

УДК 520.34 + 521.3 + 520.8 + 629.78

КПКВК

№ Держреєстрації

Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Науково-дослідний інститут
«Миколаївська астрономічна обсерваторія»
(НДІ МАО)
54030, м. Миколаїв, вул. Обсерваторна 1;
тел. (0512) 47 70 14

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор НДІ МАО
доктор фіз.-мат. наук
_____ Шульга О.В.
2018.12.13

ЗВІТ
ПРО ВИКОНАННЯ НАУКОВОЇ РОБОТИ
СПОСТЕРЕЖЕННЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ШТУЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ
НА НАВКОЛОЗЕМНИХ ОРБИТАХ
З МЕТОЮ ВЕДЕННЯ ВЕБ-КАТАЛОГУ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ ОРБИТИ
(заключний)

Керівник НДР
директор НДІ «МАО»
доктор фіз.-мат. наук _____ Шульга О.В.
2018.12.13

2018

Рукопис закінчено 12 грудня 2018 р.

Результати цієї роботи розглянуто Вченою Радою НДІ «МАО»
протокол від 18.12.13 № ??

Список авторів

Керівник робіт:

старший науковий співробітник

доктор фіз.-мат. наук _____ Шульга О.В. (розділ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)

Виконавці:

науковий співробітник

кандидат фіз.-мат. наук _____ Процюк Ю.І. (НДІ «МАО») (розділ 3, 7, 8)

інженер-дослідник

кандидат фіз.-мат. наук _____ Калюжний М.П. (НДІ «МАО») (розділ 4, 5)

інженер-дослідник

кандидат фіз.-мат. наук _____ Козирев Є.С. (НДІ «МАО») (розділ 7)

інженер-дослідник

_____ Кашуба В.І. (НДІ АО ОНУ) (розділ 4, 7)

інженер-дослідник

_____ Куліченко М.О. (НДІ «МАО») (розділ 4, 7)

інженер-дослідник

_____ Крючковській В.Ф. (НДІ «МАО») (розділ 2, 5, 7, 8)

інженер-дослідник

_____ Мажасєв О.Е. (НДІ «МАО») (розділ 7, 8)

інженер-конструктор

_____ Чернозуб В.М. (НДІ «МАО») (розділ 6)

інженер-електронік

_____ Халолей М.І. (НДІ «МАО») (розділ 6)

інженер-програміст 2 к.

_____ Фоменко Л.О. (НДІ «МАО») (розділ 7, 8)

Реферат

Звіт про виконання наукової роботи «Спостереження космічних об'єктів штучного походження на навколоземних орбітах з метою ведення веб-каталогу їх елементів орбіти», 52 сторінок, 15 таблиць та 39 рисунків.

Об'єктом дослідження є елементи орбіт штучних космічних об'єктів (КО) на навколоземних орбітах, спостереження яких проводяться оптичними телескопами астрономічних обсерваторій України. Метою роботи є наповнення бази спостережень (ftp сервер) та каталога елементів орбіти на сайті Української мережі оптичних станцій (УМОС) для дослідження і контролю навколоземного космічного простору.

УМОС входить до складу Українського центру визначення параметрів обертання Землі (УЦПОЗ) і мережі станцій космічної геодезії та геодинаміки України. До складу УМОС в 2012 р. увійшли Головна астрономічна обсерваторія НАН України (ГАО), НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» (НДІ МАО), НДІ Астрономічна обсерваторія Одеського національного університету (АО ОНУ), Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету (АО ЛНУ), Лабораторія космічних досліджень Ужгородського національного університету (ЛКД УжНУ), Державний міжвузівський центр «Оріон» (ДМЦ «Оріон»), «Центр контролю космічного простору (ЦККП) і Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля (ЦПОСІ та КНП), які є філіями Національного центру управління та випробування космічних засобів (НЦУВКЗ).

Мета роботи досягалася шляхом оптичних позиційних спостережень космічних об'єктів, таких як штучні супутники Землі та космічне сміття. За 2018 рік отримано спостереження 442 КО (154 ночей, 2650 проводок) на LEO орбітах, 23 КО (67 ночей, 127 проводок) на GEO орбітах.

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

ОПТИЧНІ ТЕЛЕСКОПИ, КОСМІЧНИЙ ОБ'ЄКТ, КОСМІЧНЕ СМІТТЯ, ЕЛЕМЕНТИ ОРБИТИ, FTP -СЕРВЕР.

Зміст

Вступ	6
1. Склад УМОС	7
2. Об'єкти спостереження	12
3. Режими роботи обладнання та методи позиційних спостережень КО	12
4. Координація позиційних спостережень КО	16
5. Мета та план работ УМОС	16
6. Розвиток технічних заходів НДІ «МАО»	18
7. Роботи виконані за договором	35
7.1 Формування обраних списків КО	35
7.2 Статистика спостережень	38
7.3 Умови спостережень	40
7.4 Оцінка точності спостережень	45
8. Розрахунок елементів орбіти	52
Висновки	52

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

ДКАУ	Державне космічне агентство України
ВСПЗ	вкорочений синхронний перенос заряду
ЕПВ	ефективна площа відбиття радіохвиль
КО	космічний об'єкт
КС	космічне сміття
МОНУ	Міністерство освіти і науки України
НДІ	Науково-дослідний інститут
НЗКП	навколоземний космічний простір
НКЗ	накопичення кадрів зі зсувом
НЦУВКЗ	Національний центр управління та випробування космічних засобів
ПЗЗ	прилад із зарядовим зв'язком
СКАКО	Система контролю та аналізу космічної обстановки
СККП	Система контролю космічного простору
СПЗ	синхронний перенос заряду
УМОС	Українська мережа оптичних станцій
CPF	формат консолідованого прогнозу положення для лазерного діапазону спостереження супутників
FTP	сервіс — доступ до файлів через Інтернет
GSO	геостаціонарні навколоземні орбіти
ILRS	Міжнародна служба лазерного діапазону
LEO	низькі навколоземні орбіти
MEO	середні навколоземні орбіти
NASA	Національне управління з авіації і дослідження космічного простору США
NORAD	Командування повітряно-космічною обороною Північної Америки
TLE	двухстрочний формат даних, що представляє собою набір елементів орбіти для супутника Землі

Вступ

Активне використання НЗКП призвело до істотного збільшення кількості космічних об'єктів штучного походження, і особливо космічного сміття на навколоземних орбітах. На кінець 2018 року, згідно даних відділу NASA з 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 в навколоземному космічному просторі займається «Система контролю космічної обстановки», розроблена Державним космічним агентством України. СКАКО. Однак для розрахунку небезпечних зближень, вирішення всіх важливих завдань контролю космічного простору, зокрема дослідження форми КО, одержуваної в СКАКО інформації недостатньо. Одним з перспективних шляхів розширення джерел інформації про КО і КС для СКАКО є залучення до робіт Української мережі оптичних станцій дослідження навколоземного космічного простору. Учасниками УМОС напрацьований різноманітний досвід у проведенні позиційних та фотометричних спостережень КО та КС, а також модернізації апаратного і програмного забезпечення.

1. Склад УМОС

З 2012 року до складу УМОС входять наступні 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» МОНУ - у подальшому Миколаїв.
3. Астрономічна обсерваторія Одеського національного університету МОНУ - у подальшому Одеса.
4. Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету МОНУ - у подальшому Львів.
5. Лабораторія космічних досліджень Ужгородського національного університету МОНУ - 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. В період травень - червень 2018 року спостереження проводились станціями УМОС на телескопах, які представлені в таблиці 1.1 та таблиці 1.2, а також на рис 1.1 та рис 1.2.

Таблиця 1.1 - 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	МОБИТЕЛ «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



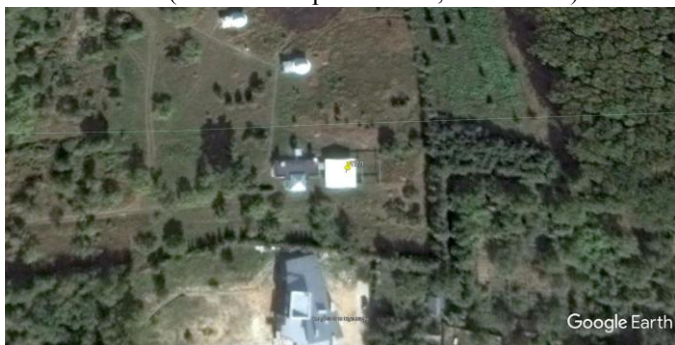
CST (висота камери – 520 м., 22.09.2015)



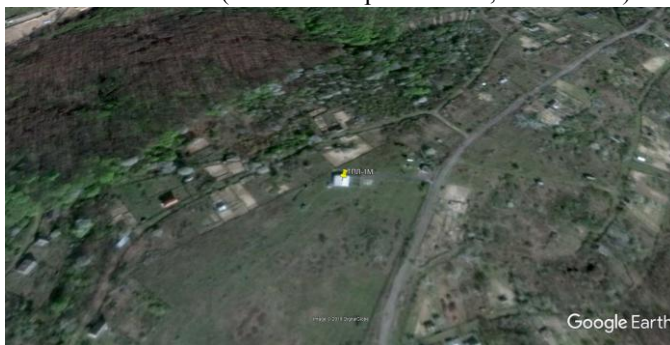
КТ50 ОНУ (висота камери – 521 м., 22.09.2015)



ТВТ (висота камери – 501 м., 22.09.2015)



ТПЛ (висота камери – 506 м., 22.09.2015)



ТПЛ-1М (висота камери – 501 м., 14.08.2016)

Рис 1.1 - Карти Google розміщення телескопів на станціях УМОС для спостереження КО на низьких орбітах.

Таблиця 1.2 – Обладнання станцій учасників УМОС для позиційних спостережень геостационарних 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	КІТ	Німецька екваторіальне	3852/355	SBIG ST-8XM 1530x1020, 9x9 мкм	0.20x0.13	U,B,V,R,I,n	NTP server	30.5288000 30°31'43.68"	50.2970000 50°17'49.20"	158
Одеса	ОМТ 800	Паралактична	2400/800	FLI ML9000 3056x3056, 12x12 мкм	0.89x0.89	integral	GPS Resolution T ±40 нс	30.27127709 30°16'16.59"	46.39696195 46°23'49.06"	19
	КТС	Азимутальна	1500/280	AltaApoge U9, 3072 x 2048, 9x9 мкм	1.5 x 1.0					
Львів	GLD-250	Паралактична	1206/250	Starlight SXV-M9 752x582 pix, 12x11 мкм	0.3 x 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, 9x9 мкм	1.25x0.83	R	GPS	22.453751 22°27'13.50"	48.5635505 48°33'48.78"	231
	T400	Паралактична	1750/400	FLI PL9000, 3056x3056, 12x12 мкм	1.22x1.22	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 3056x3056, 12x12 мкм	0.7 x 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 3056x3056, 12x12 мкм	2.7 x 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 3056x3056, 12x12 мкм	1.4 x 1.4	R	GPS Resolution T ±40 нс	31.973314 31°58'23.93"	46.972488 46°58'20.96"	78



КІТ (висота камери – 511 м., 22.09.2015)



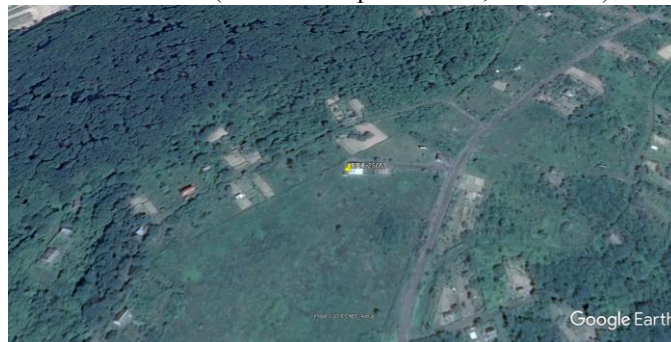
ОМТ800 (висота камери – 517 м., 14.8.2016)



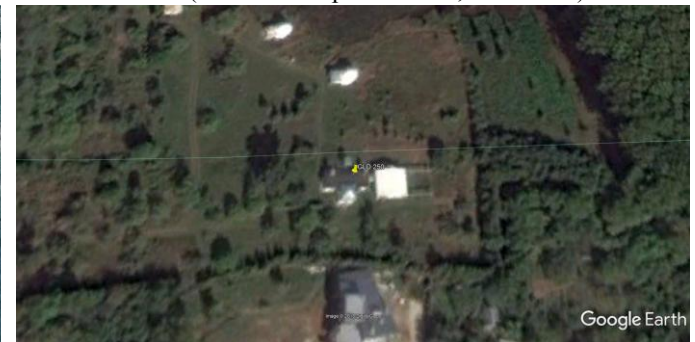
КТС (висота камери – 502 м., 14.8.2016)



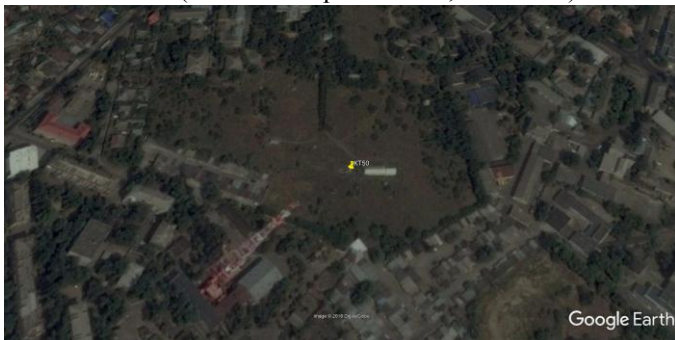
Т400 (висота камери – 503 м., 14.8.2016)



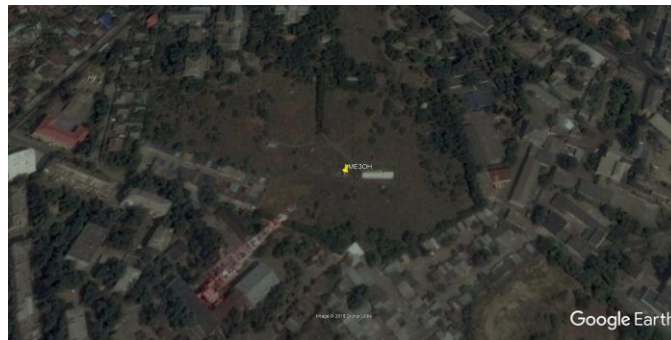
ВРС 250М (висота камери – 514 м., 4.06.2017)



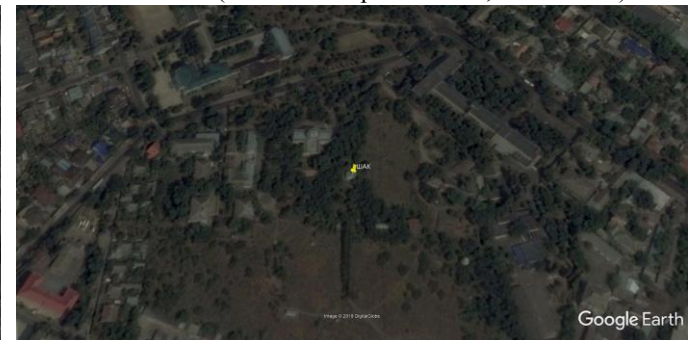
GLD 250 (висота камери – 507 м., 14.08.2016)



КТ-50 (висота камери – 502 м., 30.07.2016)



МЕЗОН (висота камери – 502 м., 30.07.2016)



ШАК (висота камери – 502 м., 30.07.2016)

Рис 1.2 - Карти Google розміщення телескопів на станціях УМОС для спостереження геостаціонарних КО

2. Об'єкти 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 2500 км – 36000 км;
- Геоперехідні орбіти – GTO: апогей ~ 36000 км, перигей < 30000 км;
- Полусинхронні орбіти – SSO: апогей/перигей ~ 20000 км;
- Високоеліптичні орбіти – NEO: апогей > 40000 км, перигей < 36000 км.

3. Режими роботи обладнання та методи позиційних спостережень КО

Для позиційних спостережень КО на станціях УМОС використовуються різноманітні оптичні системи, режими роботи монтування телескопа, типи камер, способи формування зображення КО та способи визначення екваторіальних координат КО.

Режими роботи монтування телескопа:

- Нерухомий (на протязі одного вітка КО телескоп наводиться в декілька точок по траєкторії) (Алчевськ, Львов, Миколаїв, Ужгород);
- Механічний супровід КО (Дунаєвці, Євпаторія, Одеса);
- Добове ведення (Євпаторія)

Типи камер:

- Телевізійні ПЗЗ камери (Алчевськ, Львов, Миколаїв, Ужгород);
- Телевізійні трубки (Дунаєвці);
- Повнокадрові ПЗЗ камери (Євпаторія);
- Повнокадрові ПЗЗ камери з СПЗ та поворотною платформою (Миколаїв)

Способи формування зображення об'єкту:

- Кадровий – статичний спосіб отримання зображення, використовується зі всіма типами камер.
- Накопичення кадрів зі зсувом (НКЗ) – супроводження на цифровому рівні, використовується з телевізійними ПЗЗ камерами.
- Вкорочений синхронний перенос заряду (ВСПЗ) – супроводження на електронному рівні, використовується із повнокадровими ПЗЗ камерами, що мають режим СПЗ.

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 Одеса).
- **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.

Таблиця 3.1 – 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	KIT	диференційний + нерухомий телескоп	GEO
3	Миколаїв	МОБИТЕЛ «КТ-50»	комбінований + ВСПЗ	LEO MEO GEO
4	Миколаїв	МОБИТЕЛ «МЕЗОН»	комбінований + ВСПЗ	LEO MEO GEO
5	Миколаїв	ШАК	комбінований + ВСПЗ	LEO MEO GEO
6	Миколаїв	МОБИТЕЛ «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	T400	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

4. 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.

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](ftp://umoss@194.44.78.107/pub/positional)), що створений та обслуговується в Астрономічній обсерваторії Львівського національного університету. Загальне обчислення масиву спостережень здійснюється в Миколаївській обсерваторії до елементів орбіти в форматах TLE та CPF.

5. Мета та план работ УМОС

Метою роботи є проведення регулярних астрометричних та фотометричних спостережень навколоземних космічних об'єктів з використанням Української Мережі Оптичних Станцій (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.
- Результатами обробки спостережень оформляються в форматі - прями 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, 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 окремо. Проводиться оцінка умов спостережень з використанням реальних вимірювань на станціях УМОС.

Розвиток інтернет-ресурсів УМОС:

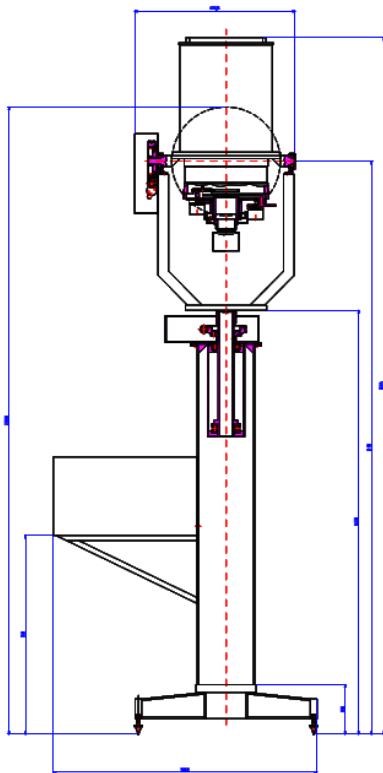
- Підтримка FTP сервера для координації спостережень КО та аналізу їх результатів;
- Оновлення загальної інформації про станції-учасники;
- Регулярне оновлення поточної версії каталогу елементів орбіт в форматах TLE та CPF.

6. Розвиток технічних заходів НДІ «МАО»

На телескопі «Швидкісний автоматичний комплекс» (ШАК) в 2018 році завершено повну модернізацію конструкції колони та електроніки приводів.

Телескоп складається (рис. 6.1)з наступних складових вузлів:

- вертикальна колона з механізмами повороту по азимуту;
- поворотна вертикальна вилка з механізмом по куту місця;
- об'єктив (схеми Максудова) з двома піввісями та противаги,
- ПЗЗ камера з механізмом обертання відносно оптичної осі об'єктива.



а) схема



б) зовнішній вигляд

Рисунок 6.1 – Телескоп ШАК

Вертикальна колона телескопа ШАК має підставку у вигляді триноги і спирається на верхню площу фундаменту телескопа. Колона закінчується посадковою виделкою з розрізними пазами для установки піввісей об'єктива.

В нижній частині колони розміщено кронштейн для установки контейнерів з блоками електроніки.

Механізми обертання виготовлені по схемі черв'ячного редуктора. На осі вертикальної вилки та східній піввісі об'єктива закріплені черв'ячні колеса, які входять в зачеплення з черв'ячними валами, що закрівлені на вертикальній колоні і східній алідаді поворотної вертикальної вилки. Осі черв'ячних валів з'єднані з вісями крокових електродвигунів за допомогою конічної пари і циліндричного редуктора.

На посадковому фланці осі відмін укріплений дзеркальний об'єктив системи Максудова який, оснащений поворотною платформою і механізмом юстирування і повнокадровою ПЗЗ-камерою.

Телескоп ШАК встановлений в круглій вежі-павільйоні (рис. 6.2) на окремому фундаменті, який не має контакту з її внутрішнім міжповерховим перекриттям, стінами та фундаментом.



Рисунок 6.2 – Павільйон телескопа ШАК

Для збільшення кута огляду телескопа павільйон оснащений плоскою чотирьохскатною дахом, яка відкочується по напрямних перед початком спостережень. Дах відкривається автоматично за допомогою електромеханічної лебідки і системи направляючих по двох рейках, які встановлені на верхньому зрізі павільйону. Під час спостережень дах відкочується повністю, що дозволяє збільшити кут огляду телескопа. На плоскій металевій даху павільйону знаходиться шар пористої теплоізоляції і каркас чотирьохскатного даху, змонтований з металевих куточків. На каркасі прокладені дерев'яні ребра жорсткості, на яких закріплені металеві плоскі профілі обшивки даху. Обшивка даху у вигляді чотирьох захисних козирків забезпечує вільну циркуляцію повітря між дахом і стінами павільйону. Верхній зріз вежі - павільйону також закритий козирками з профільних металевих листів. Зовнішній шар металеві обшивки даху виконаний без ізоляції і пофарбований в світлий колір для захисту внутрішнього теплоізолюваного шару від нагрівання прямими сонячними променями. По периметру дах оснащений захисними гумовими «фартухами» - ущільнювачі які перешкоджають попаданню опадів і пилу в середину павільйону.

Основним об'єктивом телескопа ШАК остався дзеркальний об'єктив системи Максутова ($D=300$ мм, $F=1500$ мм) (рис. 6.3).



Рисунок 6.3 – Дзеркальний об'єктив системи Максутова.

Об'єктив ШАК оснащено ПЗС-камерою Alta U9000 (рис. 6.4) яку встановлено на поворотній платформі - пристрій який обертає ПЗС-камеру навколо оптичної осі об'єктива (рис. 6.5). Кутовий розмір поля зору становить $83' \times 83'$, гранична зоряна величина - 17^m .

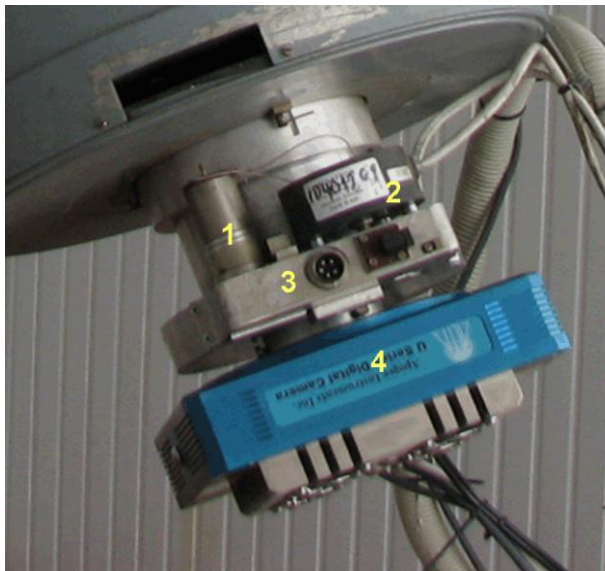


Рисунок 6.4 – ПЗС-камера с поворотною платформою



Рисунок 6.5 – Загальний вид поворотної платформи камери Alta U9000

Завершено роботи по оснащенню телескопа ШАК електросиловими приводами на базі драйвера фірми EVER Elettronica. Драйвер EVER Elettronica (рис. 6.6) призначений для управління кроковими двигунами, дозволяє згладжувати рух, підвищує точність установки



Рисунок 6.6 – Зовнішній вид драйвера EVER Elettronica

Структурна схема драйвера представлена на рис. 6.7, а технічні характеристики в таблиці 6.1.

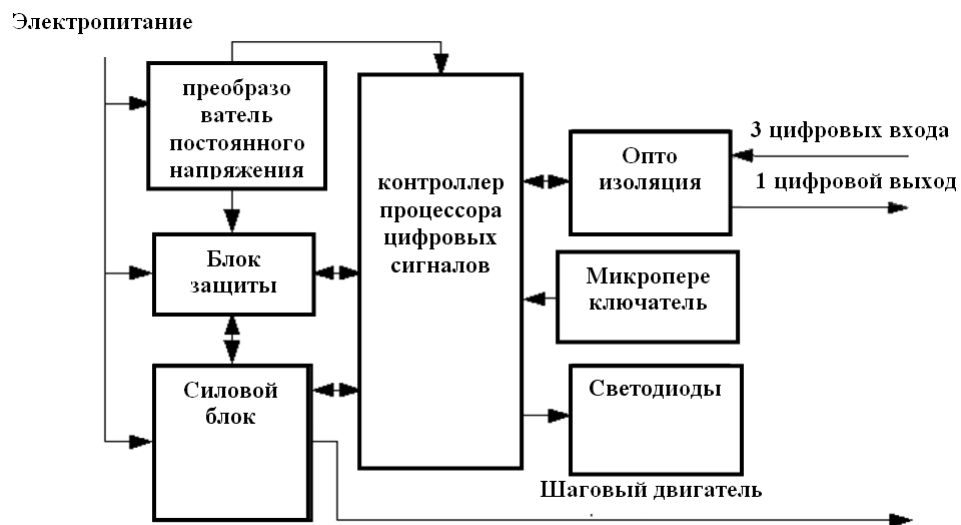


Рисунок 6.7 - Структурна електрична схема блоків драйвера EVER Elettronica

Таблиця 6.1 - Технічні характеристики драйверів

Рекомендоване напруга живлення постійного струму, В	24 ÷ 80
Струм фази без навантаження, mA	230
Струм фази з максимальним навантаженням, А	5
Одиничний крок, градус,	1,8
Цифровий вхід	3 (5 Vdc, NPN, PNP)
Цифровий вихід	1(24Vdc 100mA, Fault,)
Тип драйвера	Bipolar chopper
Частота перемикання, кГц	40
Ступінь захисту	IP20
Робоча вологість	0% ÷ 90%
Робоча температура	0°C ÷ 50°C
Розмір, мм	120,0 x 97,5 x 45,5
Маса, г	500

У електросилових приводах використовуються крокові двигуни фірми EVER Elettronica характеристики яких представлені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Характеристики крокових двигунів EVER Elettronica

Найменування	Кількість кроків на оберті	Момент обертання Nm	Ток фази А	Маса кг	Робоча температура С°
MT34FN31	200	4,5	5,0	2,3	-40 ÷ +55
MT57STH76	200	1,35	2,0	1,0	-40 ÷ +55
MT57STH56	200	0,9	2,0	0,7	-40 ÷ +55

Для контролю кутового положення телескопів використовуються абсолютні датчики кутів обертання типу TECHNOLOGY серії ASC6008. На телескопі ШАК встановлено 3 датчика для контролю: положення осей та

кута повороту ПЗЗ-камери. Загальний вигляд і розміри датчиків кута наведені на рис. 6.8, а основні технічні характеристики в таблиці 6.3.

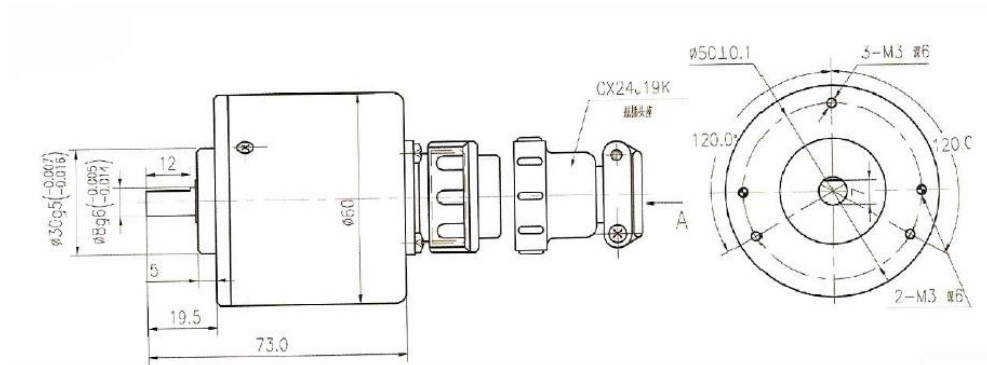


Рисунок 6.8 – Датчик кута обертання TECHNOLOGY ASC6008

Таблиця 6.3 - Технічні характеристики датчика кута TECHNOLOGY ASC6008

Напруга живлення постійного струму, В	5
Сила струму, mA	≤ 150
Дозвіл, біт	11
Швидкість без ізоляції, оборотів в хв.	1000
Пусковий крутний момент без ізоляції, Н * м	$2.5 \cdot 10^{-3}$
Момент інерції ротора, кг * м ²	$5 \cdot 10^{-6}$
Максимальна допустима радіальне навантаження на вісь, Н	20
Максимальна допустима осьова навантаження на вісь, Н	10
Вібростійкою (протягом 6 мс, двічі по кожній з осей), м / с ²	980
Ударостійкість (з частотою 10-200 Гц), м / с ²	50
Робоча температура	500°C ÷ 850°C
Середній час безвідмовної роботи (при t = 250 ° С і швидкості обертання = 2000 оборотів в хв.), Ч	≥ 30000
маса, кг	0,4

Блок управління телескопа ШАК (рис. 6.9) складається з двох основних вузлів: контролера і силового вузла.

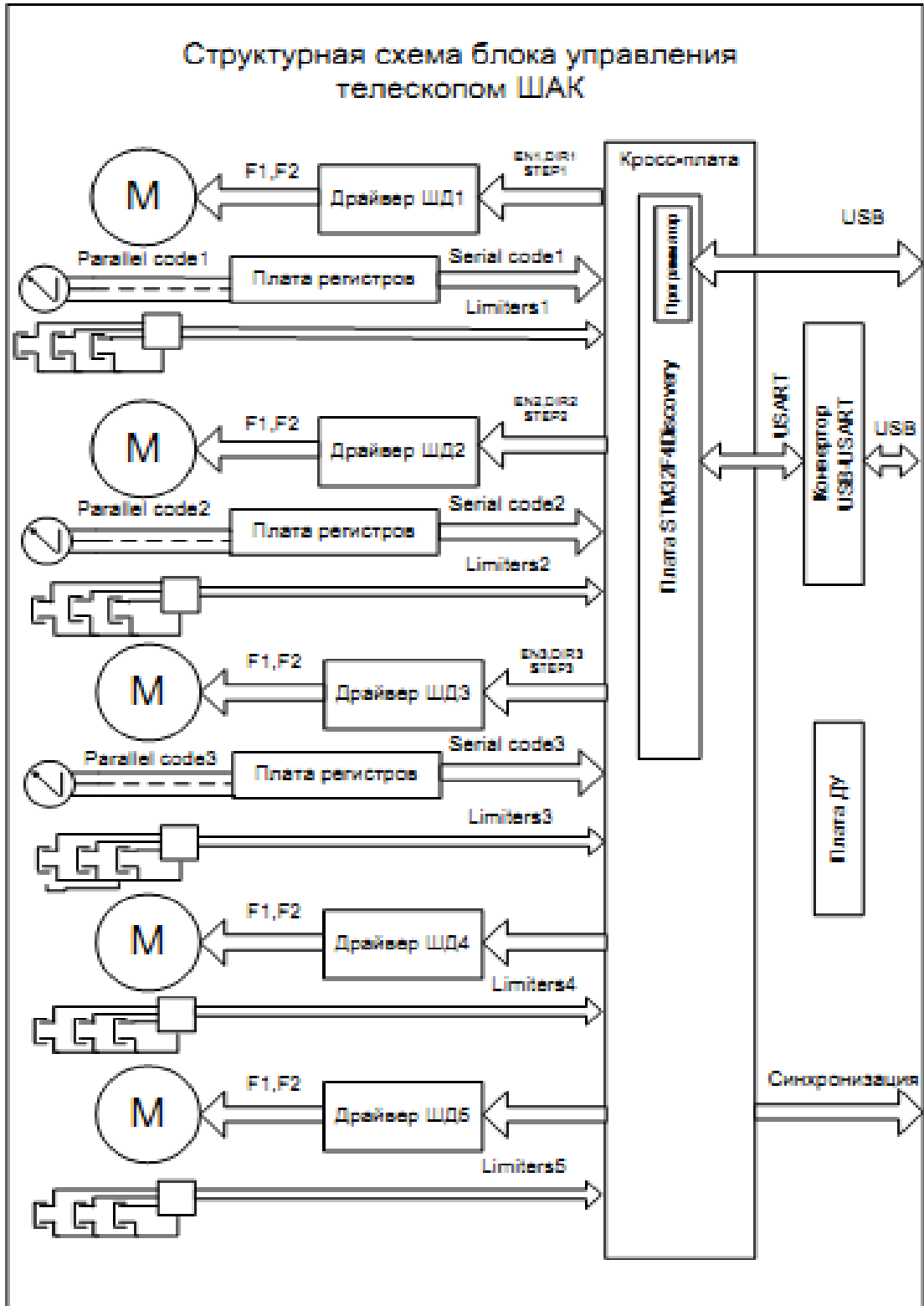


Рисунок 6.9 – Структурна схема блока управління телескопа ШАК

Контролер виготовлений на основі налагоджувальної плати STM32F4Discovery, що має наступні характеристики:

- мікроконтролер STM32F407VGT6 з 1 Мб флеш-пам'яті, 192 Кб оперативної пам'яті в пакеті LQFP100;
- вбудований ST-LINK / V2 з перемикачем режиму вибору, щоб використовувати комплект як автономний;
- ST-LINK / V2 (з роз'ємом SWD для програмування та налагодження);
- блок живлення плати: через шину USB або від зовнішнього напруги живлення 5В;
- зовнішнє джерело живлення: 3В і 5В;
- LIS302DL, ST MEMS датчик руху, 3-осьовий цифровий акселерометр виходу MP45DT02;
- аудіо датчик ST MEMS, всеспрямований цифровий мікрофон;
- CS43L22, аудіо ЦАП з інтегрованим динаміком класу D;
- вісім світлодіодів:
 - LD1 (червоний / зелений) для зв'язку через USB
 - LD2 (червоний) для увімкнення живлення 3.3В
- чотири світлодіоди користувача:
 - LD3 (помаранчевий),
 - LD4 (зелений),
 - LD5 (червоний)
 - LD6 (синій)
- 2 USB-індикатора OTG LD7:
 - (зелений) VBus LD8,
 - (червоний) надмірного струму
- дві кнопки (користувач і скидання)
- USB OTG з роз'ємом мікро-AB
- розширювальний заголовок для LQFP100 I/Os для швидкого підключення до прототипів і легкого зондування

Розробка, налагодження та завантаження програми в мікроконтролер виконується в середовищі розробки Coocox CoIDE v1.7.5. Як компілятор використовується GCC-ARM-EMBEDDED. Контролер блоку управління побудований на базі плати мезонінного типу STM32F4Discovery, ядром якої є 32 розрядний мікроконтролер STM32F407VGT6, що працює на частоті 168 МГц. Всі 100 виводів мікроконтролера розведені на два 50 контактних роз'єми плати.

Для підключення зовнішніх пристроїв виготовлена крос-плата (Рис. 6.10), сигнали якої представлені в таблиці 6.4.

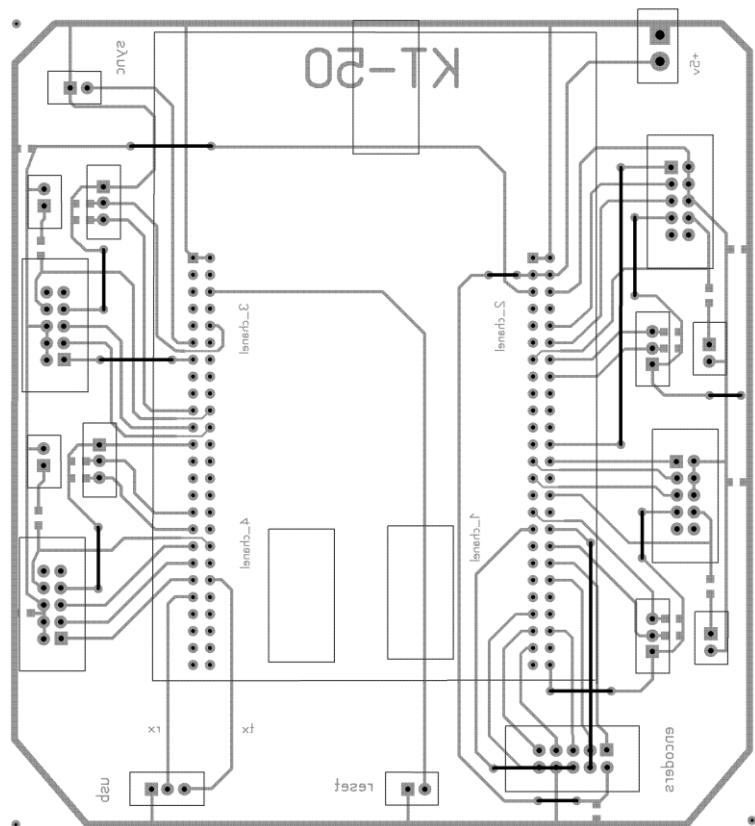


Рисунок 6.10 – Крос-плата підключення зовнішніх пристроїв мікроконтролера.

Таблиця 6.4 – Сигнали крос-плати підключення зовнішніх пристроїв

	GND	GND			GND	GND	
	VDD	VDD			5V	5V	
	GND	NRST			3V	3V	
*	PC1	PC0	x		PH0	PH1	
x	PC3	PC2	*	*	PC14	PC15	* EN2
SYNC TIM5/2	PA1	PA0	x	*	PE6	PC13	* DIR2
POV TIM9/2 Step3	PA3	PA2	* LIMITER_3	* DRIVER_READY_2	PE4	PE5	* KALIBR_2
x	PA5	PA4	x	x	PE2	PE3	* LIMITER_2
x	PA7	PA6	x	x	PE0	PE1	x
* KALIBR_3	PC5	PC4	* DRIVER_READY_3		PB8	PB9	x
* DIR3	PB1	PB0	* EN3		BOOT	VDD	
	GND	PB2	*	x	PB6	PB7	UM TIM4/2 Step2
*	PE7	PE8	*	* EN1	PB4	PB5	AZ TIM3/2 Step1
*	PE9	PE10	*	* DIR1	PD7	PB3	x
*	PE11	PE12	*	x	PD5	PD6	* DRIVER_READY_1
*	PE13	PE14	* LIMITER_4	* KALIBR_1	PD3	PD4	x
* KALIBR_4	PE15	PB10	x	* IN3	PD1	PD2	* IN1
* DIR4	PB11	PB12	* DRIVER_READY_4	x	PC12	PD0	* LIMITER_1
* EN4	PB13	PB14	*	x	PC10	PC11	* CS1
FOCUS TIM12/2 Step4	PB15	PD8	USART3_TX	x	PA14	PA15	* CS2
USART3_RX	PD9	PD10	*	x	PA10	PA13	x
*	PD11	PD12	x	* CS3	PA8	PA9	x
x	PD13	PD14	x	* IN2	PC8	PC9	* CP
x	PD15	NC		* M	PC6	PC7	x
	GND	GND			GND	GND	

Визначення положень осей телескопа проводиться датчиками кута повороту з паралельним виходом. Для перетворення паралельного коду в послідовний була розроблена і виготовлена плата реєстрів (рис. 6.12).

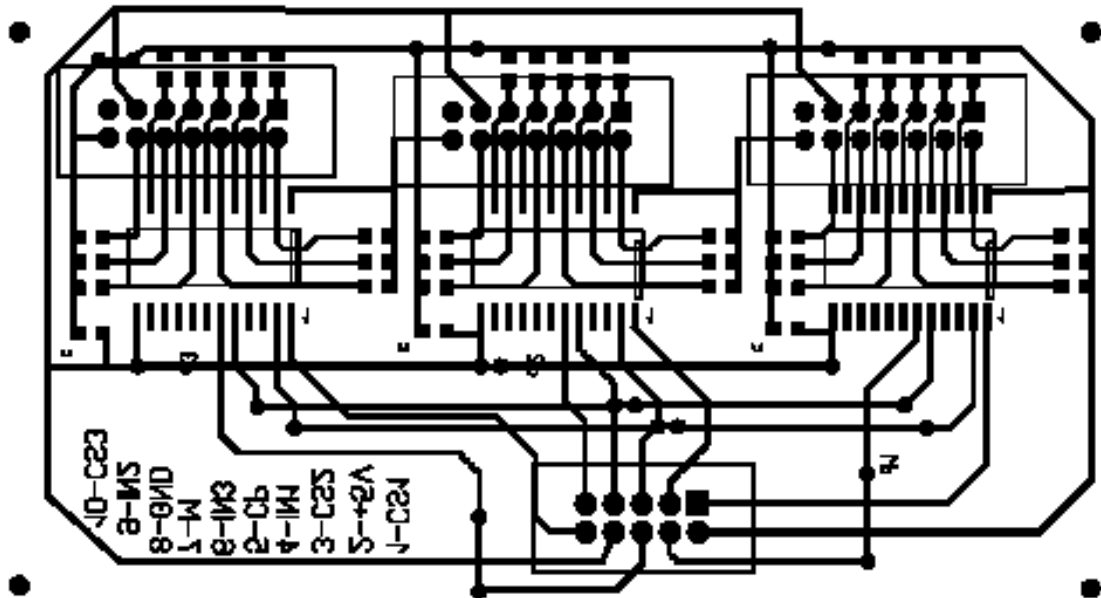


Рисунок 6.12 – Плата реєстрів

На платі встановлені три мікросхеми 74F676, що представляють собою 16 розрядні реєстри-засувки з паралельним входом і послідовним виходом. 11 розрядів датчика кута підключені до відповідних входів мікросхеми і по сигналу опитування фіксується поточне значення датчика. Потім через послідовний вихід код передається в мікроконтролер.

Блок мікроконтролера працює в режимі очікування команд від ПК, відпрацювання команд і видачі на ПК інформації про стан драйверів, датчиків кута повороту і двигунів. Після включення і ініціалізації програма переходить в нескінченний цикл, в якому відбувається перевірка прапорів стану периферійних пристроїв і в разі виявлення встановленого прапора відбувається перехід на відповідну підпрограму обробки даної події.

У циклі також працює програмний лічильник, який задає частоту опитування датчиків кута повороту і стану нуль-пункту. частота опитування

обрана такою, щоб при максимальній швидкості обертання за один оборот проводилося не менш шести зчитувань. Датчики мають 11бітний паралельний вихід в кодї Грея. Після фіксації коду в регістрах-засувках відбувається його передача в мікроконтролер по послідовній шині. Виробляється перетворення коду Грея в бінарний і порівняння з попереднім значенням і, в разі виконання визначених умов, до числа повних обертів додається або віднімається одиниця.

Управління кроковими двигунами проводиться за командами з ПК. Попередньо задаються параметри роботи ШД: початкова швидкість, максимальна швидкість, час розгону і кількість кроків, які пройде двигун на мінімальній швидкості перед зупинкою. Розраховані керуючої програмою значення кількості кроків по всіх осях передаються в контролер і БО управляє роботою крокових двигунів відповідно до заданих параметрів руху.

Для калібрування датчиків кута повороту на телескопі встановлено геркони (нуль-пункти). При проходженні осі телескопа через нуль-пункт фіксуються значення датчика кута повороту, число повних обертів, число пройдених кроків.

Силовий вузол містить нестабілізований трьохканальний джерело живлення напругою + 60 В потужністю 630 Вт і драйвери крокових двигунів LW1D3050N081 з максимальною напругою харчування + 80 В.

Для повної автоматизації спостережень для павільйону телескопа ШАК розроблений і впроваджений блок управління павільйоном (рис. 6.13). Метою розробки було створення керованого через мережу LAN або WAN пристрою дистанційного включення, виключення і моніторингу стану всіх механізмів і апаратури, що входять до складу павільйону. Крім того, в блоці управління реалізований генератор синхроімпульсів для зовнішньої синхронізації ПЗС камери Arogee Alta U9000.

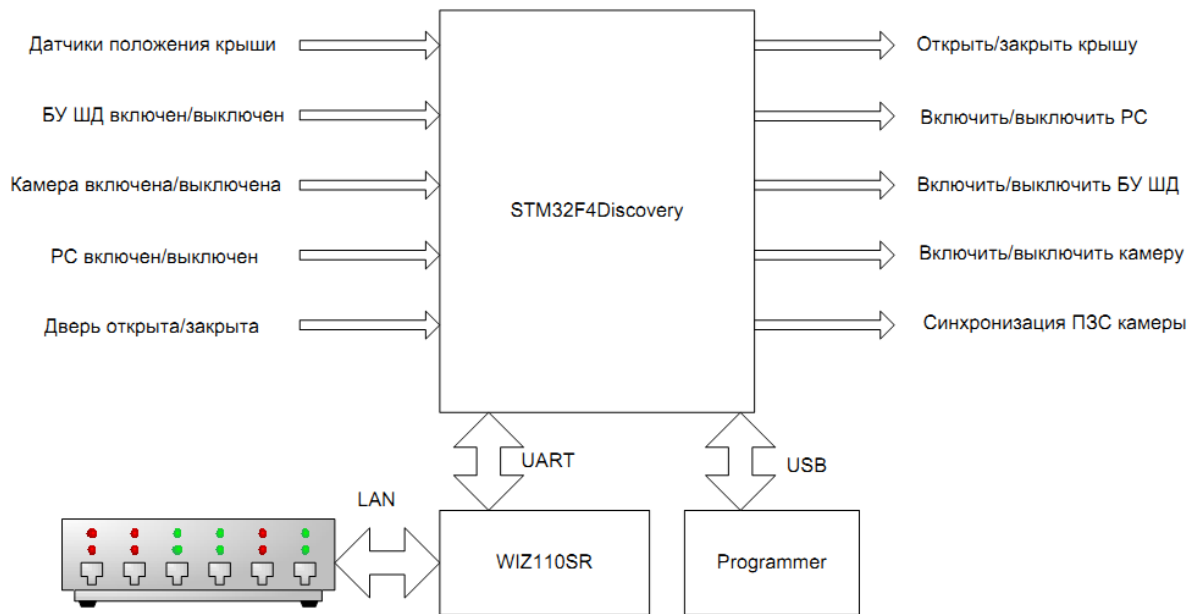


Рисунок 6.13 - Блок управління павільйоном телескопа ШАК

При виборі технічного рішення пристрою були враховані наступні вимоги:

- підключення до комутатора LAN і робота під управлінням програми віддаленого комп'ютера;
- передача інформації про стан устаткування;
- можливість включати і вимикати комп'ютер, ПЗС камеру, блок керування кроковими двигунами, розкривати і закривати дах павільйону;
- можливість ручного (кнопкового) управління дахом павільйону;
- видача синхроімпульсів на ПЗС камеру з заданим періодом і необхідною точністю;
- забезпечення апаратного і програмного захисту обладнання павільйону від збоїв в управлінні.

Виховуючи ці вимоги, був розроблений контролер на основі отладоочной плати STM32F4Discovery і "прозорого" моста UART- Ethernet WIZ110SR фірми WIZNET. Контролер працює в режимі опитування датчиків і очікування команд керуючого комп'ютера. У разі зміни стану будь-якого

датчика контролер відправляє посилку STATUS. Керуючий комп'ютер також може отримати STATUS за запитом будь-якої пори. Для управління обладнанням в якості виконавчих елементів застосовані електромеханічні реле з однією, двома і трьома групами контактів і робочою напругою 12 вольт. Закриття і відкриття даху проводиться спеціальним механізмом, який приводиться в рух 3-х фазним мотором. Зміна напрямку обертання здійснюється комутацією фаз.

До складу блоку входить стабілізований джерело живлення +3.3 В, +5В, +12 В. На передній панелі блоку розташовані індикація і кнопки для ручного управління дахом павільйону. Міст UART-Ethernet призначений для зв'язку керуючого комп'ютера з контролером по мережі Ethernet.

Для взаємодії керуючого комп'ютера з блоком управління застосовано модуль WIZ110SR (рис. 6.14), що представляє собою міст RS-232-Ethernet з вбудованим стеком протоколів TCP/IP. Характеристики модуля наведені в таблиці 6.5. Для реалізації стека протоколів TCP/IP використовується Ethernet-контролер W5100.



Рисунок 6.14 – Модуль WIZ110SR.

Таблиця 6.5 Характеристики модуля WIZ110SR

MCU	8051; 62K Flash; 16K SRAM; 2K EEPROM
TCP / IP	W5100
Мережевий інтерфейс	10/100 Mbps, авто визначення
Параметри послідовного порту	Інтерфейс: RS232
	Сигнали: TXD, RXD, RTS, CTS, GND
	Контроль парності: парне, непарне., без контролю
	Біт даних: 7, 8
	Контроль потоку: апаратний (RTS / CTS), програмний (XON / XOFF)
	Швидкість: до 230 Kbps
Напруга живлення	DC 5V
споживання струму	менш 180mA
Температурний діапазон	Робочий: 0 ° -80 ° C, зберігання: -40 ° -85 ° C
Вологість	10 - 90%

Головна відмінна риса W5100 - наявність на кристалі апаратного вузла, який реалізує рівень PHY стека протоколів TCP/IP. У зв'язку з тим, що модуль WIZ110SR призначений для роботи по інтерфейсу RS232, а плата STM32F4Discovery має UART, зроблена невелика доробка модуля: зі схеми виключений перетворювач рівнів сигналів MAX232, а сигнальні ланцюга RX, TX інтерфейсу UART модуля безпосередньо з'єднані з відповідними сигнальними ланцюгами мікропроцесора. До складу стека TCP/IP входять наступні протоколи: ICMP, DHCP, DNS, PPPoE. В якості транспортного протоколу можуть використовуватися TCP або UDP. З'єднання керуючого комп'ютера з БО здійснюється через Socket: IP адреса і Port. IP адреса може бути як статичним, так і динамічним. Можливі режими роботи модуля: Сервер, Клієнт і Змішаний. Так як блок управління може працювати в і режимі очікування, і сам ініціювати передачу, то обраний - Змішаний режим.

7. Роботи виконані за договором

7.1 Формування обраних списків КО

Головною метою етапу роботи є спостереження КО зі списку «Низькоорбітальні КО з високоточними ефемеридами», «Низькоорбітальні КО Росії військового призначення», «КО на середніх висотах з високоточними ефемеридами» та «КО на геостаціонарних висотах з високоточними ефемеридами» (табл. 7.1 – 7.4) 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 УМОС 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.

Таблиця 7.1 – 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 7.2 – 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 7.3 – КО на середніх висотах з високоточними ефемеридами

<i>NORAD</i>	<i>Int 'i Code</i>	<i>Period (min)</i>	<i>Apodee (km)</i>	<i>Perigee (km)</i>	<i>Inclination</i>	<i>RCS (m2)</i>	<i>Massa (kg)</i>	<i>Name</i>	<i>Country</i>
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 7.4 – КО на геостационарних висотах з високоточними ефемеридами

<i>NORAD</i>	<i>Int 'I Code</i>	<i>Period (min)</i>	<i>Apogee (km)</i>	<i>Pergee (km)</i>	<i>Inlination (o)</i>	<i>RCS (m2)</i>	<i>Mass (kg)</i>	<i>Location (°)</i>	<i>Name</i>	<i>Country</i>
37948	2011-073A	1435.8	36021.3	35554.5	52.7	7.9433	2300	110с.д.	BEIDOU IGSO5 (compassi5)	China
40938	2015-053A	1436.3	36013.5	35581.3	53.7	?	4200	90с.д.	BEIDOU I2-S (compassi2)	China
41434	2016-021A	1436.0	35921.1	35662.1	56.0	?	2300	95с.д.	BEIDOU IGSO6 (compassi6b)	China
39199	2013-034A	1436.1	35870.4	35718.1	29.4	?	1425	55с.д.	IRNSS-1A (irnssl1a)	India
39635	2014-017A	1436.1	35885.8	35700.8	29.2	?	1432	55с.д.	IRNSS-1B (irnssl1b)	India
40269	2014-061A	1436.1	35870.6	35717.9	2.4	?	1425	83с.д.	IRNSS-1C (irnssl1c)	India
41384	2016-015A	1436.1	35884.4	35702.6	3.4	?	1425	32с.д.	IRNSS-1F (irnssl1f)	India
43286	2018-035A	1436.0	35874.9	35710.2	28.6	?	1425	55с.д.	IRNSS-1I (irnssl1i)	India

7.2 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 таблицях 7.5 та 7.6. В таблиці 7.7 представлено календар спостережень по станціям і типу КО (синім виділено період дії договору).

Таблиця 7.5 – 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 7.6 – 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

Таблиця 7.7 – Календар наявності даних спостережень на FTP сервері УМОС (стовбці – місяці, строки – дні)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1					N _L			N _L O _L N _G				
2		O _L		O _L	N _L O _L		N _G O _L N _L			O _L		
3				O _L	N _L O _L		U _G N _G O _G N _L		K _L	N _L O _L N _G	N _L	
4					N _L O _L		N _G O _G N _L O _L		O _L			
5	O _L					N _G O _L N _L	U _G	N _G		O _L N _G		
6						N _G K _G K _L O _L N _L	O _L	N _L N _G		N _L	K _L N _L O _L	
7						N _G K _G K _L O _L N _L		N _L N _G			K _L N _L O _L	
8						K _G K _L		N _L N _G		N _L O _L	K _L O _L	
9				K _L		K _G O _G K _L		K _L		N _L	K _L O _L	
10				K _L O _L	K _L	K _G O _G K _L		K _L		K _L N _L O _L	N _L	
11					O _L	U _G	N _G N _L O _L			N _L O _L		
12				O _L		N _G N _L O _L	U _G O _G O _L	N _L N _G	N _L O _L N _G	O _L N _G		
13				O _L		N _L		N _L N _G	N _L O _L N _G			
14						N _G O _G N _L O _L	O _G					
15	K _L		O _L				N _G N _L O _G					
16										K _L O _L		
17									K _L N _L N _G	K _L N _L O _L		
18				O _L		N _G O _G O _L N _L	N _L		N _L N _G	K _L O _L N _G		
19		O _L				U _G N _G O _G N _L O _L						
20		O _L		O _L		N _G K _L N _L	U _G N _G N _L	O _L	N _L O _L N _G			
21						K _L O _L		N _L O _L	O _L			
22					N _L		O _G	N _L N _G	N _L N _G	K _L		
23	K _L			K _L				K _L				
24			K _L			O _G		K _L				
25				O _L		U _G O _L		K _L				
26				O _L				N _L N _G	N _L O _L N _G			
27						N _G N _L		K _L O _L				
28				K _L				N _L N _G	O _L			
29			O _L	K _L	N _L	O _G		N _L N _G				
30				K _L	O _L	U _G	N _G	K _L O _L	K _L			
31	O _L						N _L N _G	K _L O _L				

Позначення: K_L - Київ (CELESTRON), K_G - Київ(КІТ), N_L - Миколаїв (ТВТ), N_G - Миколаїв (КТ50), O_L – Одеса (КТ50), O_G - Одеса (ОМТ800), U_G - Ужгород (Т400)

7.3 Умови спостережень

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

Для телескопу ТВТ станції Миколаїв результати представлені на рис. 7.1 - 7.6, для побудови яких використано 12538 спостережень.

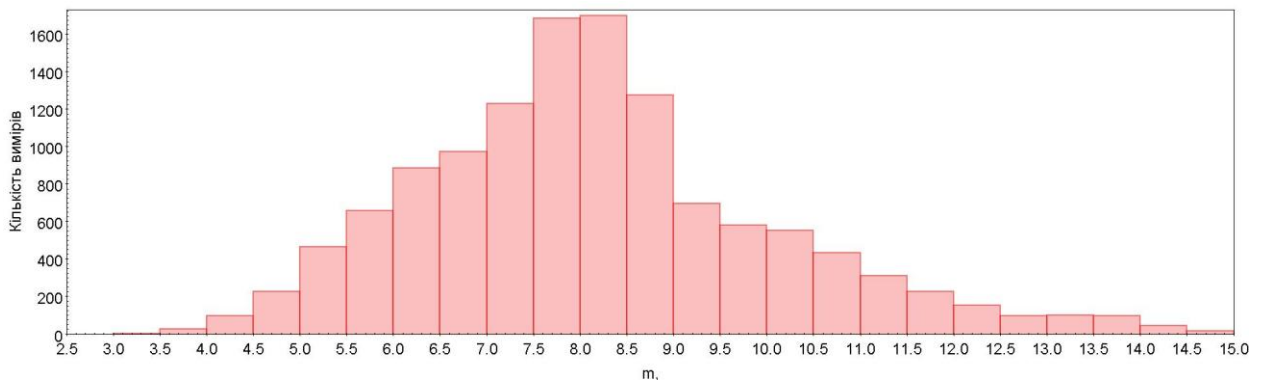


Рисунок 7.1 - Розподіл спостережень по зоряній величині

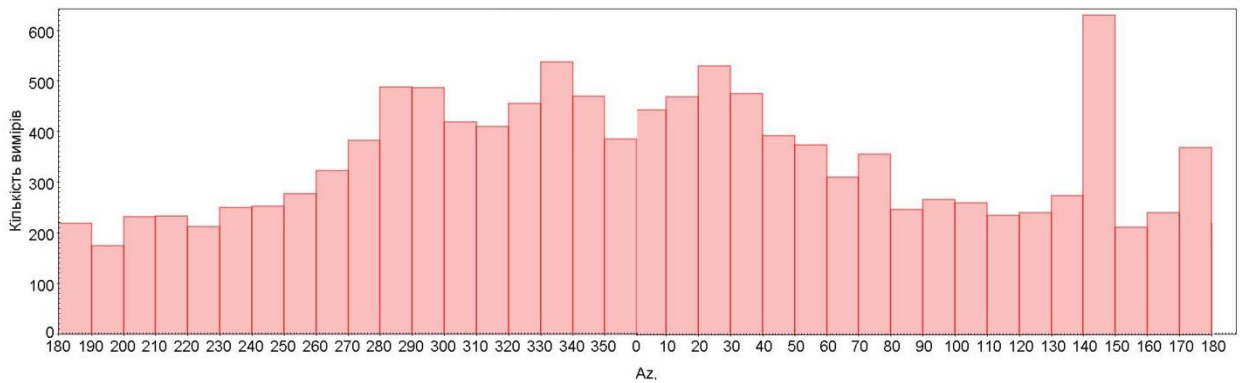


Рисунок 7.2 - Розподіл спостережень по азимуту

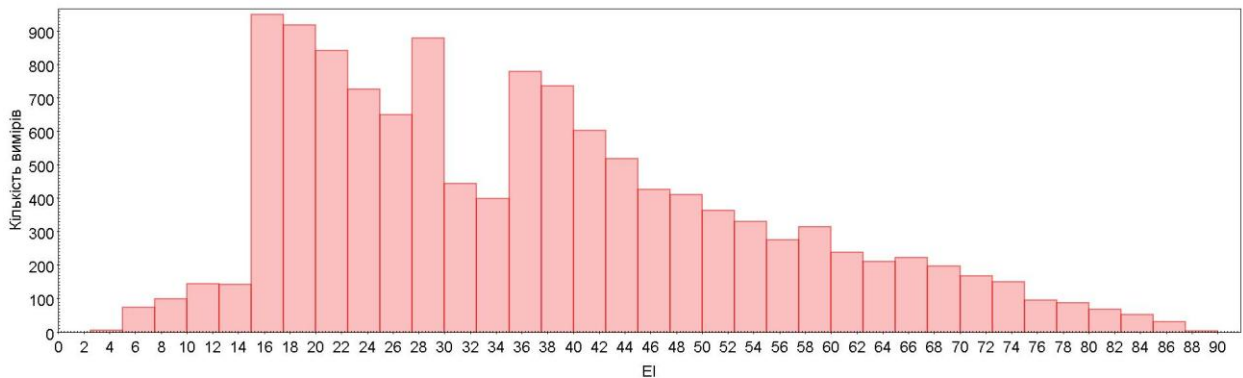


Рисунок 7.3 - Розподіл спостережень по підвищенню

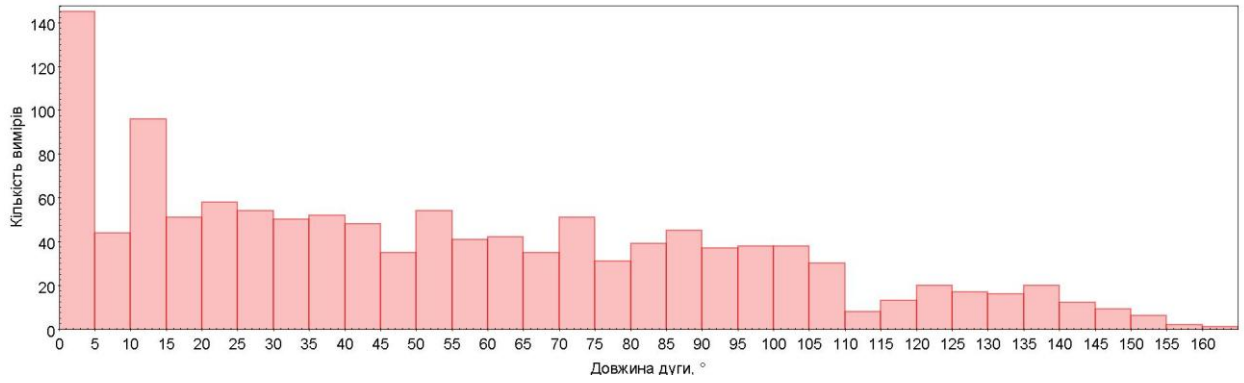


Рисунок 7.4 - Розподіл довжин дуг спостереження

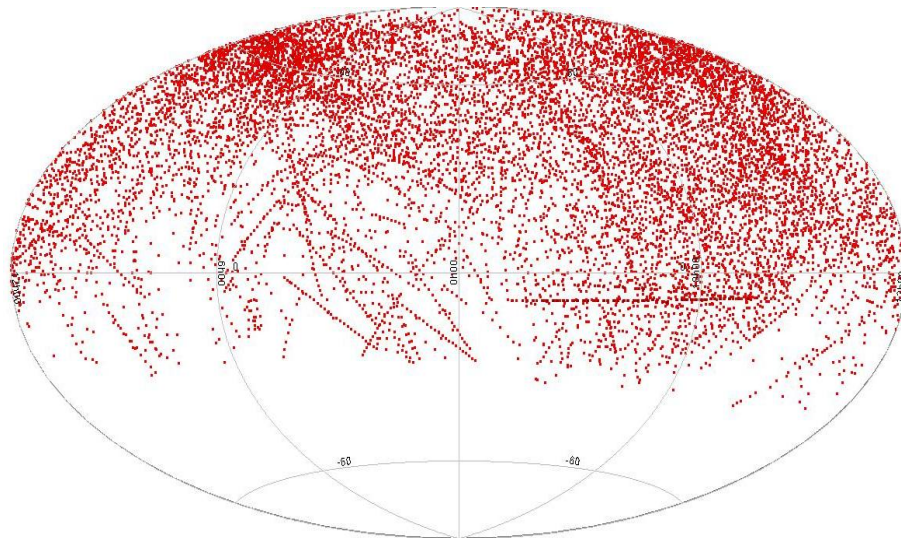


Рисунок 7.5 - Розподіл спостережень на небесній сфері в екваторіальних координатах

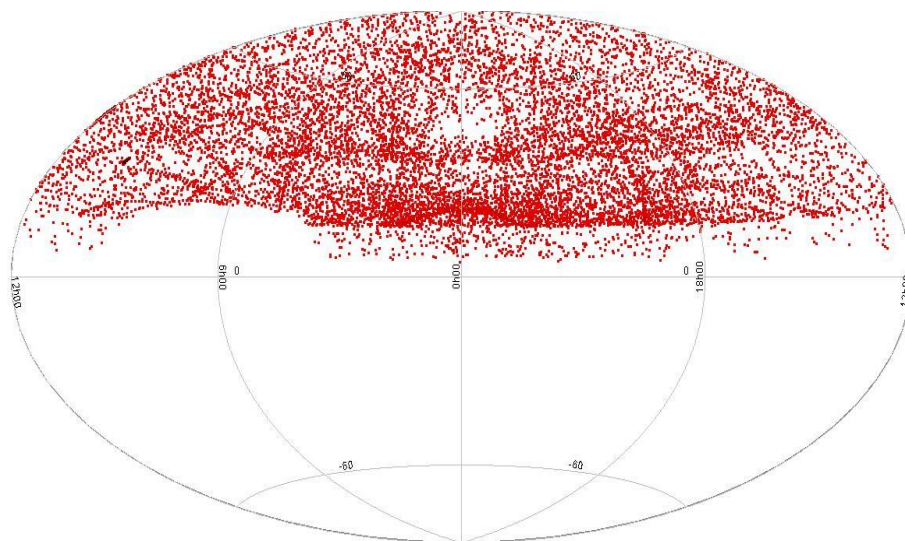


Рисунок 7.6 - Розподіл спостережень на небесній сфері в азимутальних координатах

Для телескопу КІТ станції Київ результати представлені на рис. 7.7 - 7.12, для побудови яких використано 4005 спостережень.

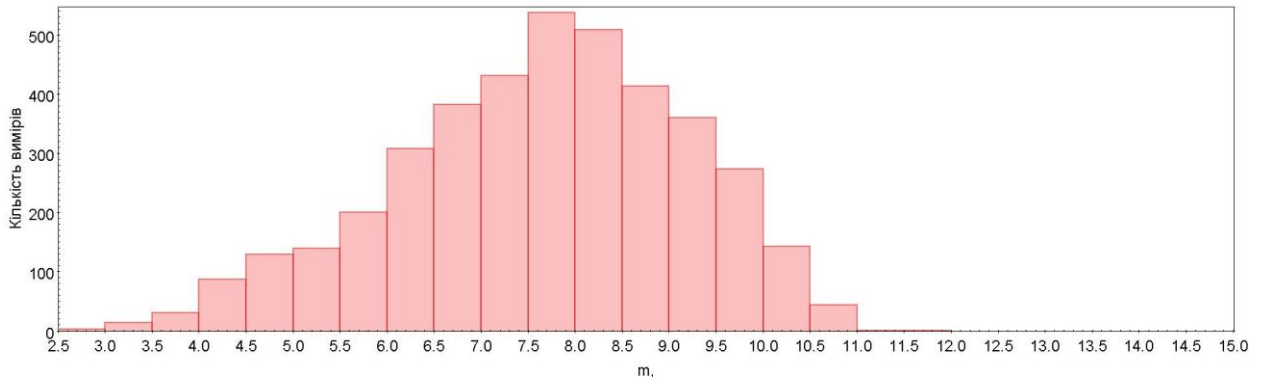


Рисунок 7.7 - Розподіл спостережень по зоряній величині

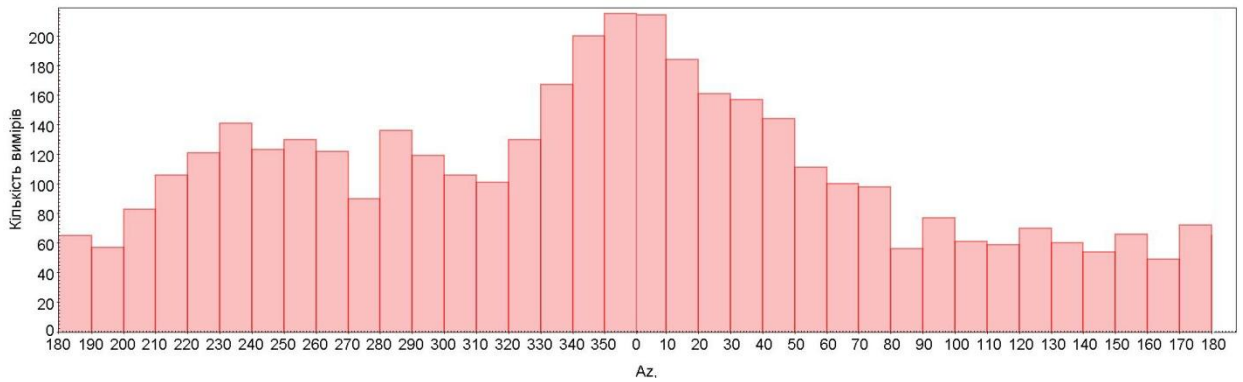


Рисунок 7.8 - Розподіл спостережень по азимуту

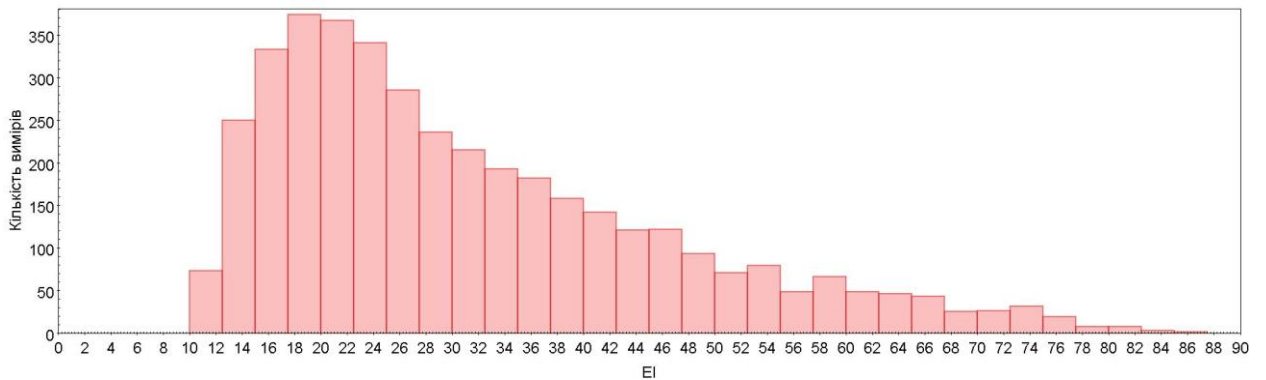


Рисунок 7.9 - Розподіл спостережень по підвищенню

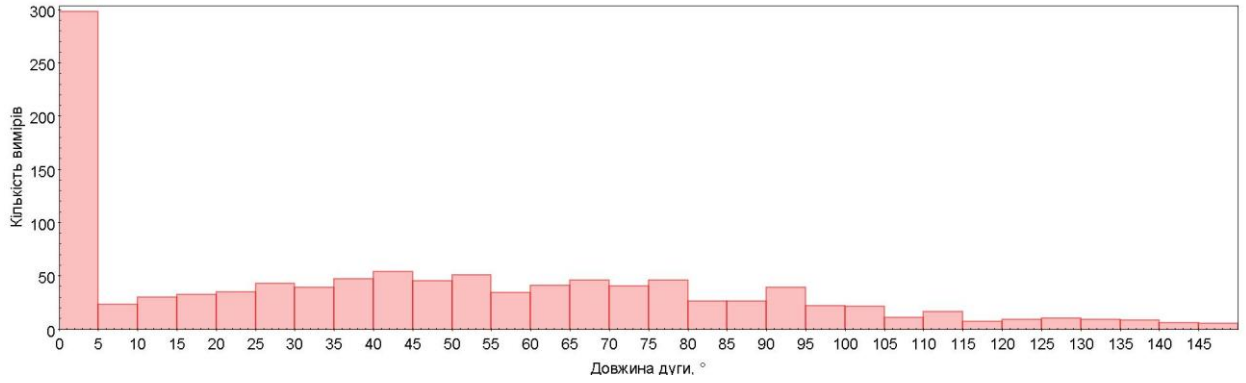


Рисунок 7.10 - Розподіл довжин дуг спостереження

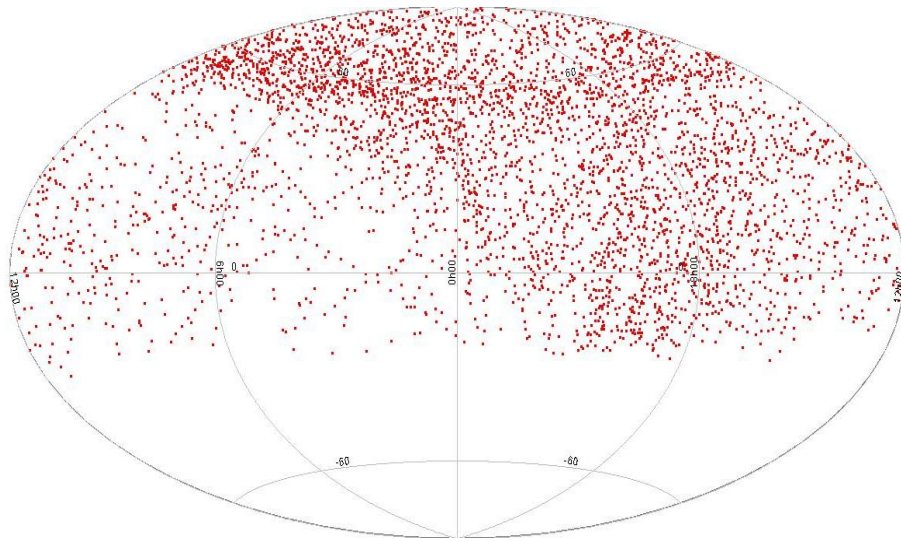


Рисунок 7.11 – Розподіл спостережень на небесній сфері в екваторіальних координатах

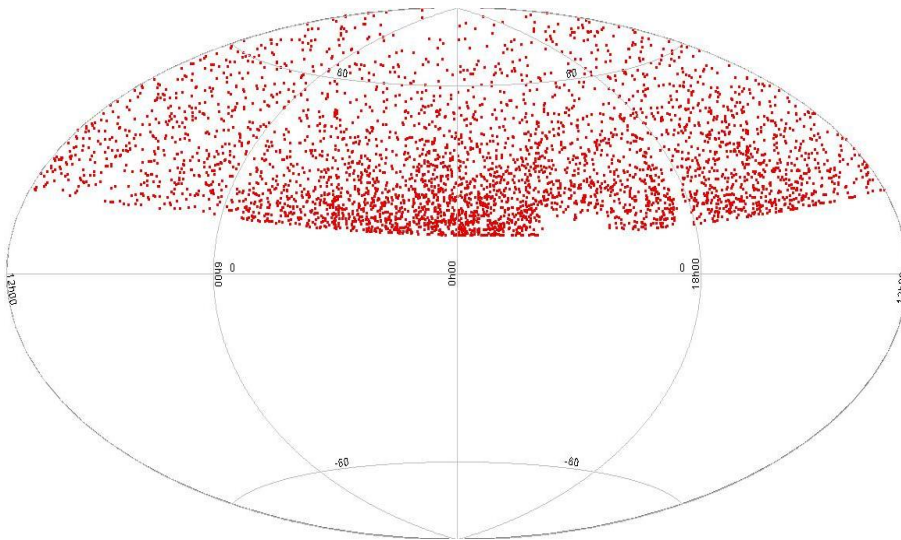


Рисунок 7.12 – Розподіл спостережень на небесній сфері в азимутальних координатах

Для телескопу КТ-50 станції Одеса результати представлені на рис. 7.13 - 7.17, для побудови яких використано 2250985 спостережень.

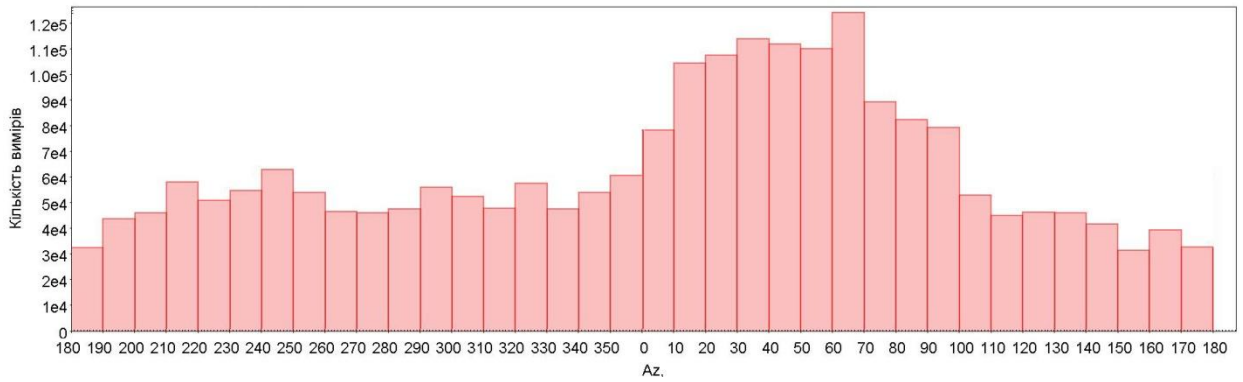


Рисунок 7.13 - Розподіл спостережень по азимуту

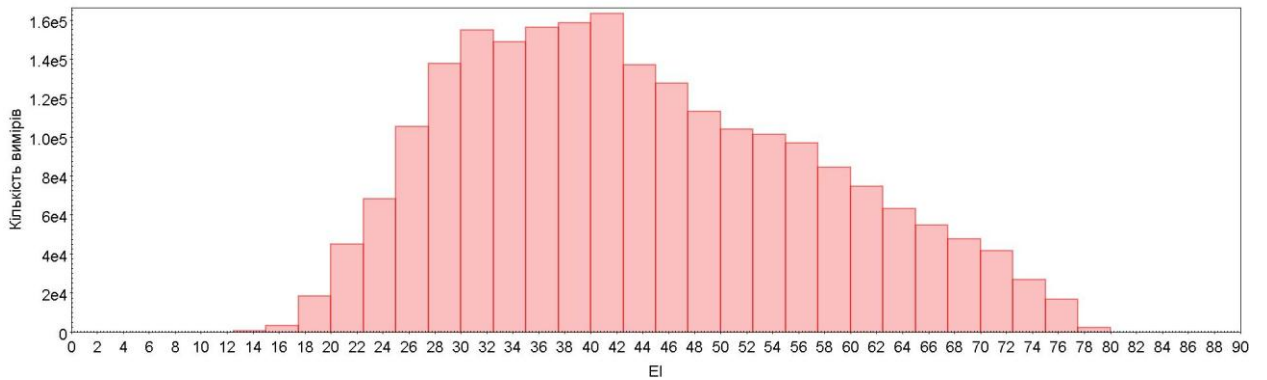


Рисунок 7.14 - Розподіл спостережень по підвищенню

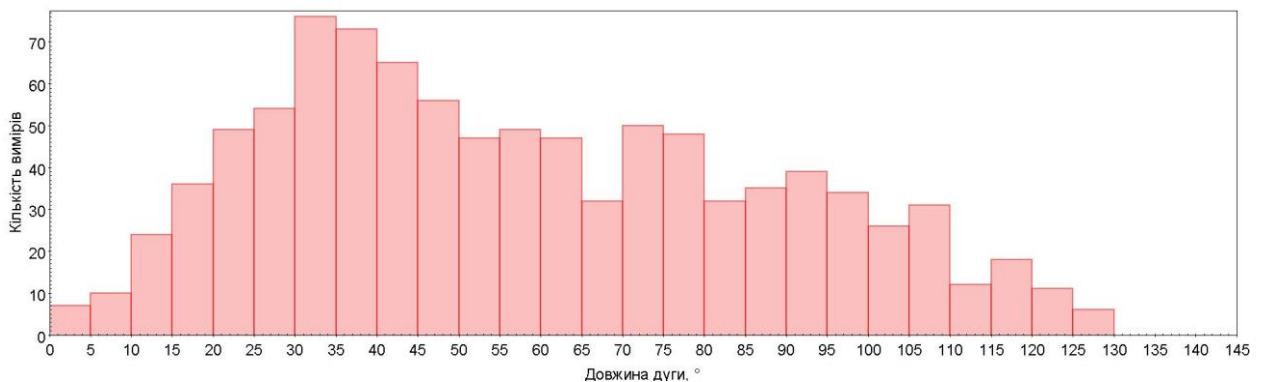


Рисунок 7.15 - Розподіл довжин дуг спостереження

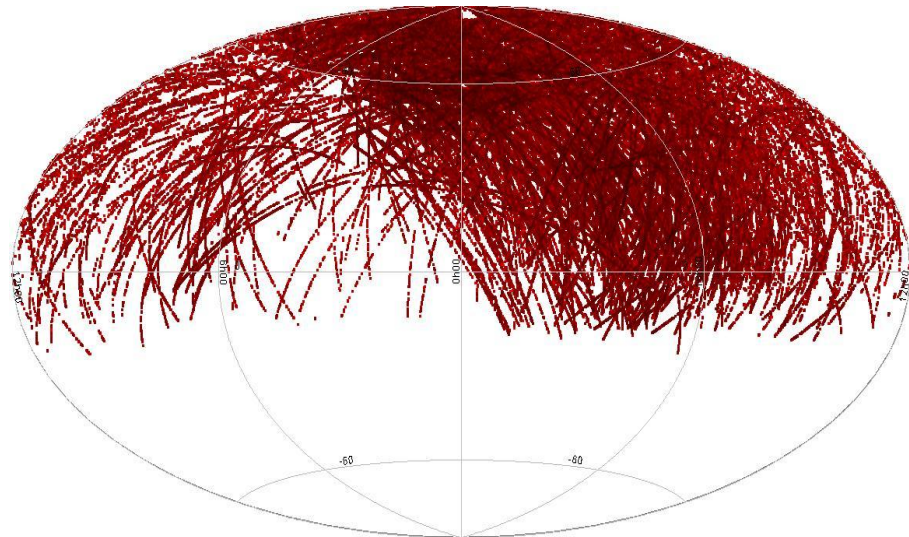


Рисунок 7.16 - Розподіл спостережень на небесній сфері в екваторіальних координатах

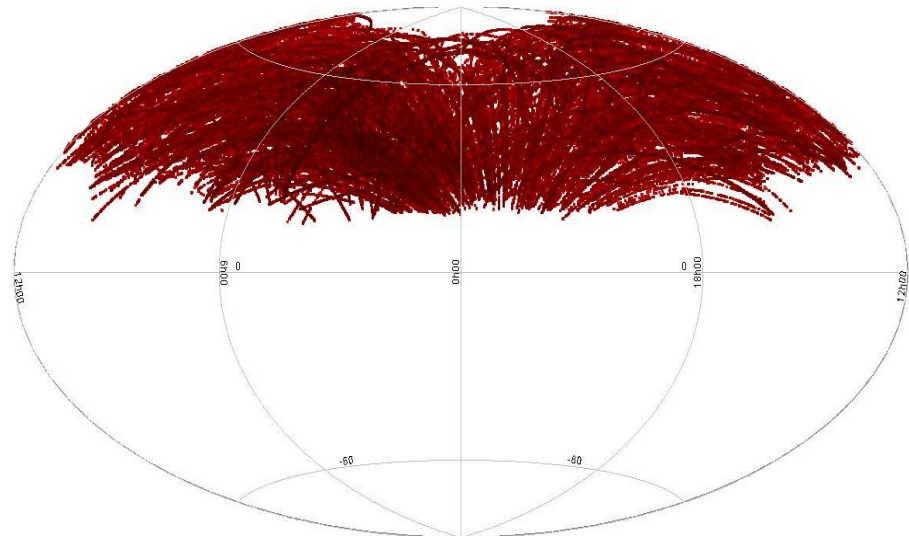
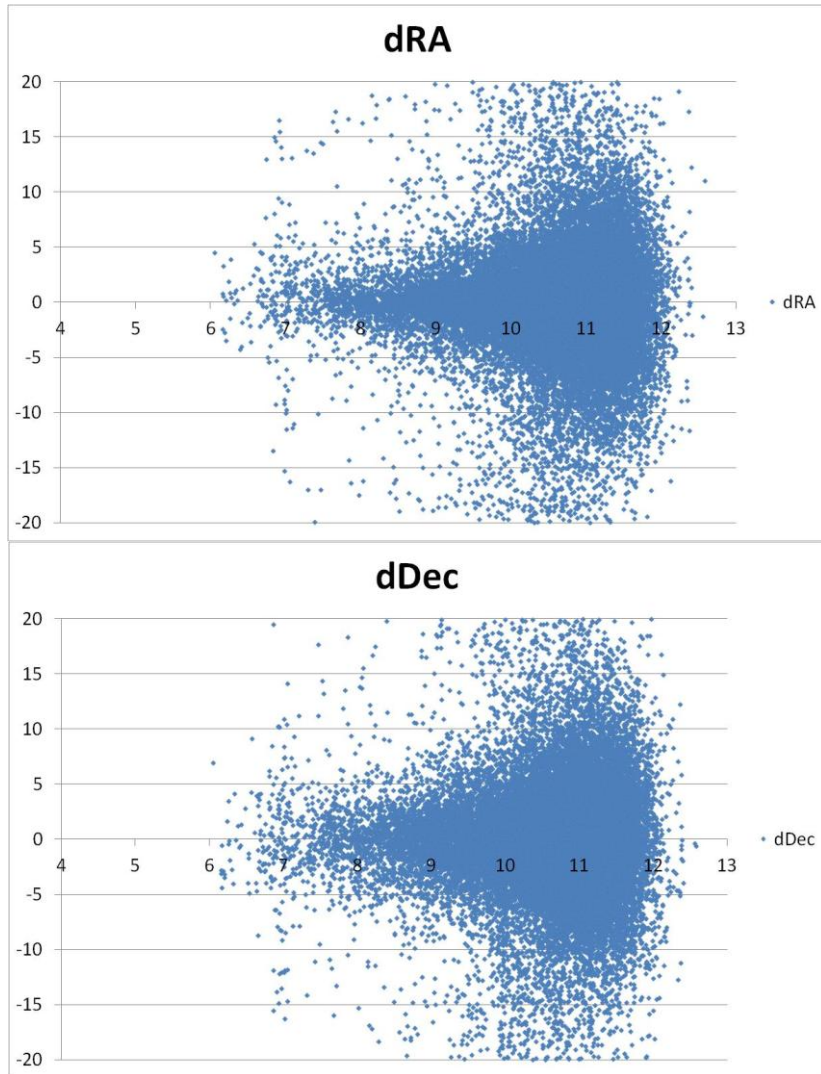


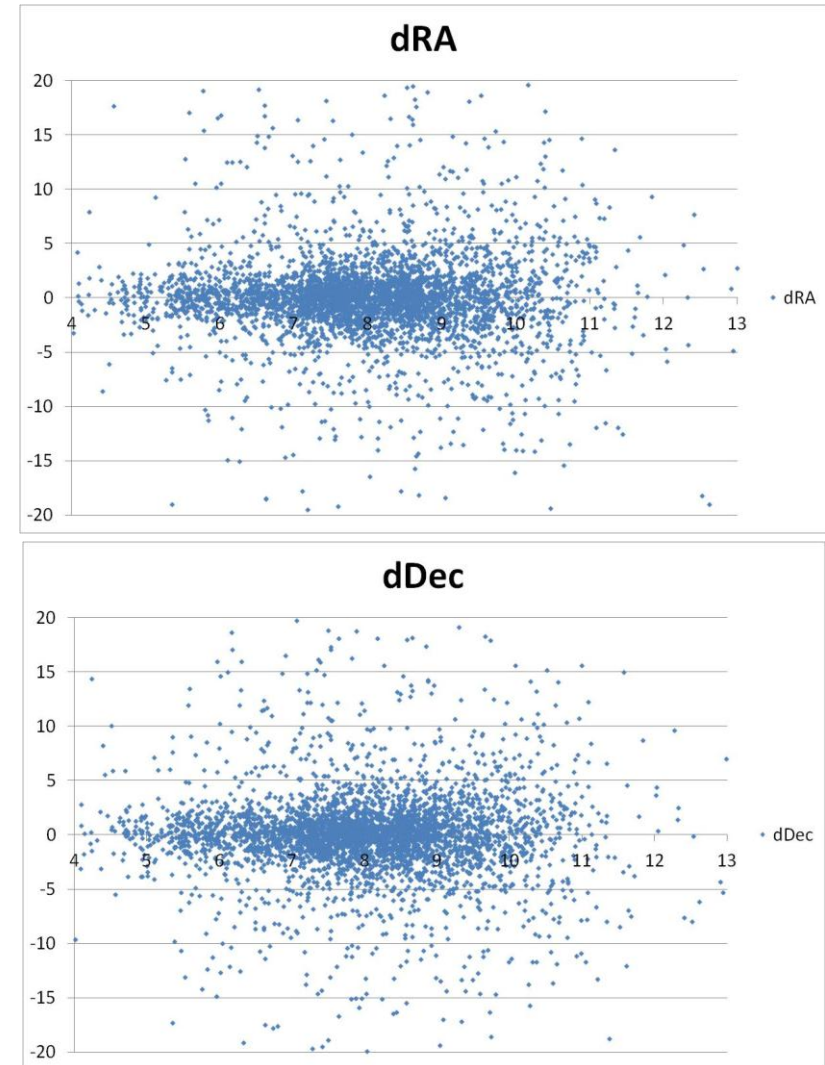
Рисунок 7.17 - Розподіл спостережень на небесній сфері в азимутальних координатах

7.4 Оцінка точності спостережень КО

Оцінка точності спостережень (в випадковому відношення) проводилась відносно кеплерової орбіти. Відхилення для станцій Миколаїв та Київ представлені на рис. 7.18. та рис. 7.19. для КО на низьких орбітах.

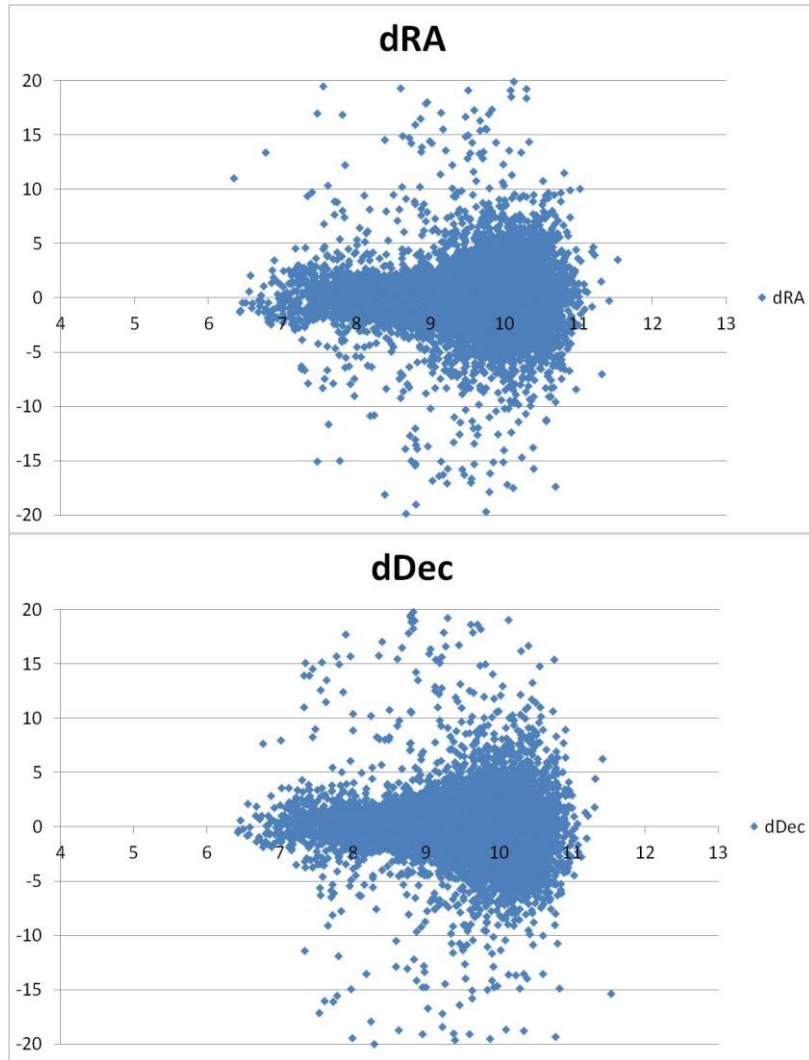


Опорні зорі

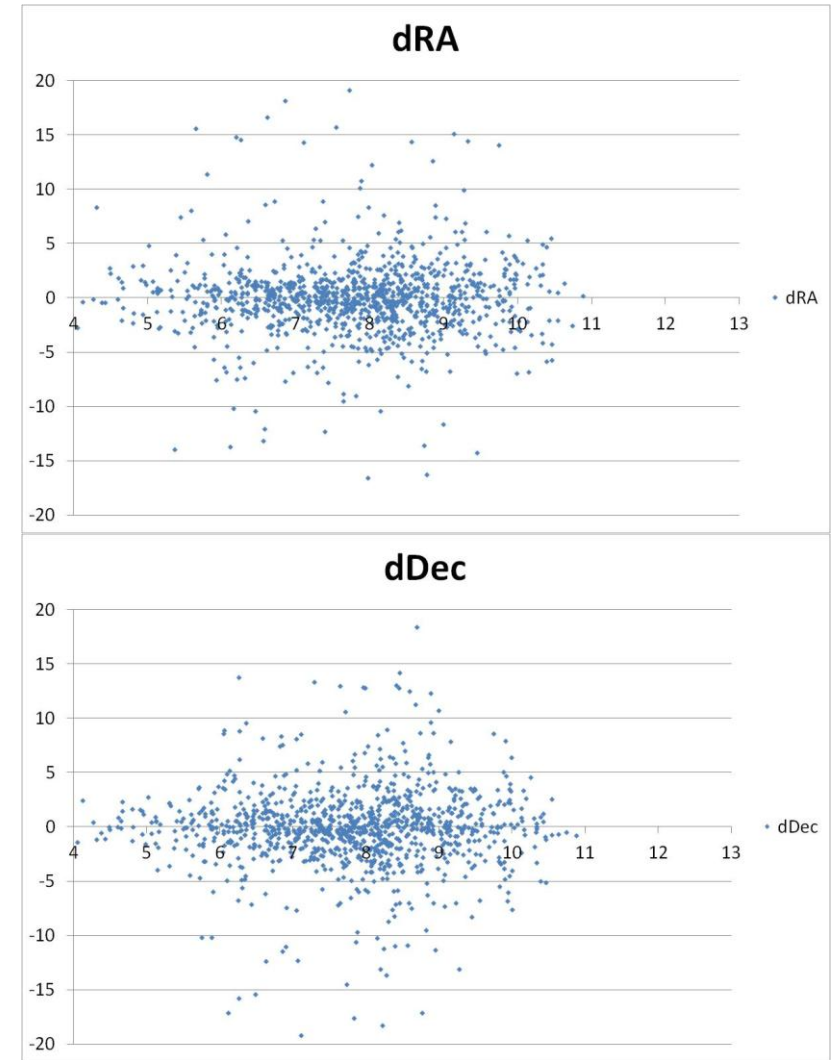


LEO KO

Рисунок 7.18 – (O-C) по α та δ для КО на низьких орбітах для станції Миколаїв.



Опорні зорі



LEO KO

Рисунок 7.19 – (O-C) по α та δ для КО на низьких орбітах для станції Київ.

Відхилення (О - С) по всім станціям (Київ, Миколаїв, Одеса, Ужгород, Львів) представлені на рис 7.20 та рис. 7.21. для КО на геостаціонарних орбітах.

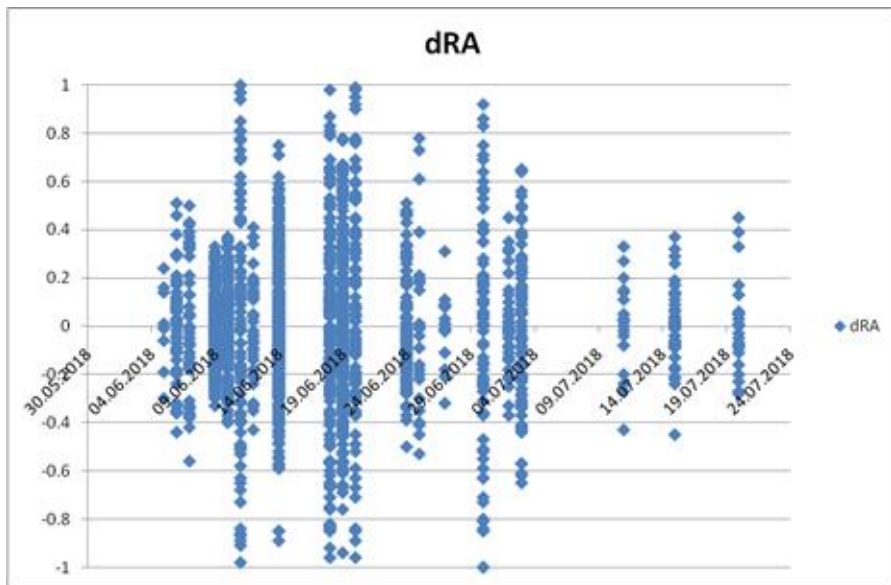


Рисунок 7.20 – (О-С) по прямому піднесенню для КО на геостаціонарних орбітах.

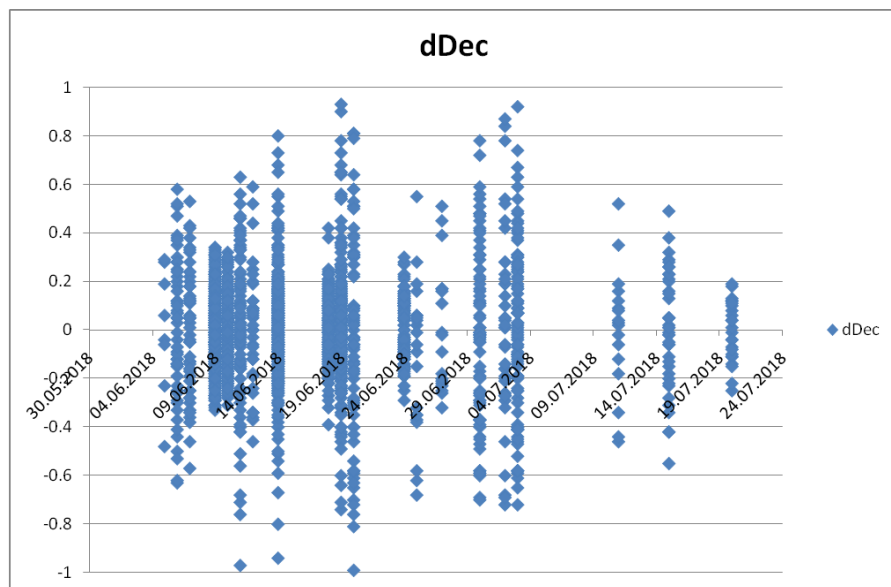
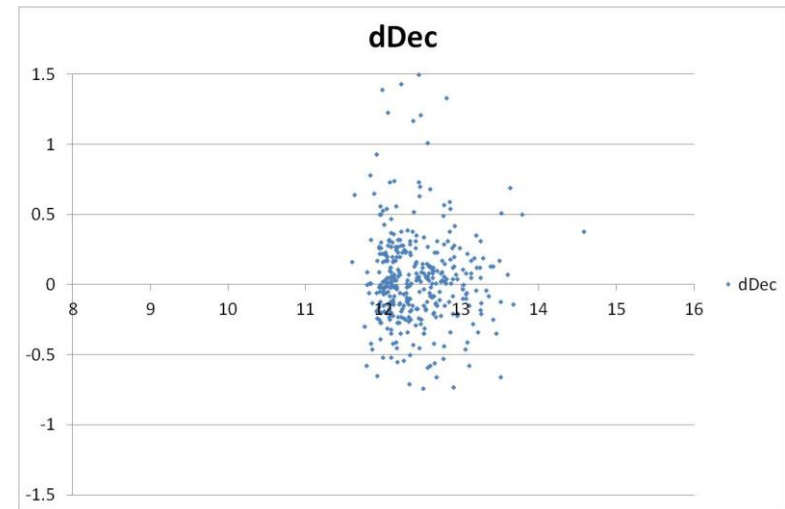
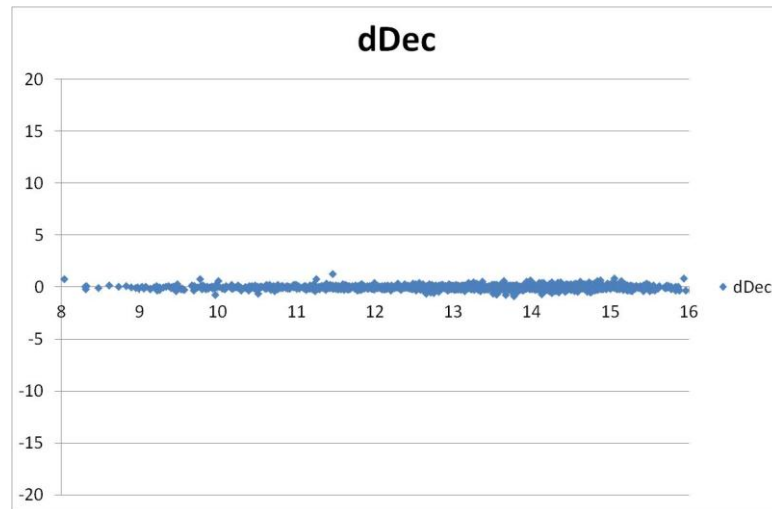
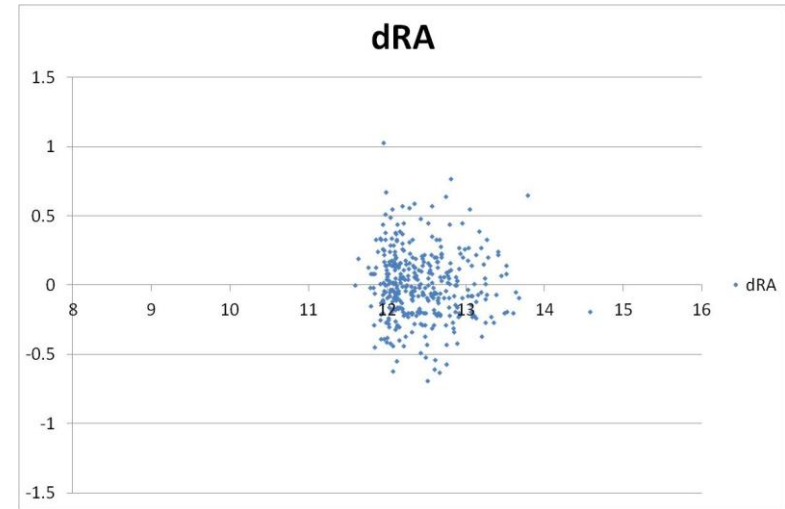
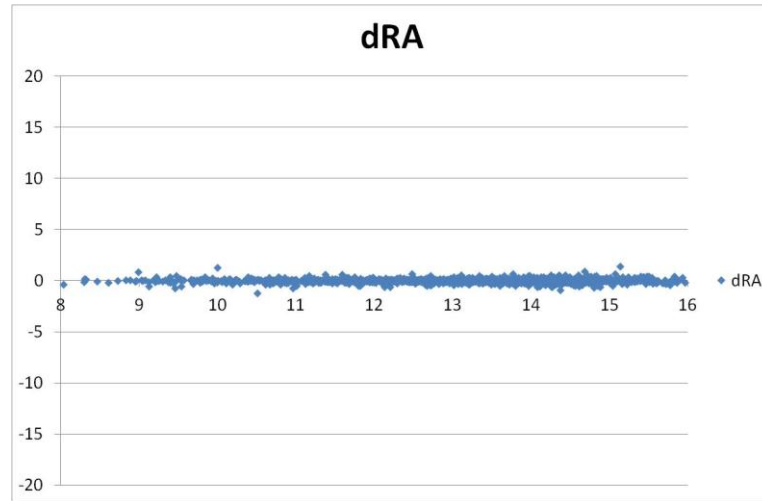


Рисунок 7.21 – (О-С) по схиленню для КО на геостаціонарних орбітах

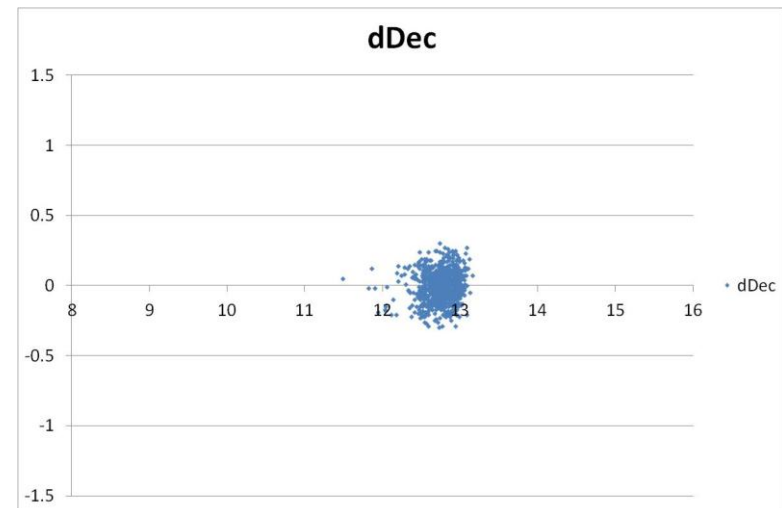
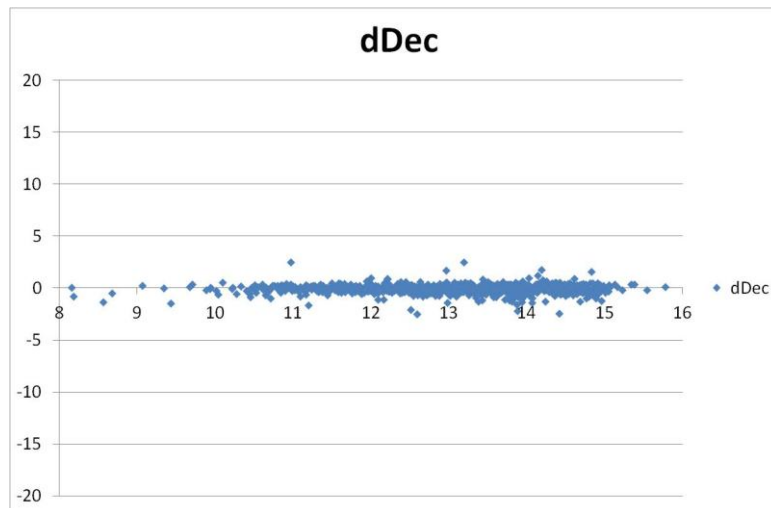
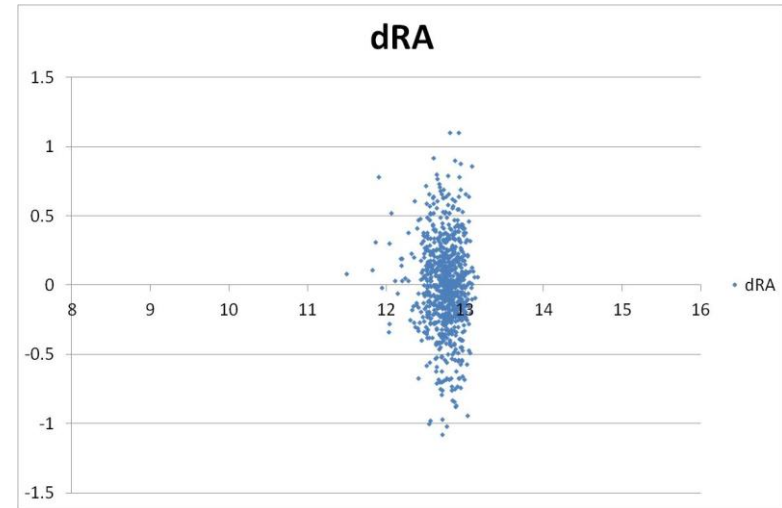
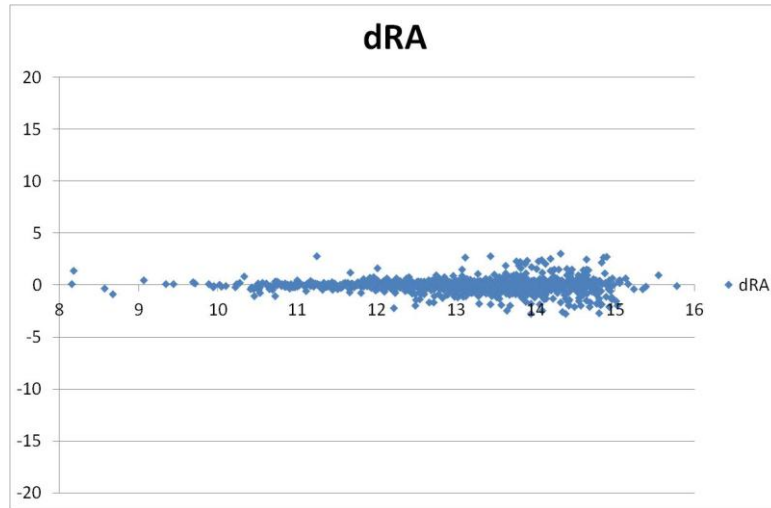
Похибки визначення координат опорних зір та об'єкта 41384 для станцій Миколаїв, Одеса, Ужгород представлені на рисунках 7.22 – 7.24



Відхилення опорних зір

Відхилення КО 41384

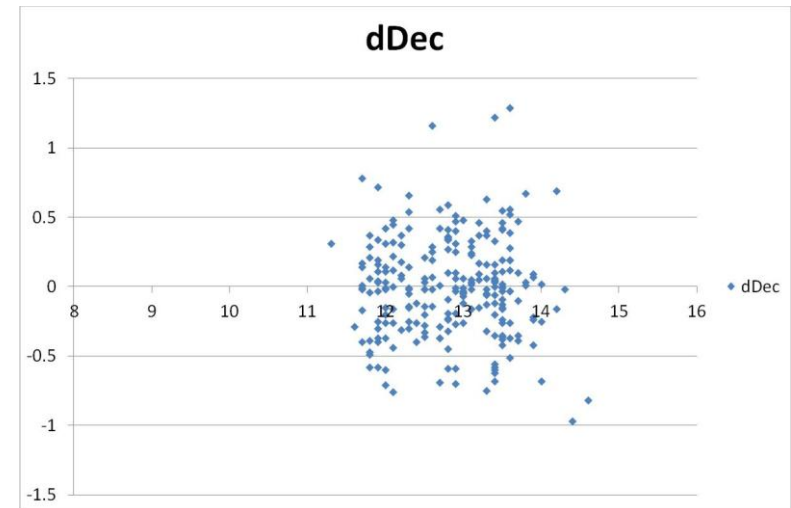
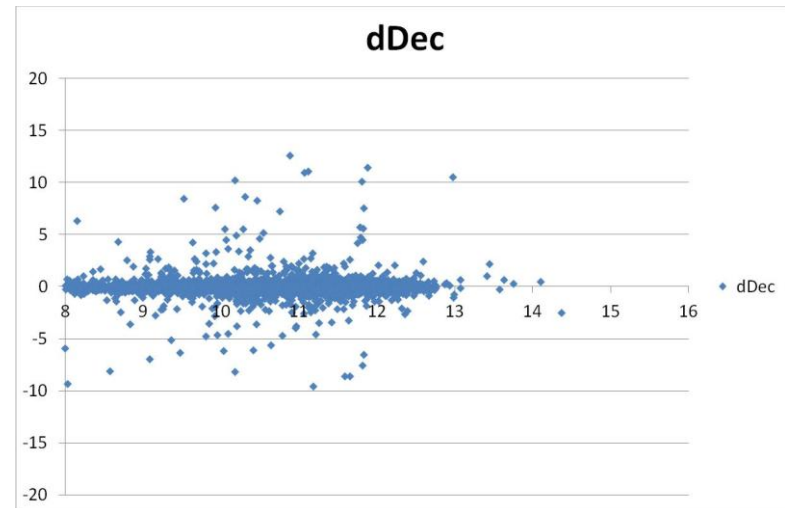
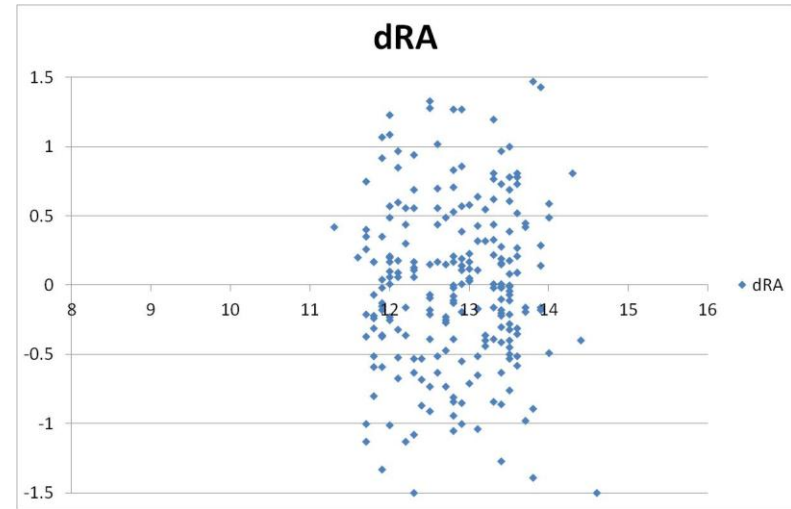
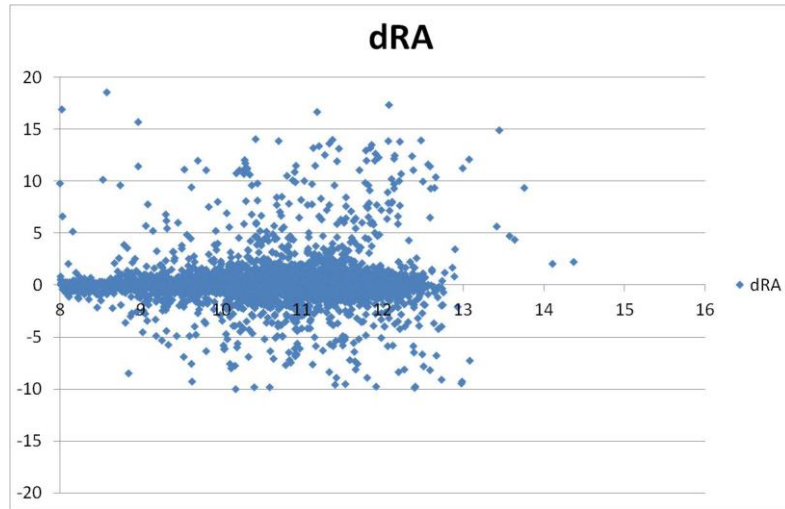
Рисунок 7.21 - Похибки визначення координат КО 41384 по спостереженням в Миколаєві



Відхилення опорних зір

Відхилення КО 41384

Рисунок 7.22 - Похибки визначення КО 41384 по спостереженням в Одесі (Маяки)



Відхилення опорних зір

Відхилення КО 41384

Рисунок 7.23 - Похибки визначення КО 41384 по спостереженням в Ужгороді

8. 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.

Одержані результати розміщені на сайті УМОС (<http://umos.mao.kiev.ua/ukr/index.php?slab=slabid-12>).

Висновки

Об'єм робіт по договору виконано в повному об'ємі, а саме:

- формування обраних списків КО з урахуванням мети спостережень, видимості об'єктів, технічних можливостей станцій,
- регулярні спостереження обраного списку КО на різних висотах орбіти (LEO, GEO),
- формування каталогу положень КО на FTP сервері,
- представлення розрахованих елементів орбіти в форматі TLE та CPF на сайті УМОС: 403 елементів орбіти для 123 об'єктів.