збурень:

- геопотенціал (гармоніки 45-го порядку),
- від Сонця, Місяця, Юпітера та Венери (теорія руху DE/LE 405),
- припливи в твердій корі Землі.

Отримані результати розміщені на сайті УМОС

1.7. Модернізація наявного спостережного парку та розробка нових спостережних інструментів.

За домовленістю ГАО НАН України та АО ОНУ ім. І.І.Мечникова було розпочато виготовлення комплекту оптики для 60-см телескопа. Для цього було розроблено проект оптичної схеми телескопа та розрахована контрольна схема для виготовлення головного дзеркала та схема його юстування. Далі були виконані такі роботи.

Виготовлено комплект інструментів для шліфування дзеркала, зокрема контрольне дзеркало та юстувальне дзеркало контрольної схеми.

Відповідно до підготовленої оптичної схеми встановлено контрольне дзеркало, освітлювач у вигляді відбиваючого шарика і освітленого за допомогою малого діагонального дзеркала потужним джерелом світла. На розрахованій відстані за контрольним дзеркалом розміщено тіньовий прилад контролю форми головного дзеркала. Поблизу центра кривизни встановлено другий тіньовий прилад, який її визначає і через який направляється промінь лазера в геометричений центр головного дзеркала.

Далі було проведено поліровку дзеркала. Якість поліровки контролювалася специальним мікроскопом. Після поліровки форма поверхні дзеркала була близькою до сферичної, а необхідна гіперболична поверхня з квадратом

ексцинриситету 1.57, що означає асферичність 48 мікрон або 200 полос. Отримати таку поверхню складно і традиційними методами неможливо.

Використовувалися всі доступні нам методи асферизації, зміна режимів обробки, різні полірувальники їх формовка та підрізка, кільцеві і зіркові. Основними критеріями були вигляд та зображення точки в контрольній схемі і величина продольної сфериченої аберації, яка визначається тіньовим приладом. Початкова розрахована і фактична аберація була 26 мм. В результаті обробки вона стала 4 мм. Таким чином, отримана форма поверхні близька до потрібної. Робота щодо остаточного доведення поверхні дзеркала буде виконана в наступному етапі

РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ ТА НАПОВНЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРВІСУ НАЗЕМНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ВИБРАНИХ МАЛИХ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОНОВЛЕННЯ БАЗИ ДАНИХ АКАДЕМІЧНОГО СЕГМЕНТУ УКРАЇНСЬКОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КОСМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

2.1. Основні світові бази даних малих тіл Сонячної системи

Важливим завданням спостережної астрономії є вивчення проблеми астероїдно-кометної небезпеки. Розв’язання цієї проблеми складається з декількох підзавдань. До них входять:

- Знаходження і каталогізація всіх достатньо великих астероїдів і комет шляхом регулярного моніторингу небесної сфери;
- Створення і підтримка міжнародної бази даних всіх спостережень малих тіл;
- Обчислення і уточнення елементів орбіт небесних тіл з використанням всіх доступних спостережень.

Це дає можливість одночасно визначити, які з небесних тіл можуть стати небезпечними космічними об’єктами, а також оцінити ймовірність їх зіткнення або тісного зближення з Землею. Регулярні спостереження таких об’єктів забезпечать уточнення їх орбіт і стійкість прогнозів щодо їх подальшої еволюції.

Основні світові бази даних, які накопичують та розповсюджують вихідні спостереження астероїдів та їх обчислені фізичні та динамічні параметри для цілей постійного моніторингу і оцінки рівня небезпеки кожного з них наведено в переліку. Ці бази даних використовуються у спостережних проектах в усіх країнах світу як джерело визначення пріоритетів у відстеженні об'єктів і складання спостережних програм. Зважаючи на важливість служб і сервісів, пов'язаних з астероїдною небезпекою, поповнення цих баз даних, а також можливість отримання з них оперативної інформації для організації моніторингу,максимально прискорене і спрощене для будь яких груп спостерігачів.

Minor Planet Center (MPC) **https://minorplanetcenter.net.** Єдиний центр накопичення та розповсюдження позиційних спостережень малих тіл Сонячної системи (МТСС). МРС працює в Смітсоніанській Астрофізичній обсерваторії під егідою Міжнародної Астрономічної Спілки (Підрозділ F). МРС відповідає за ідентифікацію, номенклатуру і обчислення орбіт всіх об'єктів, які додаються до його баз даних. В МРС зберігаються файли результатів оригінальних досліджень від відкривачів кожного з об'єктів. МРС розповсюджує дані про відкриття об'єктів в електронних циркулярах та на своєму веб-сайті. Зокрема МРС надає дані про об'єкти, що зближуються з Землею і потребують подальших спостережень для підтвердження рівня небезпеки. МРС містить біля 200 млн. спостережень, більше 800 тис. малих планет, 4 тис. комет, 19 тис. NEO (близьких до Землі об'єктів). База позиційних даних МРС є основою для функціонування численних сервісів по всіх типах спостережень астероїдів. Дублером МРС є Інститут прикладної астрономії РАН (Санкт-Петербург, Росія), який веде дзеркало бази даних МРС.

AstDyS-2. Asteroids dynamic site **http://hamilton.dm.unipi.it/ astdys/ index.php?pc=0** . Сайт з динаміки астероїдів. Функціонує на базі Департаменту математики університету Пізи, Італія. За допомогою веб-інтерфейсу сайт розраховує ефемериди об'єктів та забезпечує спостерігачів оперативною інформацією, необхідною для спостережень. В основі сайту лежить автоматично

підтримувана база даних орбіт астероїдів на базі найсвіжішої версії спостережень MPC. Сайт розповсюджує програмне забезпечення **OrbFit** для визначення орбіт астероїдів. На поточний момент база даних сайту містить 660 тис. об'єктів.

ESA SSA-NEO Coordination Centre, https://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Situational_Awareness.

ESA NEO Coordination Centre (NEOCC) є оперативним центром підрозділу SSA-NEO Європейського космічного агентства, ціллю якого є координація спостережень МТСС та оцінка їх потенційної небезпеки. Надає списки передбачуваних найближчих за часом тісних зближень, об'єктів найбільшого ризику, пріоритетних списків відстеження виявлених об'єктів і т.д. База даних зображень центру з'єднана с пошуковою системою Solar System Object Image Search (SSOIS) Канадського Центру астрономічних даних (CADC). Ця система забезпечує можливість знаходити зображення, отримані на десятках телескопів і обсерваторій. Програмне забезпечення центру реалізує аналітичні алгоритми швидкої оцінки потенціального ризику зіткнень, дозволяє планувати спостережні кампанії NEO, виконувати оптимізацію спостережних стратегій, оцінювати ефективність великих оглядів неба, розробляти нові і тестувати існуючі алгоритми визначення орбіт, моніторингу зіткнень, оцінювання ризиків і т.п.

NEODyS https://newton.spacedys.com/neodys/. Сайт динаміки навколоземних об'єктів NEODyS надає інформацію та сервіси для всіх навколоземних астероїдів (NEA). Кожний NEA має свою власну динамічно створену домашню сторінку з інформацією та сервісами, а пошуковий механізм забезпечує легкий доступ до інформації. Система працює в тісному зв'язку з Департаментом математики університету Пізи, Італія **(AstDyS-2)** за спонсорної підтримки ESA. Програмне забезпечення реалізує нову модель помилок, з якою були переобчислені всі орбіти NEA та файли ризику потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) на 100 років вперед. Завдяки покращенню орбіт багато об'єктів більше не мають файлів ризику.

JPL Small-Body Database. https://ssd.jpl.nasa.gov. База даних МТСС від JPL є частиною сайту JPL Solar System Dynamics, який містить інформацію щодо тіл

Сонячної системи. Пошуковий сервіс бази даних (https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi) дозволяє отримати інформацію у вигляді таблиць орбітальних і фізичних параметрів для будь-якої вибірки астероїдів або комет. Сервісна система HORIZONS (https://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons) забезпечує високоточні ефемериди комет і астероїдів (790 тис. астероїдів, 3,5 тис. комет) видимих на даний момент спостережень. Сайт https://cneos.jpl.nasa.gov/ цієї ж лабораторії містить переліки небезпечних для Землі об'єктів, зближень з Землею, що відбулися, дані про майбутні потенціальні зіткнення, статистику відкриттів астероїдів та комет різними обсерваторіями та ін. Asteroid Radar Research https://echo.jpl.nasa.gov/. Сайт дослідження астероїдів радарами.

ALCDEF: Asteroid Photometry Database http://alcdef.org/. Фотометрична база даних кривих блиску астероїдів є репозиторієм інформації про швидкості обертання малих планет, розміри, альбедо, абсолютні величини. Для моделювання форм астероїдів, подальшого розвитку теорій виникнення подвійних систем і ролі YORP ефекта дослідники потребують доступу до повних вихідних даних про криві блиску. Мета сайту полягає в тому, щоб дозволити дослідникам завантажувати свої спостереження в центральний репозиторій і таким чином робити їх доступними іншим для незалежного використання в дослідженнях. Сайт фінансується НАСА і Національним фондом наукових досліджень National Science Foundation.

Gaia-Groundbased Observational Service for Asteroids (Gaia-GOSA) http://www.gaiagosa.eu. Наземний сервіс для підтримки спостерігачів при плануванні фотометричних спостережень астероїдів. База даних кривих блиску астероїдів.

Lowell Observatory Asteroid Services http://asteroid.lowell.edu/main/. Служба підтримки спостережень астероїдів. Сайт пропонує набір інструментів для планування і проведення спостережень астероїдів та пошуку даних по численних оглядах. Для обчислення орбіт малих планет використовуються спостереження астероїдів з бази даних MPC. По даним про орбіти обчислюються високоточні ефемериди.

2.2. Розробка обчислюваних методів для автоматичної обробки кадрів та автоматизованого відкриття астероїдів і комет на серіях ПЗЗ-кадрів

Розроблено та досліджено

- обчислювальний метод визначення апертурної яскравості зображень астероїдів на ПЗЗ кадрах;
- обчислювальний метод оцінки блиску астероїду;
- обчислювальний метод автоматичного вибору зірок порівняння.

Модифіковано та досліджено:

- обчислювальний метод виявлення близьконульового (швидкість не перевищує 3 СКВ помилок визначення координат за кадр) видимого руху об'єкта, що заснований на критерії значущості швидкості видимого руху об'єкта. Використання модифікованого методу дозволяє підвищити показникі якості виявлення близьконульового видимого руху об'єкта.
- обчислювальний метод виділення зображень об'єктів, що змазані власним рухом. Попередньо виділяються зображення, що відповідають селективним ознаками протяжних зображень. Потім вилучаються випадково утворені кластери об'єктів з круговими зображеннями. На третьому етапі перевіряється узгодженість положень виділених протяжних зображень на різних кадрах.

Детальні відомості щодо розроблених методів і програмного забезпечення, що їх реалізує, наведені в роботах [3,4].

2.3. Проведення постійного моніторингу малих тіл Сонячної системи з використанням телескопів України, Грузії, Латвії, Узбекистану та інших країн

Особливістю позиційних спостережень астероїдів, що зближуються з Землею (АЗЗ), потенційно небезпечних астероїдів (ПНА), комет та метеорів в Миколаївській обсерваторії є використання комбінованого методу спостережень (КМС), згідно з яким зображення опорних зір і програмних об’єктів отримуються окремо. Використання КМС дозволяє отримати точкові зображення об’єктів, що

швидко рухаються. Це збільшує відношення сигнал/шум і, як наслідок, позиційну точність спостережень. В 2018 році виконувався етап накопичення оригінальних спостережень малих небесних тіл на інструментах НДІ «МАО», які в подальшому будуть використовуватись для уточнення орбітальних параметрів АЗЗ, в тому числі ПНА, комет та метеорів [5].

За 2018 рік (станом на 1.11.2018) в НДІ «МАО» з використанням телескопа КТ-50 були отримані 819 положень 38 АСЗ в періоди їх близьких підходів до Землі. Для окремих АЗЗ доля Миколаївських спостережень складає суттєву частину від загальної кількості всіх спостережень даних об'єктів (за даними сайта https://newton.spacedys.com/neodys/ NEODyS-2 на 25.11.2018 від 8 до 20%). Для програми спостережень вибирались об'єкти в діапазоні 10…18 зоряних величин. Основна частина об'єктів мала зоряні величини в діапазоні $15…17.5^{mag}$. Середні значення залишкових різниць (O - C) і їх середньо-квадратичні похибки становили (0.03 ± 0.21)″ і (0.06 ± 0.29)″. За різниці (O - C) бралися різниці між отриманими зі спостережень положеннями і ефемеридою OrbFit (https://newton.spacedys.com/neodys/), яка використовується сервісом NEODys-2.

В рамках теми виконаний пошук астероїдів по фотографічних спостереженнях програми ФОН в Кітабі, що є продовженням нашої роботи по виявленню зображень малих тіл Сонячної системи серед усіх спостережень цієї програми в ГАО НАНУ [21], Кітабській обсерваторії (Узбекистан) [10] та Гісарській обсерваторії (Таджикістан) [5]. Близько 2000 фотографічних платівок Кітабської частини програми ФОН отримані за допомогою подвійного ширококутного астрографа обсерваторії Кітаб, Узбекистан у період з 1981 по 1989 роки. За результатами оцифрування та повної програмної обробки сканів платівок отримано каталог координат та зоряних B-величин для більш ніж 13 мільйонів зірок та галактик з $B \leq 17.^m5$ і на епоху 1984.97 [6]. Використовуючи матеріали обробок оцифрованих платівок та за допомогою он-лайнових сервісів з відкритих міжнародних джерел (http://www.minorplanetcenter.net/db_search, http://ssd.jpl.nasa. gov/horizons, http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR) були ідентифіковані зображення більш ніж 4500 астероїдів і 4 комет. Для виявлення

неоднозначних ототожнень (у випадках покриттів астероїдами зірок на небесній сфері) всі ідентифіковані астероїди було порівняно з координатами зірок каталогу UCAC5.

Створений каталог координат та зоряних B-величин астероїдів і комет на моменти часу спостережень. Проаналізовані кількісні та якісні складові цього каталогу. Переважна більшість ідентифікованих астероїдів належить до Головного поясу. Деякі з них відносяться до Hilda і Mars crosser сімейств, окремі – до числа потенційно-небезпечних та ненумерованих. На небесній сфері ідентифіковані астероїди займають широку смугу від 0 до 24 годин за прямим сходженням та від +2 до -20 градусів за схиленням. Ідентифіковані зображення астероїдів від 8 до 17.5 візуальної зоряної величини, що, у порівнянні з астероїдами Київської частини програми ФОН, становить більше на одну зоряну величину і що, як наслідок, вплинуло на загальну кількість астероїдів в каталозі.

Положення астероїдів були порівняні з відповідними ефемеридними JPL DE431 (http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons). З аналізу даних каталогу виявлена частина слабких астероїдів, спостереження яких відбулися значно раніше моментів їх офіційних відкриттів. До того ж, 285 з них - це найранні за часом спостереження серед усіх відомих в світі спостережень цих астероїдів (за даними Minor Planet Centre, http://www.minorplanetcenter.net/db_search). Це, як правило, слабкі астероїди, які відкриті протягом 1990–2005 років за допомогою ПЗЗ або супутникових спостережень. Більшість з них належить до тих ранніх опозицій астероїдів, які не використовувались в обчисленнях кінематичних і динамічних параметрів орбіт.

Попередні результати роботи представлені на конференції в Одесі у серпні 2018 р. За цими результатами підготовлена стаття в Odessa Publications [10].

Розпочатий раніше пошук фотографічного спостережного матеріалу з зображеннями малих тіл Сонячної системи в спостережних архівах ГАО, розміщених в ОЦА УкрВО, зокрема колекції астронегативів програми ФОН, виявив 2399 зображень астероїдів і 11 зображень комет 8m…16m зоряної величини. Після оцифрування та обробки і редукції оцифрованих зображень був

отриманий каталог екваторіальних координат і B-величин об’єкті в на моменти експозиції пластинок. З аналізу каталогу і порівняння результатів зі світовими базами даних було встановлено, що зображення кількох десятків астероїдів і однієї комети мають момент спостережень до моменту відкриття самих об’єктів. З них за даними MinorPlanetCentre (MPC, http://www.minorplanetcenter.net) спостереження 3 астроїдів і комети виявились хронологічно найбільш ранніми спостереженнями цих малих тіл в світі. Як встановлено, спостереження цих та ще 5 астероїдів належать до тих ранніх опозицій цих астероїдів, які через відсутність даних не задіяні у вирішенні завдань ефемеридного забезпечення. Результати пошуку спостережень астероїдів у фотографічних архівах ГАО використані для уточнення орбіт 9 астероїдів і 1 комети.

На телескопі ОМТ-800 (спостережна станція Маяки Одеського національного університету ім. І.І.Мечнікова) велися постійні фотометричні спостереження близьких до Землі астероїдів (NEA) з метою уточнення та визначення періодів їх обертання і діаметрів, орбітальних параметрів компонентів подвійних астероїдів. Отримані криві блиску завантажені в міжнародну базу даних ALCDEF (http://alcdef.org/) [11].

2.4. Створення та наповнення бази даних малих тіл Сонячної системи для подальшого дослідження їх кінематичних і динамічних характеристик.

До Об'єднаного цифрового архіву (ОЦА) УкрВО додані повнорозмірні оцифровані зображення у графічному форматі TIFF близько 5 тис. пластинок колекції Симеїзького архіву фотографічних спостережень малих тіл Сонячної системи 1909-1920 років. В електронному вигляді підготовлені метадані пластинок (близько 8 тис. записів). Перед завантаженням в базу даних ОЦА розпочато верифікацію та стандартизацію оцифрованих даних та доповнення їх допоміжною інформацією.

Паралельно розпочато створення програмного забезпечення для завантаження оцифрованих даних в ОЦА УкрВО та прив'язку цих даних до масиву оцифрованих зображень.

Метадані 887 пластинок 1909-1915 років підготовлені у форматі WFPDB (Wide-Field Plate Database, vizier.u-strasb.fr/cats/VI.htx) та розміщені в базі даних Болгарського Центру Обробки Даних (http://www.skyarchive.org). За результатами роботи підготовлена постерні та усні доповіді для XI Bulgarian-Serbian Astronomical Conference (XI BSAC) [12, 13].

База даних фотографічних спостережень МТСС з колекції програми "ФОН" ГАО НАНУ і Китабської обсерваторії (Узбекистан) включена у основний склад ОЦА УкрВО. Результати спостережень МТСС в Миколаївській та Одеській обсерваторіях включені в локальні архіви та бази даних, що частково входять до ОЦА УкрВО (http://gua.db.ukr-vo.org).

Проведено робочі наради з питань стану спостережень та створення баз даних МТСС (15 серпня 2018 р., Гамівська конференція, Одеса; 18 вересня 2018 року, Перший Всеукраїнський Космічний форум, Київ). Голова секції «Віртуальна обсерваторія» Гамівської конференції робочих нарад І.Б.Вавилова.

За результатами робіт представлених у Розділі 2, було подано 11 доповідей на 4 конференціях:

1. The XI Bulgarian-Serbian Astronomical Conference (XI BSAC) Belogradchik, Bulgaria, May 14-18, 2018.
2. 18-Th Gamow Summer School: “Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology”, August 12-18, 2018, Odessa, Ukraine
3. 2018 IEEE Sec. Internation. Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)
4. Перший Всеукраїнський космічний форум (17-21.09.2018, м. Київ)

Подано до друку 10 публікацій у 3 виданнях:

1. Publ. Astron. Soc. “Rudjer Bošković” No 18, 2019
2. Odessa Astron. Publ., 2018
3. Open Access Journal of ‘Data in Science’ (Special Issue: Data Stream Mining and Processing), 2018.

РОЗДІЛ 3. ЗБІР ТА АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО НАЯВНОГО ЕФЕМЕРИДНО-БАЛІСТИЧНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ШСЗ ТА МАЛИХ ТІЛ СС.

Протягом звітного періоду в українських установах зібрана інформація про наявне в них програмне забезпечення (самостійно розроблене або запозичене з відкритих міжнародних джерел) щодо визначення небесних орбіт штучних супутників Землі та природних тіл Сонячної системи. Інформація отримана з 5 українських установ: Науко́во-до́слідний інститу́т «Астроном́ічна обсерват́орія» Оде́ського націона́льного університе́ту ім. І. І. Ме́чникова, Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія», Національний центр управління та випробувань космічних засобів (НЦУВКЗ), Державне підприємство "Конструкторське бюро “Південне” ім. М.К. Янгеля", Астрономічна обсерваторія Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. У додатках А-Д окремо для кожної установи приведено опис зібраної інформації за такими характеристиками:

1)назва програмного продукту для ефемеридного забезпечення (запозиченого з відкритих міжнародних джерел, модернізованого або створеного в установі);

2) мета та перелік задач, які можна вирішити із застосуванням цього продукту;

3) мова, якою створений програмний комплекс;

4) його вхідні та вихідні дані;

5) специфіка програмного комплексу та його функціонування.

3.1. Ефемеридне і балістичне програмне забезпечення для спостережень та визначення параметрів руху штучних супутників Землі (ШСЗ).

Останнім часом регулярні спостереження ШСЗ ведуться багатьма установами України: АО ОНУ ім. І. Мечникова, НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія», ГАО НАН України, НЦУВКЗ. Для ефемеридного забезпечення спостережень в **АО ОНУ ім. І.І. Мечникова** розроблена астродинамічна бібліотека Kotlin Orbit Estimation Library (KOrbEstLib) [14]. Ця бібліотека базується на відомій бібліотеці з відкритим кодом Orekit

(www.orekit.org), яка поширюється за вільною лізцензією Apache 2.0. В (https://www.orekit.org/features.html) приведено короткий опис можливостей цієї бібліотеки.

Рішення багатьох задач за допомогою бібліотеки Orekit вимагає від користувача написання великої кількості рядків програмного коду, що є незручним, а інколи і неможливим для користувача. Розроблена бібліотека KorbestLib пропонує ряд високорівневих алгоритмів для вирішення типових задач прогнозування та оцінок параметрів руху штучних супутників Землі, що значно скорочує написання програмного коду. Разом із цим всі можливості використання бібліотеки Orekit збережені.

Додаткові можливості KOrbEstLib, у порівнянні з Orekit, полягають у використанні високорівневих алгоритмів та інтерфейсів, які спрощують процес створення моделей руху об'єктів та прогнозування положення і швидкості супутника на основі пасивної моделі руху супутника. В якості останньої можуть використовуватись моделі «кеплерового» руху, варіації моделей SGP/SDP , чисельна модель руху з врахуванням впливу різних факторів, як геомагнітний потенціал Землі, гравітаційні збурення від Сонця, Місяця і планет, океанічні припливи, тиск сонячного світла, опір атмосфери, поправка за загальну теорію відносності та ін.

Бібліотека KOrbEstLib реалізує власну "модель вимірювань", де в якості параметрів можуть бути систематичні зміщення часового моменту спостережень або зміщення положення станції спостережень. Крім того, KOrbEstLib забезпечує доступ до даних спостережень у широко поширених українських та міжнародних форматах, полегшує візуалізацію даних аналізу, зберігає вихідні результати в форматах Excel для наступного аналізу.

В рамках програми УМОС (Ukrainian Optical Facilities for Near-Earth Space Surveillance, Українська мережа оптичних станцій) в червні 2018 року були проведені кооперативні спостереження кількох геостаціонарних супутників та інших еталонних супутників в Маяках (Одеса), Миколаєві, Лєсниках (Київ), Деренівці (Ужгород) та Брюховичах (Львів). За допомогою KOrbEstLib виконаний

аналіз випадкових та систематичних похибок цих спостережень. В результаті виявлені систематичні похибки вимірювань для всіх спостережних станцій і розрахована послідовність положень для декількох геостаціонарних супутників, використовуючи всі спостереження**.**

Попередні версії створеної бібліотеки KOrbEstLib використовувались в багатьох проектах мережі УМОС. Одна з попередній версій написана на Python і використана Миколаївською обсерваторією для оцінки параметрів орбіти активних геостаціонарних супутників по спостереженнях різниці моментів радіосигналів на багатьох станціях спостережень.

В **НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія»** визначення елементів орбіти космічних об'єктів на навколоземних орбітах здійснюється за програмою розрахунку, створеною співробітником НДІ АО ОНУ Карою І.С. на Delphi мові програмування. Розрахунок елементів орбіт проводиться в форматі TLE та CPF за каталогом положень космічних об'єктів, що розміщені на FTP сервері мережі УМОС. Використана чисельна модель руху навколоземних космічних об'єктів на висотах 600-40000 км по розрахунку методом Еверхарта 15-го порядку з врахуванням геопотенціалу, збурень від Сонця, Місяця, Юпітера та Венери, припливів в твердій корі Землі. Одержані результати розміщуються на сайті УМОС.

В КНУ ім. Т. Шевченка доцентом, к.ф-м.н. Чолієм В.Я. розроблено власний програмний комплекс KG++ (Київ-геодинаміка ++) на базі C++ для обрахунку ефемеридних координат високоорбітальних штучних супутників Землі. Із урахуванням багатьох факторів (ефект Ярковського, вплив атмосфери та інш.) в різних он-лайнових режимах може бути досягнута сантиметрова точність обрахунку координат штучного супутника Землі. Детально програмний продукт та використання його можливостей описані в роботах [15, 16].

Задача, для якої писався код Juliette/KG++, - це визначення різноманітних геодинамічних параметрів з лазерних спостережень. Найбільш відомим з них є рух полюса. Оскільки його амплітуда складає близько 30 м на поверхні Землі, то моделювання руху супутників повинно мати метрову, а краще -сантиметрову

точність. Для високих супутників (Lageos) ця задача в цілому розв'язана, однак існує великий масив спостережень низьких супутників, які для цієї задачі не використовуються.

Протягом останніх років ведеться робота щодо покращання алгоритмів програми з метою її використання для опрацювання спостережень низьких супутників. На відміну від супутників Lageos, чиї орбіти знаходяться на висоті 7000 км, середньоорбітальні супутники займають значно нижчу частину навколоземного простору.

Серед найбільш цікавих: Lares (висота 1450 km), Ajisai (1500 km), Starlette (700 - 1200 km), Stella (700 km). Для перелічених супутників важливу роль відіграє сила атмосферного гальмування та власне інфрачервоне випромінювання Землі. Вдалося досягти відчутного прогресу в моделювання цих сил і можна впевнено стверджувати, що точність опрацювання спостережень таких супутників зараз перевищує півметра.

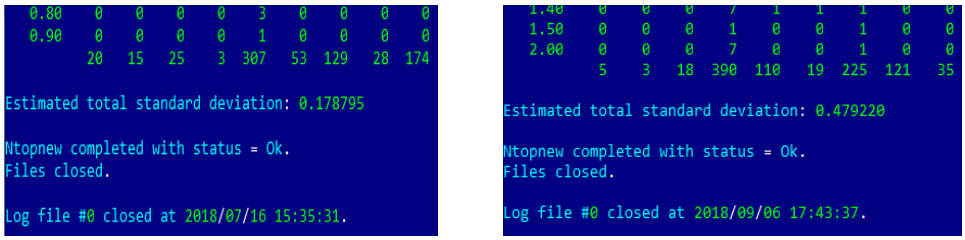


Рис. 20. Отримана точність для супутників Lageos (ліворуч) та Lares (праворуч)

Рис. 20 показує досяжну точність для Lageos та Lares як основних представників вказаних груп супутників. Для досягнення вказаної точності в пакет Juliette/KG++включено понад 60 моделей окремих геодинамічних явищ.

В НЦУВКЗ д.т.н Саваневичем В.Є. та його колегами створюється CoLiTecSAT – програмне забезпечення виявлення штучних супутників Землі на серії ПЗЗ-кадрів. У загальному викладі, програмний комплекс CoLiTec [17, 18] створено було для виявлення астероїдів, комет та інших рухомих небесних об’єктів. Програмне забезпечення CoLiTec широко використовується в різних обсерваторіях. Всього було використано близько 700000 спостережень та виявлено більше 1560 астероїдів, у тому числі 5 NEO, чотири комети (C / 2011 X1 (Elenin), P / 2011 NO1

(Elenin), / 2012 S1 (ISON) і P / 2013 V3 (Nevski)), 21 троянських астероїдів Юпітера та 1 Centaur.

CoLiTec – це великий комплекс модулів обробки, що впроваджує обчислювальні методи для різних цілей: вирівнювання яскравості ПЗЗ-кадрів; автоматичне калібрування кадрів та інш. для визначення екваторіальних координат об'єктів Сонячної системи; точної оцінки їх параметрів; ідентифікації зірок у кадрах; диференціальної фотометрії; створення автоматичної кривої блиску; виявлення дуже повільних і дуже швидких об'єктів у серії ПЗЗ-кадрів. Описані методи працюють з різними формами об'єктів (точковий, довгий, ударний) і в різних умовах спостереження (супровід об'єкту, добове ведення телескопа, нерухомий телескоп). Зараз ведеться робота над удосконаленням обчислювальних методів та алгоритмів з автоматичним виявленням штучних супутників Землі в серіях ПЗЗ-кадрів**.**

Окрім зазначеного, в НЦУВКЗ у Центрі контролю космічного простору (ЦККП) Західного центру радіотехнічного спостереження (м. Мукачеве Закарпатської обл.) використовуються програмні комплекси, призначені для обробки координатної інформації від різних типів вимірювальних засобів та уточнення початкових умов руху космічних об'єктів (КО) штучного походження. Ці комплекси створені за участі ДКБ «Південне» і включають: 1) підтримку і ведення бази даних з даними каталогу КО, засобів спостережень та їх характеристик; 2) формування даних для споживачів, таких, як час існування КО, параметри входження в атмосферу і можливі райони падіння КО; 3) формування координатної інформації каталогів КО.

В **ДКБ «Південне»** для балістичного забезпечення використовується програмний комплекс «Катран» траєкторного забезпечення управління польотом космічного апарата (КА)» і програмний комплекс «Gelio_system» проектування оптимальних траєкторій міжпланетних перельотів в межах Сонячної системи»

ПК «Катран» на основі обробки вимірювальної інформації, отриманої з приймача JPS і наземних сегментів управління, забезпечує визначення параметрів орбіти супутника, початкових умов руху та відхилень від траєкторії руху, а також

розрахунок та формування іншої необхідної траєкторної (балістичної, навігаційної) інформації для центрів управління КА.

ПК «Gelio_system» забезпечує: 1) рішення задачі Ламберта з визначення параметрів орбіти для перельоту між двома заданими точками космічного простору; 2) визначення оптимальних значень швидкостей для виходу на геліоцентричну орбіту перельоту до небесних тіл в межах Сонячної системи; 3) значень швидкостей та інших параметрів траєкторії для переходу на планетоцентричну орбіту або висадки на поверхню у час прибуття на місце призначення; 4) розрахунки з оптимізації енергетичних витрат на переліт та визначення сприятливих умов для запуску КА.

3.2. Використання ефемеридного програмного забезпечення спостережень природніх тіл Сонячної системи в установах України

Не зважаючи на високорозвинені космічні технології, астрономічні дослідження та чисельні високоточні позиційні спостереження космічних об'єктів, в Україні не набули широкого розвитку фундаментальні дослідження з теоретичної астрономії, ефемеридних обчислень, теорій та динамічних параметрів руху тіл Сонячної системи. Як наслідок, ефемеридне програмне забезпечення спостережень природніх тіл Сонячної системи або запозичене з відкритих міжнародних джерел і пристосоване під окремі наукові завдання, що вирішуються в українських установах, або самостійно розроблене для цих задач. З другого боку, процес інтеграції та розвитку інтернет-технологій, доступ через ресурси віртуальних обсерваторій та баз даних до первинних астрономічних даних і до запропонованих сервісів обробок цих даних забезпечує швидке і надійне отримання інформації для подальшого її аналізу.

Останнім часом регулярні спостереження природніх тіл Сонячної системи, як координатні, так і фізичні, ведуться багатьма установами України. Особлива увага надається астероїдам, що зближуються з Землею (АЗЗ) та потенційно небезпечним (ПНА) у зв’язку з запусками космічних апаратів до астероїдів і комет та зростанням усвідомлення людством астероїдно-кометної небезпеки.

В таблиці 10 приведена статистика спостережень АЗЗ обсерваторіями України станом на листопад 2018 р.

Таблиця 10. Статистика спостережень АЗЗ обсерваторіями України за даними NEODyS-2 (станом на листопад 2018 р.)

№	Місце спостережень за кодом MPC	Період спостережень	Всього спостережень
1	061- Uzhgorod	1975	16
2	067-LvovUniversity Observatory	1924	1
3	083- Golosseevo-Kiev	2012	89
4	085- Kiev	1949 – 1975	12
5	089- Nikolaev	1975 – 2018	7091
6	094- Crimea-Simeis	1928 – 2018	625
7	095- Crimea-Nauchnij	1967 – 2013	1266
8	121-KharkovUniversity, Chuguevskaya Station	1996 – 2016	577
9	583- Odessa-Mayaki	2009 – 2017	2197
10	585- Kyiv comet station	1975 – 2018	5566
11	A50-Andrushivka Astronomical Observatory	2002 – 2015	2539
12	B17- AZT-8 Evpatoria	2009 – 2013	837
13	B-18 Терскол	2003 - 2018	2090

НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» проводить постійний моніторинг астероїдів, що зближуються з Землею, потенційно небезпечних та інших малих тіл Сонячної системи, зокрема взаємних зближень деяких астероїдів Головного поясу. За даними MPC отримані за результатами виконаних ПЗЗ – спостережень топоцентричні координати АЗЗ мають досить високу точність. Це досягнуто завдяки поєднанню прогресивних методик спостережень та їх обробки. Висока позиційна точність отриманих положень уможливлює

використання цих даних для вивчення та моделювання надзвичайно малих негравітаційних ефектів. Для ефемеридного забезпечення спостережень та для їх подальшого первинного аналізу використовуються он-лайнові сервіси з відкритих міжнародних джерел, таких як JPL NASA (https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons) та NEODyS-2 ESA (https://newton.spacedys.com/neodys) (Near Earth Objects Dynamic Site). Самостійно створено програмне забезпечення розрахунку значень (O-C) для підготовленого списку об'єктів з використанням ефемерид системи Horizons. Автоматизація процесу підготовки та отримання даних з цих сервісів у зручних форматах, робота в декількох режимах дозволяють швидко отримати й обробити ефемеридну інфрормацію для спостережень і подальшого аналізу результатів. Матеріали програмних розробок подані для оформлення авторського свідоцтва. З використанням ефемерид і бази даних системи NEODyS-2 в НДІ»МАО» створено програмне забезпечення автоматичного формування списку АЗЗ, які доступні для спостережень на задану дату.

В Астрономічній обсерваторії **КНУ ім. Тараса Шевченка** успішно використовується самостійно розроблений комплекс програм для обрахунку ефемерид астероїдів для визначення змін параметрів орбіт із часом та впливу негравітаційних ефектів на еволюцію орбіт астероїдів. В основі програми - метод чисельних розрахунків еволюції орбіт, у якому інтегруються лише збурення, а гравітаційний вплив Сонця повністю обчислюється за формулами незбуреного руху. Цей метод подібний до методу Енне, але спрямлення орбіт відбувається в кожному кроці інтегрування. Такий підхід дозволяє повністю винести впив Сонця за межі чисельного інтегрування. Враховуються збурення від всіх великих планет, Плутона, Церери, Палади та Вести. Також враховується релятивістське зміщення перигеліїв орбіт. Описання методу наведено в публікаціях [19, 20]. Ефемериди тіл з точно визначеними орбітами обраховуються на заданий момент з точністю до десятих часток секунди дуги.

На станції Лісники Київського університету для забезпечення ПЗЗ-спостережень астероїдів, що зближуються з Землею та їх обробки використовуються он-лайнові сервіси з відкритих міжнародних джерел.

В ГАО НАНУ - із використанням архівів УкрВО по оцифрованих фотографічних спостереженнях минулих років та за результатами їх повної обробки виконано масовий пошук зображень малих тіл Сонячної системи [21]. Отримані як каталоги координат зірок, так і каталоги положень та зоряних величин малих тіл Сонячної системи. Для забезпечення ефемеридами і подальшої ідентифікації малих тіл використані он-лайнові сервіси HORIZONS SYSTEM, SMALL BODY IDENTIFICATION, MPC Database Search, VizieR з відкритих міжнародних джерел: http://ssd.jpl.nasa.gov, http://www.minorplanetcenter.net, http://cdsportal.u-strasbg.fr/.

За допомогою HORIZONS SYSTEM через форму запиту на кожний заданий момент часу можна отримати набір з 43 параметрів, які характеризують положення небесного об'єкта (топоцентричні (геоцентричні координати), видимі координати, приблизну візуальну зоряну величину, гео- та геліоцентричну відстань, фазовий кут, галактичні координати та інші) в різних системах відліку і з різною точністю. Також є інформація про загальну кількість використаних світових спостережень даного небесного об'єкта, періоди спостережень, використані теорії руху, rms–похибку використання чисельною теорією руху всіх спостережень, а також деякі фізичні параметри об'єкта. Існує гнучка система виводу даних в різних форматах і діапазон можливостей для операційних систем WINDOWS і LINUX. Аналогічну інформацію стосовно положення об'єкта можна отримати на сайті NEODyS.

За допомогою SMALL BODY IDENTIFICATION через форму запиту на будь-який момент часу з точністю до 1 хвилини і на задану ділянку небесної сфери можна отримати список всіх відомих малих тіл Сонячної системи, зображення яких можна ідентифікувати на платівці чи спостерігати в реальному часі. Через систему перехресних посилань можна отримати додаткову й більш точну інформацію про ці об'єкти.

Сервіси MPC Database Search і VizieR були використані для моніторингу світових спостережень астероїдів та крос-ідентифікації астероїдів і зірок у випадках видимих їх покриттів і, як, наслідок, неоднозначному ототожненні

астероїдів Також можна отримати більш детальні дані про фізичні характеристики астероїдів, криві блиску та дані спостережень, за якими вони побудовані, порахувати ефемеридні положення та інш.

Ведеться відкриття нових астероїдів в Андрушівській астрономічній обсерваторії. В окремих обсерваторіях використовується розроблене Саваневичем В.Є. із колегами ПЗ CoLiTec для аналізу зображень астероїдів і комет на ПЗЗ-кадрах і автоматизованого відкриття малих тіл Сонячної системи. За допомогою CoLiTec у 2010 році вперше в СНД та Балтії були відкриті астероїд і комета в автоматизованому режимі. З використанням CoLiTec було відкрито комети C/2010 X1 (Elenin), C/2011 X1, P/2011 NO1, C/2012 S1, P/2013 V3. З використанням CoLiTec в 2012 (2011) році зроблено 80 (86)% спостережень і 74 (75)% відкриттів астероїдів.

Для обговорення проблеми наявного ефемеридно-балістичного забезпечення було організовано і проведено семінар у форматі Першого українського космічного форуму, який відбувся 16-19 вересня 2018 р. в Києві. Протокол засідання цього семінару приведено у додатку Ж. За результатами обговорень було прийняте рішення:

1. За результатами обговорення та виконаного аналізу даних ефемеридного забезпечення спостережень небесних об’єктів і для подальшого об’єднання зусиль з метою створення необхідного в Україні ефемеридного забезпечення космічних проектів провести додатковий аналіз та тестування розроблених програмних засобів для визначення небесних орбіт штучних супутників Землі та природніх тіл Сонячної системи .
2. Вважати доцільним включення відповідного проекту до Цільової науково-технічної Програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2019 рік.

Висновки

Роботу за договором виконано в повному обсязі, а саме:

- Сформовано списки обраних КО з урахуванням мети спостережень, видимості об’єктів, технічних можливостей станцій;

- Проведено регулярні спостереження обраного списку КО на різних висотах орбіти (LEO, GEO),
- Сформувано каталог положень КО на FTP-сервері,
- Представлено розраховані елементи орбіти у форматі TLE та CPF на сайті УМОС: 386 об’єктів на низьких орбітах та 21 - на геостаціонарних.

За результатами обговорення та виконаного аналізу даних ефемеридного забезпечення спостережень небесних об’єктів і для подальшого об’єднання зусиль з метою створення необхідного в Україні ефемеридного забезпечення космічних проектів провести додатковий аналіз та тестування розроблених програмних засобів для визначення небесних орбіт штучних супутників Землі та природніх тіл Сонячної системи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Shakun L. 1 , Shulga A.2 , Koshkin N.1 , Kashuba V.1 , Kaliuzhniy N.2 , Kryuchkovskiy V.2 , Kudak V.3 , Perig V.3 , Romanyuk Ya.4 , Martynyuk-Lototsky K. 5 , Marsakova V. Orbit estimation of geostationary satellites and analysis of random and systematic measurement errors of the UMOS observation station using astrodinamics library KORBESTLIB. 18-th Odessa International Astronomical Gamow Conference-School “Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Cosmomicrophysics, Radio-astronomy and Astrobiology” (Ukraine, Odessa, Chernomorka, August 12-18, 2018). P. 41

2. Шульга О.В. Кошкін М.І., Шакун Л.С., Романюк Я.О., Вовчик Є.Б., Мартинюк-Лотоцький К.А., Єпішев В.П., Кудак В.І. (2018) Моніторинг орбітального положення космічних об’єктів штучного походження телескопами Української мережі оптичних станцій. / Збірник наукових праць Третьої Української науково-технічної конференції «Спеціальне приладобудування: стан та перспективи» 4-5 грудня 2018 р., Київ, с. 58

3. KhlamovS. V.,SavanevychV. E.„ BriukhovetskyiO.B., DikovE.N.,VavilovaI. B., TrunovaT. O. Development and improvements of computational methods implemented to CoLiTec software, 2018, Odessa Astron. Publ., in press.

4. Khlamov Sergii, Savanevych Vadym, Briukhovetskyi Olexander,Pohorelov Artem, Vlasenko Vladimir and Dikov Eugen. CoLiTec software for the astronomical data sets processing, 2018, Open Access Journal of 'Data in Science' (Special Issue: Data Stream Mining and Processing), in press.

5. Andruk V.M., Yizhakevych O.M., Mullo-Abdolov A.Sh., Relke H.V., Kokhirova G.I., Pakuliak L.K. First Results of the Searching of Asteroids Based on the Data of FON- Dushanbe Processed Plates, 2018, Odessa Astron. Publ., in press.

6. Yuldoshev Q.X., Ehgamberdiev Sh.A., Muminov M.M. et al.: 2017, Kinem. Phys. Cel. Bodies, 33, N5, 250)

7. Maigurova N.V., Pomazan A.V., Shulga O.V. High-precision follow-up observations of near-Earth objects, 2018, Odessa Astron. Publ., in press.

8. KhlamovS. V.,SavanevychV. E.,, BriukhovetskyiO.B., DikovE.N.,VavilovaI. B., TrunovaT. O. Development and improvements of computational methods implemented to CoLiTec software 18th Odessa Int. Astron. Gamow Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Aug. 12-18, 2018: Program and Abstr. 2018, p. 28.

9. Maigurova N.V., Pomazan A.V., Shulga O.V. High-precision follow-up observations of near-Earth objects. 18th Odessa Int. Astron. Gamow Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Aug. 12-18, 2018: Program and Abstr. 2018, p. 28.

10. Shatokhina S.V., Relke H., Yuldoshev Q., Andruk V.M., Protsyuk Yu. I., Muminov M.: Asteroids search results in digitized observations of the Northern sky survey project (Kitab part), 2018, Odessa Astron. Publ., in press

11. Troyansky V., Kashuba V., Krugly Yu. Photometry of selected asteroids on the OMT-800 telescope, 2018, Odessa Astron. Publ., in press.

12. Kashuba S., Tsvetkov M., Bazyey N. The current state of the Odessa collection of astrophotonegatives. Publ. Astron. Soc. "Rudjer Bošković" No 18, 2019

13. S. Kashuba, M. Tsvetkov, N. Bazyey, E. Isaeva and V. Golovnia, The Simeiz plate collection of the Odessa Astronomical Observatory. Publ. Astron. Soc. “Rudjer Bošković” No 18, 2019.

14. Shakun, L., Koshkin, N., Korobeynikova, E., Strakhova, S., Dragomiretsky, V., Ryabov, A., Terpan, S. (2017). Accuracy of satellite optical observations and precise orbit determination. Odessa Astronomical Publications, 30, 242–245. https://doi.org/10.18524/1810-4215.2017.30.117660

15. Choliy V.Ya., Zhaborovskyy V.P., 2011, Advances in Astronomy and Space Physics,1,96

16. Zhaborovskyy V.P., Choliy V.Ya. Earth's pole coordinates determined from Lageos-1/2 laser ranging, Advances in Astronomy and Space Physics, 4, 54-57 (2014)

17. Savanevych, V. E A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates / V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskyi, N. S. Sokovikova, M. M. Bezkrovny, I. B. Vavilova, Yu. M. Ivashchenko, L. V. Elenin, S. V. Khlamov, Ia. S. Movsesian, A. M. Dashkova, A. V. Pogorelov // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 2015. – T. 451 (3). – C. 3287-3298

18. Savanevych, V. E. CoLiTecVS - new tool for automated reduction of photometric observations / V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskyi, S. V. Khlamov, A. V. Pohorelov, V. P. Vlasenko, E. N. Dikov, P. A. Dubovský, I.Kudzej, Š. Parimucha // Odessa Astronomical Publications. – 2017. – Volume 30. – P.194-197

19. Kazantsev, A.M., A simple method for numerical calculations of the evolution of orbits of near-Earth asteroids, Sol. Syst. Res., 2002, vol. 36, no. 1, pp. 43–49.)

20. Казанцев А.М. «Простой метод численных расчетов элементов орбит околоземных астероидов» // Астрон. Вестн. 2002. – 36. – 1. С. 48-54

21. Shatokhina S.V., Kazantseva L.V., Yizhakevych O.M. et al.: 2018, Kinem. Phys. Cel. Bodies, 34, N5, 70.

22. Andruk V.M., Yizhakevych O.M., Yuldoshev Q.X., Pakuliak L.K., Muminov M.M. The First Results of Processing Photographic Observations of SS Bodies Based on the Materials of the Glass Collection of the Ulugh Beg Astronomical Institute of the Uzbek Academy of Sciences Using the New Technique. 18th Odessa Int.

Astron. Gamow Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Aug. 12-18, 2018: Program and Abstr. 2018, p. 31.

23. Andruk V.M., Yizhakevych O.M., Mullo-Abdolov A.Sh., Relke H.V., Kokhirova G.I., Pakuliak L.K. First Results of the Searching of Asteroids Based on the Data of FON- Dushanbe Processed Plates. 18th Odessa Int. Astron. Gamow Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Aug. 12-18, 2018: Program and Abstr. 2018, p. 31.

24. AndrukV.M., Shatokhina S.V., Relke H., Yuldoshev Q.X., Protsyuk Yu.I., Muminov M. M. Asteroids Search Results in Digitized Observations of the Kitab Part of the Northern Sky Survey Project. 18th Odessa Int. Astron. Gamow Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Aug. 12-18, 2018: Program and Abstr.2018, p.30.

25. Andruk V.M., Yizhakevych O.M., Kazantseva L.V., Relke H., Mullo-Abdolov A., Yuldoshev Q.X., Shatokhina S.V., Golovnia V.V. Analysis of Accuracy of Asteroid Coordinates from Digitized Observations of the Project FON- Kiev, FON-Kitab, FON- Dushanbe. 18th Odessa Int. Astron. Gamow Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Aug. 12-18, 2018: Program and Abstr. 2018, p.30-31.

26. KhlamovS. V.,SavanevychV. E.,, BriukhovetskyiO.B., DikovE.N.,VavilovaI. B., TrunovaT. O. Development and improvements of computational methods implemented to CoLiTec software 18th Odessa Int. Astron. Gamow Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Aug. 12-18, 2018: Program and Abstr. 2018, p. 28.

27. Maigurova N.V., Pomazan A.V., Shulga O.V. High-precision follow-up observations of near-Earth objects. 18th Odessa Int. Astron. Gamow Conf.- School

"Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Aug. 12-18, 2018: Program and Abstr. 2018, p. 28.

28. Troyansky V., Kashuba V., Krugly Yu. Photometry of selected asteroids on the OMT-800 telescope. 18th Odessa Int. Astron. Gamow Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Aug. 12-18, 2018: Program and Abstr. 2018, p. 50.

29. S. Kashuba, M. Tsvetkov, V. Golovnia, L. Pakuliak, I. Vavilova, N. Bazyey, The Simeiz astroplate catalogue of the Odessa Astronomical Observatory: digitization and placement in databases, 18th Odessa Int. Astron. Gamow Conf.- School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology, Cosmomicrophysics, Astroparticle Physics, Radioastronomy and Astrobiology", Odessa, Aug. 12-18, 2018: Program and Abstr. 2018, p. 27.

30. KhlamovSergii, SavanevychVadym, BriukhovetskyiOlexander,PohorelovArtem, VlasenkoVladimirandDikovEugen. CoLiTec software for the astronomical data sets processing, 2018 IEEE Second International Conference onData Stream Mining & Processing (DSMP),Lviv, Aug. 21-25, 2018, e-abstract

31. В. Є. Саваневич, С. В. Хламов, О. Б. Брюховецький, Є. М. Діков,В. П. Власенко, А. В. Погорелов, І. Б. Вавілова. CoLiTecSAT – Програмне забезпечення виявлення супутників на серії кадрів. Перший український космічний форум, Київ, 17-20 вересня 2018 (доповідь).