

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

_____ О.В. Шульга

23.11.2017 р.

Звіт про виконання наукової роботи

"Підтримка та наповнення каталогу об'єктів на навколосемних орбітах"

(Заключний)

Керівник НДР:

Доктор фіз.-мат. наук

_____ О.В. Шульга

23.11.2017 р.

Затверджено на засіданні Вченої ради НДІ «МАО» 23.11.2017 р

2017 р.

Список авторів

Керівник робіт:

Доктор фіз.-мат. наук

_____ Шульга О.В.

Виконавці:

Старший науковий співробітник _____ Кошкін М.І. (НДІ АО ОНУ)

Інженер-дослідник _____ Калюжний М.П. (НДІ «МАО»)

Інженер-дослідник _____ Куліченко М.О. (НДІ «МАО»)

Інженер-дослідник _____ Крючковській В.Ф.(НДІ «МАО»)

Інженер-дослідник _____ Мажаєв О.Е. (НДІ «МАО»)

Інженер-дослідник _____ Вірун Н.В. (АО ЛНУ)

Інженер-дослідник _____ Мартинюк-Лотоцький К.А. (АО ЛНУ)

Інженер-дослідник _____ Шакур Л.С. (НДІ АО ОНУ)

Реферат

Звіт про виконання наукової роботи «Підтримка та наповнення каталогу об'єктів на навколоземних орбітах» 42 сторінок, 8 таблиць, 43 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 сервера) 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 липень – вересень 2017 року отримано спостереження 340 КО на LEO орбітах, 8 КО на MEO орбітах.

Результати спостережень для кожної станції УМОС доступні на FTP-сервері мережі, а розраховані елементи орбіти 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	10
3. Режими роботи обладнання та методи позиційних спостережень КО.....	10
4. Координація позиційних спостережень КО	13
5. Мета та план робіт УМОС.....	14
6. Роботи виконані на першому етапі	16
6.1. Формування обраних списків КО.....	16
6.2. Статистика спостережень.....	19
6.3. Умови спостережень	21
7. Оцінка точності вимірювання координат на різних пунктах спостережень	29
7.1. Підбор об'єктів для спостережень мережею УМОС та для аналізу	29
7.2. Аналіз випадкових та систематичних похибок астрометричних спостережень окремих телескопів	30
Висновки	42

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

НЗКП	навколоземний космічний простір
КО	космічний об'єкт
КС	космічне сміття
NASA	Національне управління з авіації і дослідження космічного простору США
СККП	Система контролю космічного простору
СКАКО	Система контролю та аналізу космічної обстановки
УМОС	Українська мережа оптичних станцій
НДІ	Науково-дослідний інститут
МОНУ	Міністерство освіти і науки України
ДКАУ	Державне космічне агентство України
НКЗ	накопичення кадрів зі зсувом
СПЗ	синхронний перенос заряду
ВСПЗ	вкорочений синхронний перенос заряду
ПЗЗ	прилад із зарядовим зв'язком
ЕПВ	ефективна площа відбиття радіохвиль
LEO	Low Earth Orbit
GSO	Geo Sincroniouse Orbit
MEO	Midle Earth Orbit
SSO	Geo Sincroniouse Orbit
HEO	High Elliptical Orbit

Вступ

Активне використання НЗКП призвело до істотного збільшення кількості космічних об'єктів штучного походження, і особливо космічного сміття на навколоземних орбітах. За станом на липень 2015 року, згідно даних відділу NASA з спостережень штучних космічних об'єктів, в НЗКП налічувалося 16 815 об'єктів, що супроводжуються.

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;
- дослідження форми та періоду обертання окремих КО;
- спостереження КО при виникненні нештатних ситуацій.

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 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 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» МОН України
- у подальшому Миколаїв.
3. НДІ «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету МОН України
- у подальшому Одеса.
4. Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету МОН України
- у подальшому Львів.
5. Лабораторія космічних досліджень Ужгородського національного університету МОН України
- у подальшому Ужгород.
Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля НЦУВКЗ ДКА України-
- у подальшому Дунаєвці.
6. Національний центр управління та випробування космічних засобів ДКА України
- У подальшому Євпаторія .
7. Донецький державний технічний університет ДМЦ "Оріон" м. Алчевськ
- у подальшому Алчевськ.

З 2014 року станція Євпаторія знаходиться на анексованій території, а станція Алчевськ знаходиться на окупованій території.

В 2017 році в спостереженнях приймають участь станції: Київ, Миколаїв, Одеса, Львів. Організації - учасники мережі мають у своєму розпорядженні

різноманітні телескопи та навісне обладнання, що може бути застосовано для позиційних спостережень КО. В період червень - серпень 2017 року спостереження проводились станціями УМОС на телескопах, які представлені в таблиці 1.1..

Таблиця 1.1.

Обладнання станцій учасників УМОС, яке використовувалось для спостережень КО в червні – серпні 2017 року

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	CELESTRON (satellite telescope)	85/56	WAT-902H2 752×582, 8.6×8.3 мкм	4.3 × 3.2	Інтегр.	GPS Resolution T ±40 нс	30,52417	50,29806	156
Миколаїв	МОБІТЕЛ «КТ-50»	2970/500	Alta U9000 3056×3056, 12×12 мкм	0.7 × 0.7	R	GPS Resolution T ±40 нс	31.973623	46.971147	77
	МОБІТЕЛ «МЕЗОН»	773/230	Alta U9000 3056×3056, 12×12 мкм	2.7 × 2.7	R	GPS Resolution T ±40 нс	31.973577	46.971147	77
	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	46.971147	77
Одеса	КТ-50	2000/500	WAT-902H2 752×582, 8.6×8.3 мкм	0.18×0.14	Інтегр.	GPS Resolution T ±5 нс	30.755640	46.47778	56
Львів	ТІЛ (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	49.917540	365

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 – LEO (апогей/перигей 400 км – 2500 км);
- середні – MEO (апогей/перигей 2500 км – 36000 км);
- геосинхронні – GSO (апогей/перигей ~ 36000 км);
- геоперехідні – GTO (апогей ~ 36000 км, перигей < 30000 км);
- полусинхронні – SSO (апогей/перигей ~ 20000 км);
- високоеліптичні – НЕО (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. Комбінований метод 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 2.

Таблиця 1.2.

Основні характеристики телескопів станцій УМОС
для проведення спостережень КО

№ з/п	Станція УМОС	Назва телескопа	Метод спостереження	Типи орбіт КО
1.	Миколаїв	МОБІТЕЛ «КТ-50»*	Комбінований + ВСПЗ	LEO, MEO GEO
2.	Миколаїв	МОБІТЕЛ «МЕЗОН»*	Комбінований + ВСПЗ	LEO, MEO GEO
3.	Миколаїв	МОБІТЕЛ «ТВТ»*	Комбінований + ВСПЗ	LEO
4.	Одеса	КТ-50	Диференційний + механічний супровід	LEO
5.	Київ	CELESTRON (satellite telescope)	Комбінований + ВСПЗ	LEO
6.	Львів	ТПЛ (гід)	Комбінований + ВСПЗ	LEO

* - повністю автоматичний процес спостереження.

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), що створений та керується в Астрономічній обсерваторії Львівського національного

університету. Обробка масиву спостережень здійснюється в Миколаївській обсерваторії.

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 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;

- Розрахунок елементів орбіт в форматі векторів стану (для окремого списку тестових КО мережі ILRS) на базі отриманих положень проводиться в НДІ АО ОНУ (м. Одеса) з використанням чисельної моделі руху КО та нової програми OrbEstLab (Orbit Estimation Laboratory). Результати прогнозування руху оформлюються у стандартному міжнародному форматі CPF та розміщуються на робочому FTP сервері УМОС;
- Оцінка точності одного вимірювань координат (тільки для тестових КО) розрахована програмою OrbEstLab відносно апроксимуючої чисельної орбіти проводиться як для кожної станції УМОС окремо, так і для декількох пунктів одночасно. Проводиться оцінка можливості програми OrbEstLab для побудови середньострокового прогнозу руху супутника з використанням реальних вимірювань на станціях УМОС.

Розвиток інтернет-ресурсів УМОС:

- Підтримка внутрішнього FTP сервера для координації спостережень КО та аналізу їх результатів;
- Оновлення загальної інформації про станції-учасники;
- Регулярне оновлення поточної версії каталогу елементів орбіт та ефемерид;
- Розробка структури даних для другої версії каталогу елементів орбіт та ефемерид;
- Розробка структури даних для першої версії фотометричного каталогу.

6. Роботи виконані на першому етапі

6.1 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, АО ЛНУ. 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.

Списки КО які спостерігались представлені в таблицях 6.1. - 6.3.

Таблиця 6.1.

Низькоорбітальні КО з високоточними чисельними ефемеридами

NORAD	Int'i Code	Period(min)	Apodee(km)	Perigee(km)	Inclination	RCS(m2)	massa(kg)	name	Country
16908	1986-061A	115.7	1503.7	1485.9	50.0	3.9811	685	EGS (AJISAI)	Japan
26997	2001-055A	112.2	1338.5	1326.7	66.0	3.3256	500	JASON	NASA-CNES
27386	2002-009A	100.1	773.4	771.8	98.2	19.4975	8211	ENVISAT	ESA
28809	2005-031A	96.0	586.1	563.7	98.0	1.711	570	OICETS	Japan
33105	2008-032A	111.8	1324.2	1311.9	66.0	2.972	553	JASON 2	France
39451	2013-067A	94.7	511.6	508.1	87.8	??	450	SWARM B	ESA

Таблиця 6.2.

Низькоорбітальні КО з ефемеридами на основі SGP4/SDP4 теорії

NORAD	Int'i Code	Period(min)	Apodee(km)	Perigee(km)	Inclination	RCS(m2)	massa(kg)	name	Country
1328	1965-032A	107.6	1308.1	935.6	41.2	2.2651	60	Explorer 27 (BE C)	USA,
7646	1975-010A	104.2	1113.7	812.0	49.8	0.168	47	Starlette (BETA)	France,
22195	1992-070B	222.5	5957.8	5624.0	52.6	0.3981	405	LAGEOS 2	USA,
41240	2016-002A	112.4	1351.0	1338.7	66.0	?	553	Jason 3	USA, France,
38077	2012-006A	114.7	1459.6	1442.6	69.5	0.0386	400?	LARES	Italy,
39068	2013-003A	94.9	762.3	280.1	80.2	0.7441	<100	STSAT 2C	South Korea
39451	2013-067A	94.7	511.6	508.0	87.8	?	468	Swarm A	Europe,
39452	2013-067B	93.4	448.9	444.0	87.4	?	468	Swarm B	Europe,
39453	2013-067C	94.7	448.9	444.0	87.4	?	468	Swarm C	Europe,
27391	2002-012A	91.1	340.0	330.9	89.0	0.651	432	GRACE 1	USA, Germany,
27392	2002-012B	91.1	340.0	330.9	89.0	0.6087	432	GRACE 2	USA, Germany,
36508	2010-013A	99.2	731.9	719.4	92.0	2.9703	750	CryoSat 2	Europe,
31698	2007-026A	94.8	516.9	514.2	94.8	2.424	1250	TerraSAR-X (TSX)	Germany,
36605	2010-030A	94.8	516.4	514.6	97.4	2.5155	1250	TanDEM-X	Germany,
39227	2013-042A	95.7	560.5	559.7	97.6	?	1400	KOMPSat 5	South Korea,
40903	2015-049E	93.6	467.6	445.1	97.4	?	25	XW 2A	China,
22824	1993-061B	100.9	811.5	803.8	98.8	0.167	48	Stella	France,
27944	2003-042F	98.4	699.8	680.4	98.0	0.1347	21?	Larets	Russia,
39086	2013-009A	100.6	793.8	790.5	98.5	2.167	346	SARAL	India, France
41335	2016-011A	100.9	810.5	809.0	98.6	?	1200	Sentinel 3A	Europe,
37781	2011-043A	104.4	976.2	975.0	99.3	5.2193	?	HY 2A	China,
8820	1976-039A	225.5	5954.9	5845.5	109.8	0.3981	411	LAGEOS 1	USA, Italy,

Таблиця 6.3.

КО на середніх висотах з високоточними чисельними ефемеридами

NORAD	Int'I Code	Period (min)	Apogee (km)	Pergee (km)	Inclination (o)	RCS (m2)	mass (kg)	name	Country
21006	1990-110A	675.7	19351.3	18922.8	64.1	2.3979	1415	COSMOS 2109	USSR
21008	1990-110C	675.7	19176.2	19098.4	64.1	1.5549	1415	COSMOS 2111	USSR
21216	1991-025A	675.7	19172.3	19101.2	64.7	1.339	1415	COSMOS 2139	USSR
22056	1992-047A	675.7	19159.4	19113.9	64.5	3.3237	1415	COSMOS 2206	USSR
22057	1992-047B	675.7	19161.4	19112.4	64.5	2.4308	1415	COSMOS 2204	USSR
23204	1994-050B	675.7	19158.0	19116.1	66.2	3.5668	1415	COSMOS 2289	USSR
27618	2002-060B	675.7	19166.7	19107.6	65.4	3.981	1415	COSMOS 2396	USSR
27619	2002-060C	675.7	19160.1	19113.6	65.4	3.9811	1415	COSMOS 2395	USSR
28510	2004-053C	675.7	19158.9	19114.9	63.1	3.9811	1415	COSMOS 2412	USSR
33378	2008-046A	675.7	19190.3	19082.4	65.4	3.9811	1415	COSMOS 2442	USSR

6.2 Статистика спостережень

Спостерігати низькоорбітальні КО мають можливість усі учасники УМОС, що приймають участь у координатних спостереженнях, кількість спостережень, отриманих на першому етапі, дивись у таблиці 6.1..

Таблиця 6.1.

Статистика спостережень низькоорбітальних
за червень - вересень 2017 року.

Станція УМОС	Ночі	Об'єкти	Проводки	Вимірів	Тривалість (хв)
Київ	19	84	584	2332	1166
Миколаїв	20	119	849	7284	486
Одеса	28	89	452	23500	392
Львів	11	48	132	1147	96
Всього					2140

КО на середніх висотах спостерігались тільки у Миколаєві, кількість спостережень, отриманих на першому етапі див. табл. 6.2 .

Таблиця 6.2.

Статистика спостережень КО на середніх висотах
за червень – вересень 2017 року

Станція УМОС	Ночі	Об'єкти	Проводки	Тривалість (хв)
Миколаїв	4	8	18	36

В таблиці 6.3. наведений календар активності станцій (за наявністю результатів спостережень на FTP сервері УМОС)

Таблиця 6.3.

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

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1						NLO		NO	L			
2						N	K	NO	K			
3												
4							N1KO					
5							N1NKO					
6						NO	K					
7						O	N1NKO	O	N			
8								O	L			
9							L	LO				
10							NO	K	K			
11							N1NO		KO			
12								K	O			
13									O			
14							N		NO			
15								L	NO			
16								K				
17							O					
18							KLO					
19						KO	KO	K				
20						NO	NO	K				
21						K	N					
22												
23												
24							L	L				
25												
26						N	O					
27						K						
28						K						
29						N		O				
30						O	N	L				
31							NO	L				

Позначення: К – Київ, N – Миколаїв (ТВТ), N1 – Миколаїв (Мезон), O – Одеса, L – Львів

6.3 Умови спостережень

Проведена оцінка умов спостережень яка дає уявлення про 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. 6.1. - 6.6., для побудови яких використано 7284 спостережень.

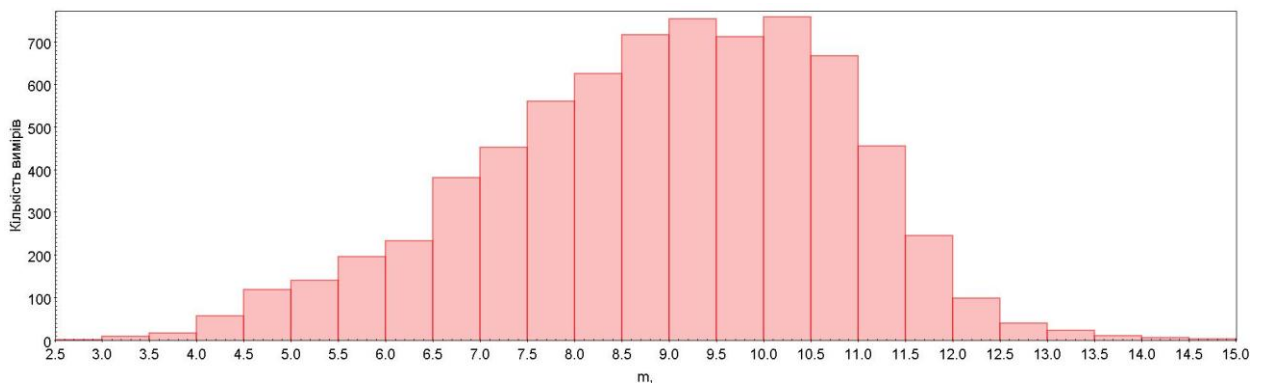


Рис 6.1. Розподіл спостережень по зоряній величині

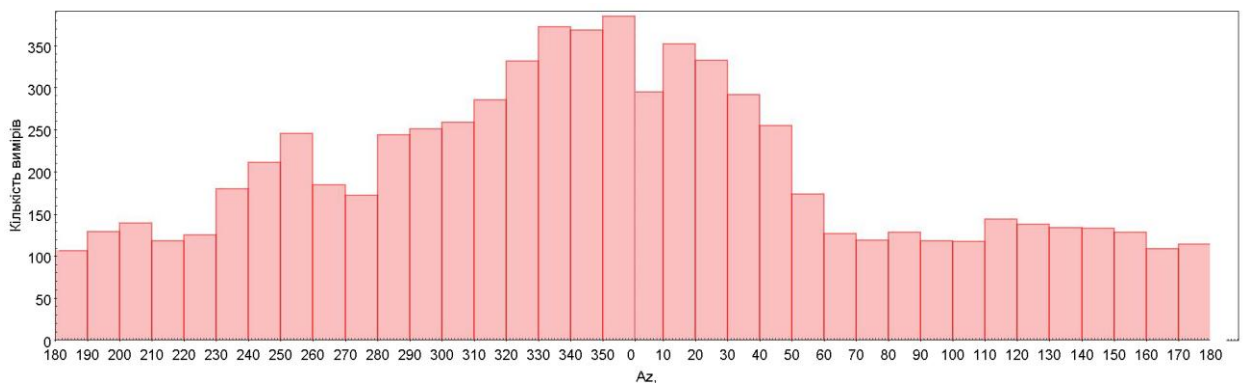


Рис 6.2. Розподіл спостережень по азимуту

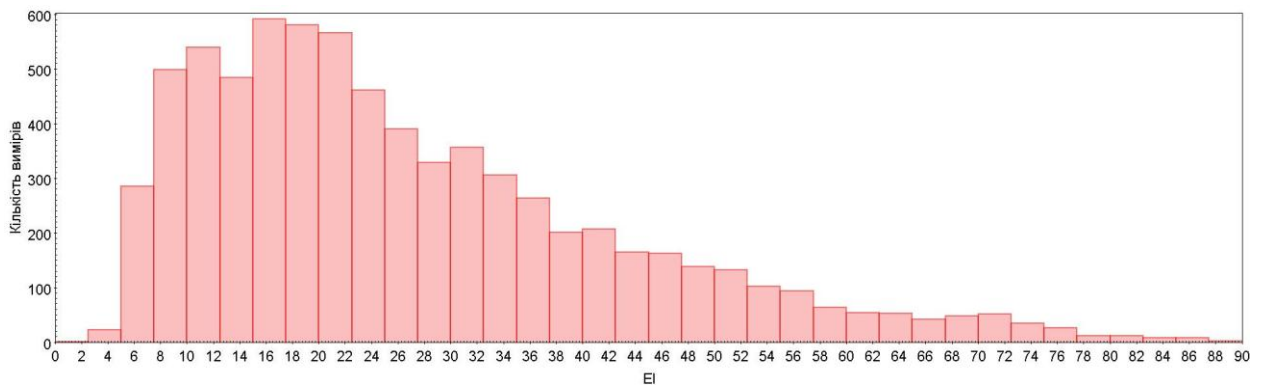


Рис 6.3. Розподіл спостережень по куту місяця

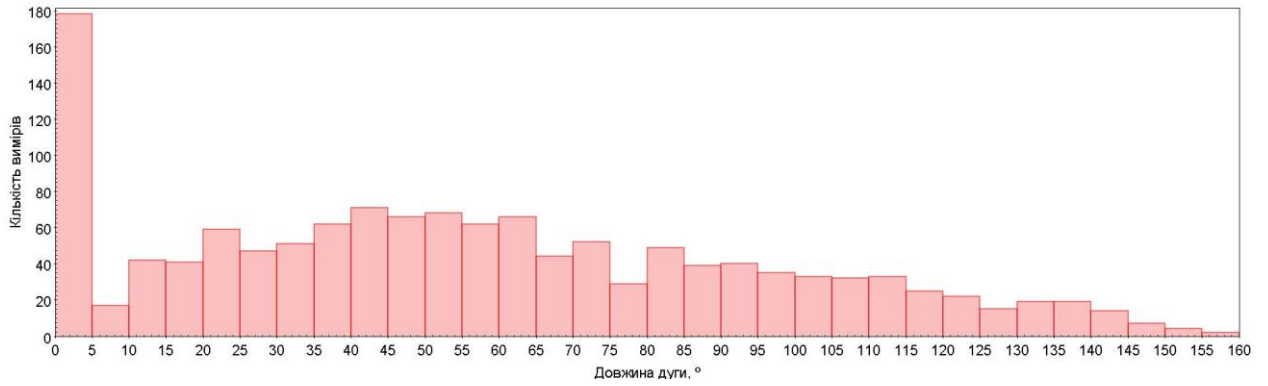


Рис 6.4. Розподіл довжин дуг спостереження

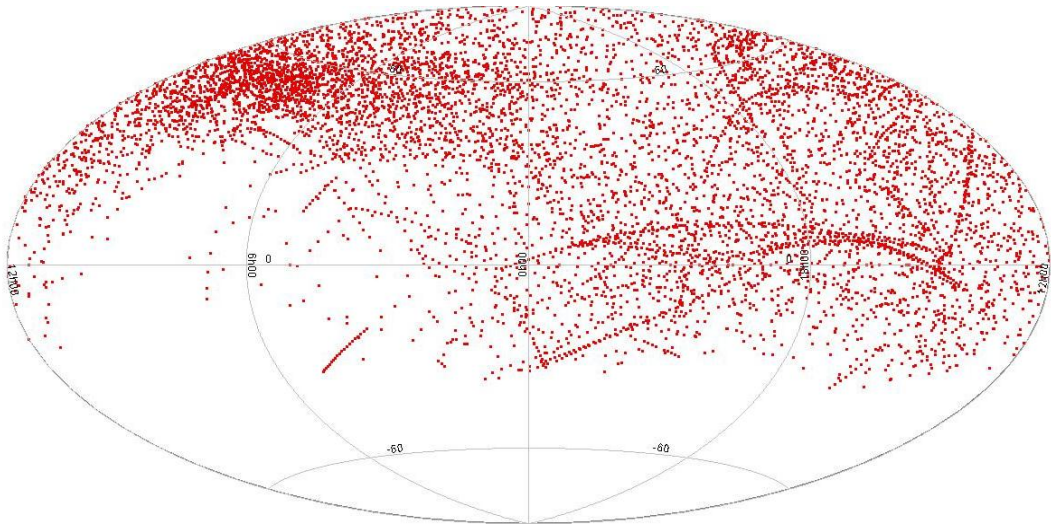


Рис 6.5. Розподіл точок спостереження супутників на небесній сфері в екваторіальних координатах

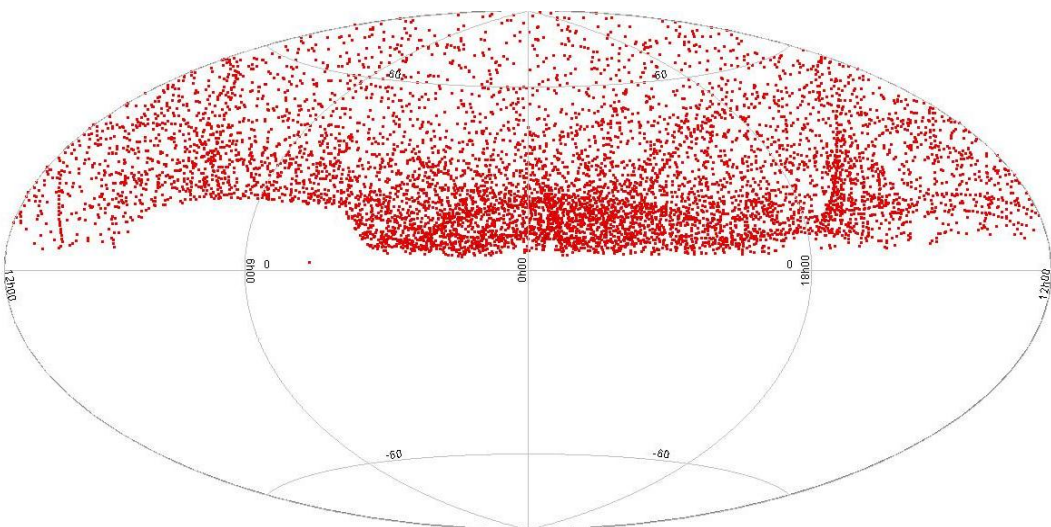


Рис 6.6. Розподіл точок спостереження супутників на небесній сфері в азимутальних координатах.

Для телескопу CELESTRON станції Київ результати представлені на рис. 6.7. - 6.12., для побудови яких використано 2332 спостережень.

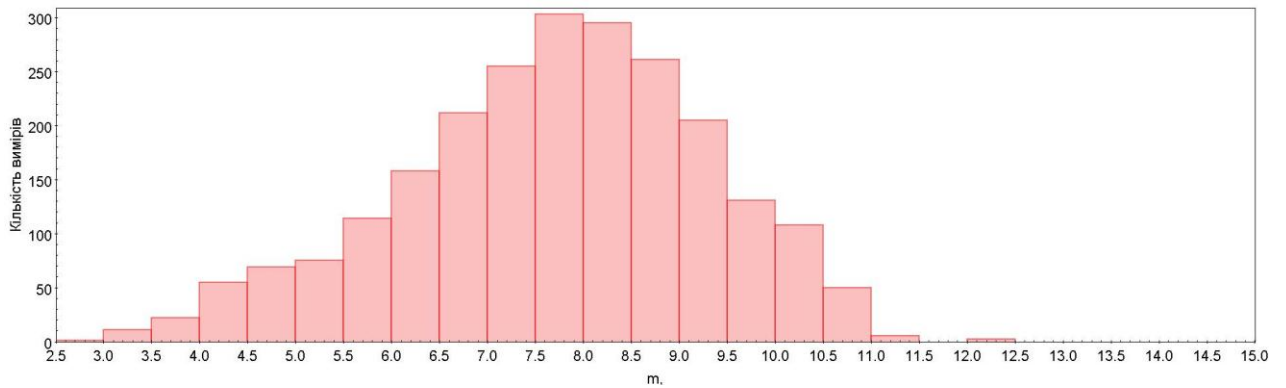


Рис 6.7. Розподіл спостережень по зоряній величині

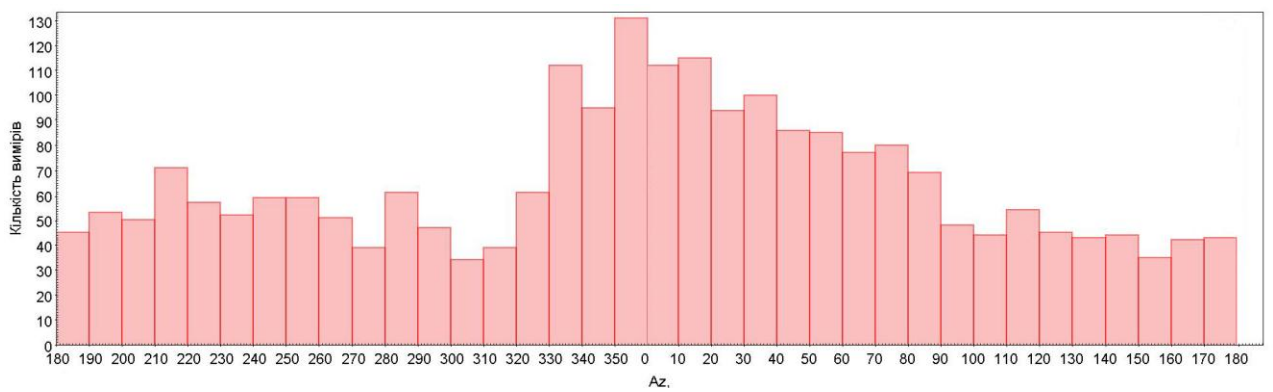


Рис 6.8. Розподіл спостережень по азимуту

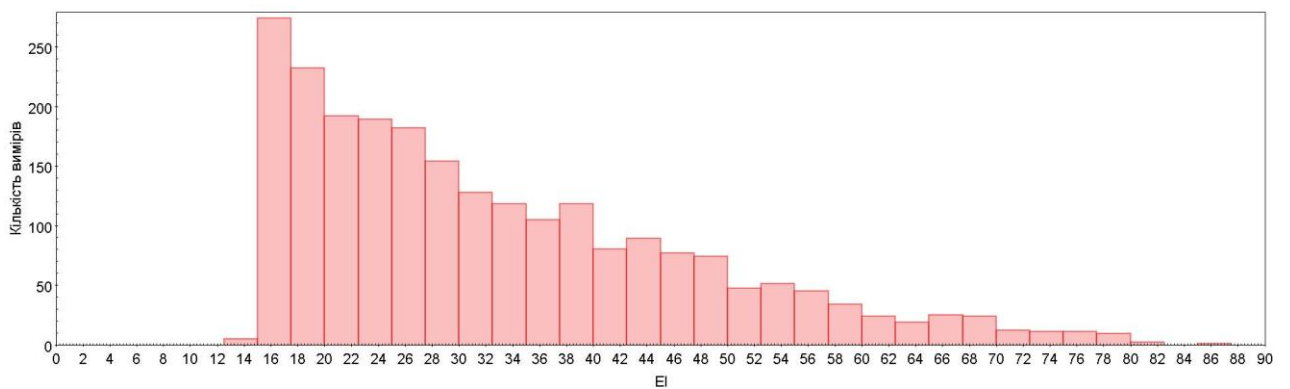


Рис 6.9. Розподіл спостережень по куту місяця

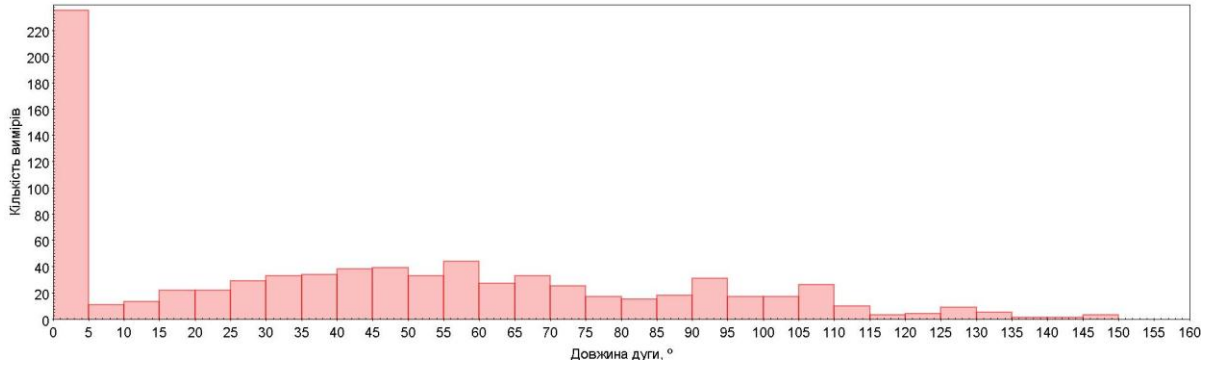


Рис 6.10. Розподіл довжин дуг спостереження

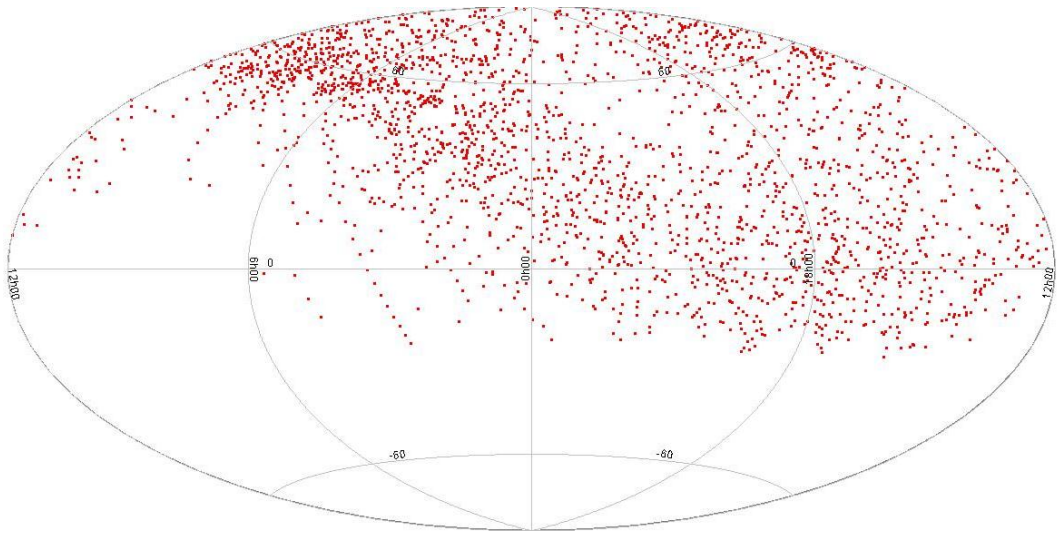


Рис 6.11. Розподіл точок спостереження супутника на небесній сфері в екваторіальних координатах.

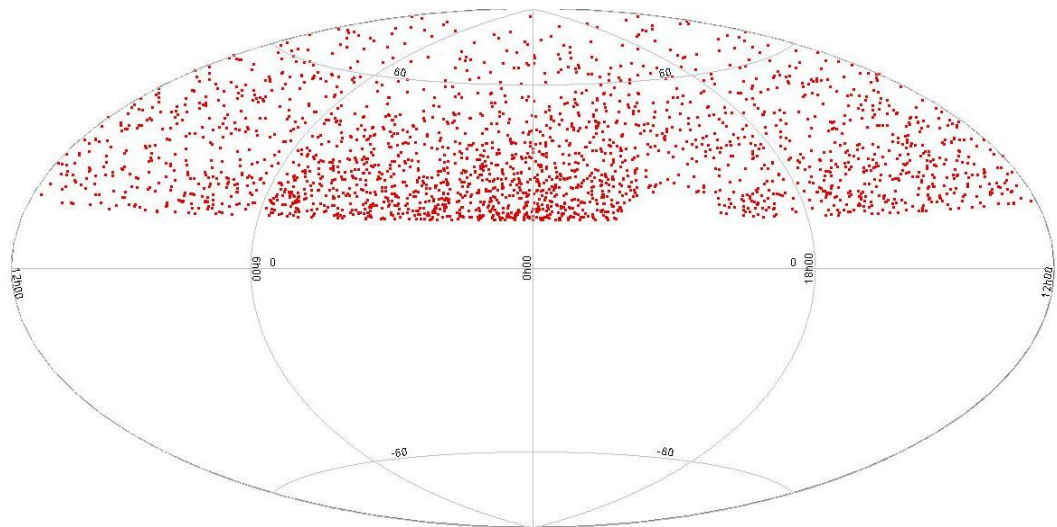


Рис 6.12. Розподіл точок спостереження на небесній сфері в азимутальних координатах.

Для телескопу ТПЛ (гід) станції Львів результати представлені на рис. 6.13. - 6.18., для побудови яких використано 1147 спостережень.

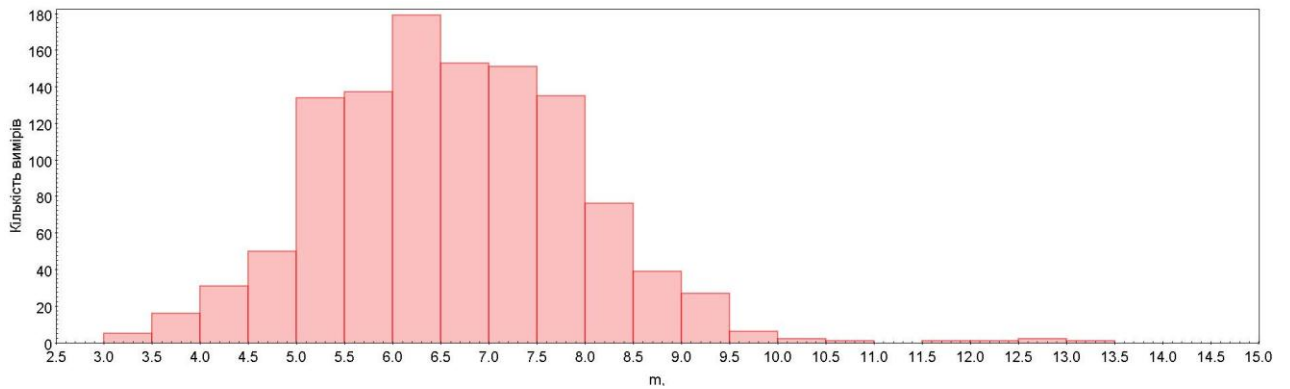


Рис 6.13. Розподіл спостережень по зоряній величині

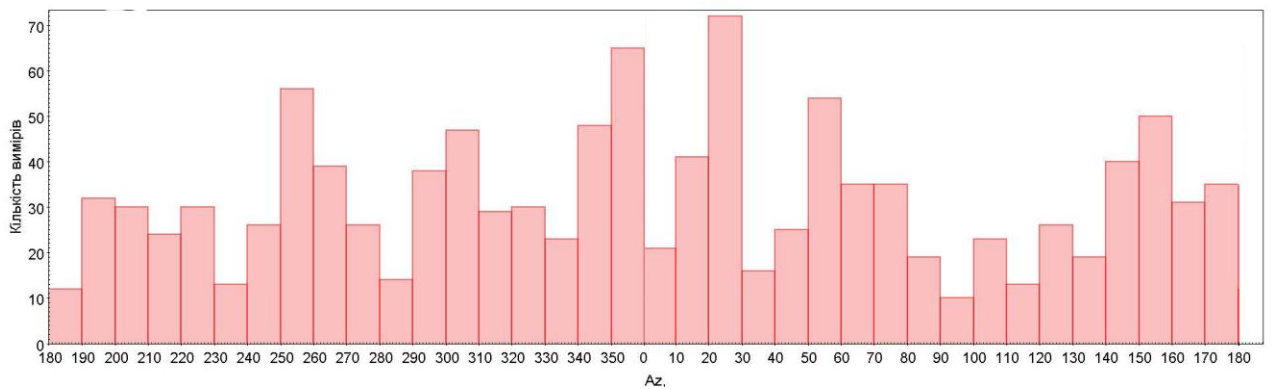


Рис 6.14. Розподіл спостережень по азимуту

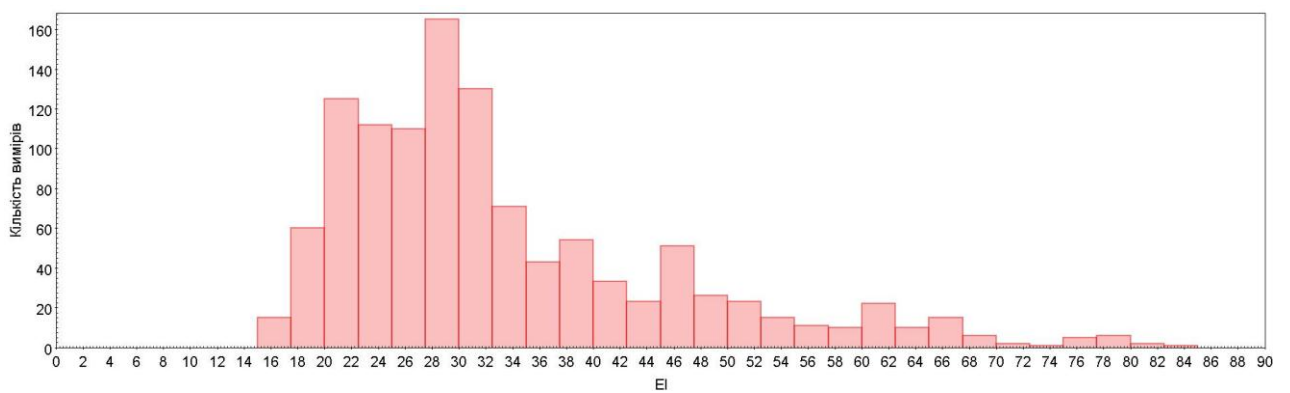


Рис 6.15. Розподіл спостережень по куту місяця

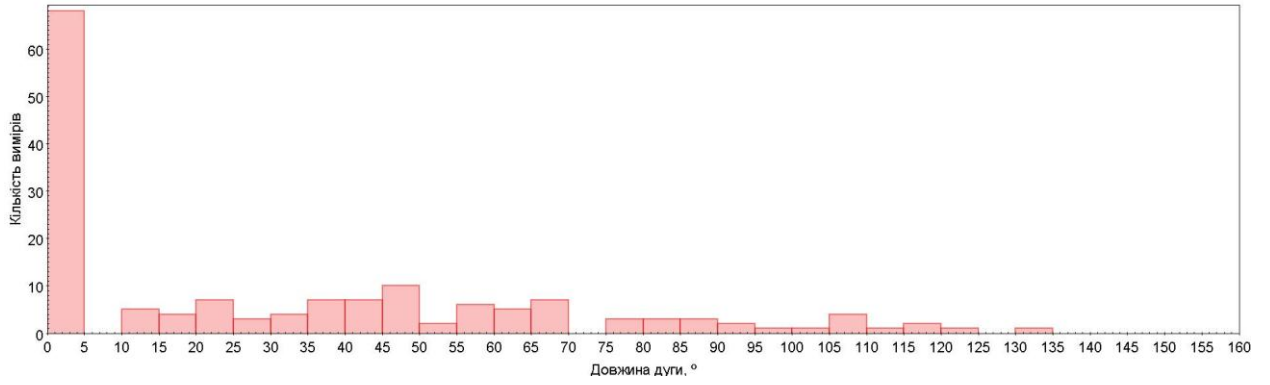


Рис 6.16. Розподіл довжин дуг спостереження

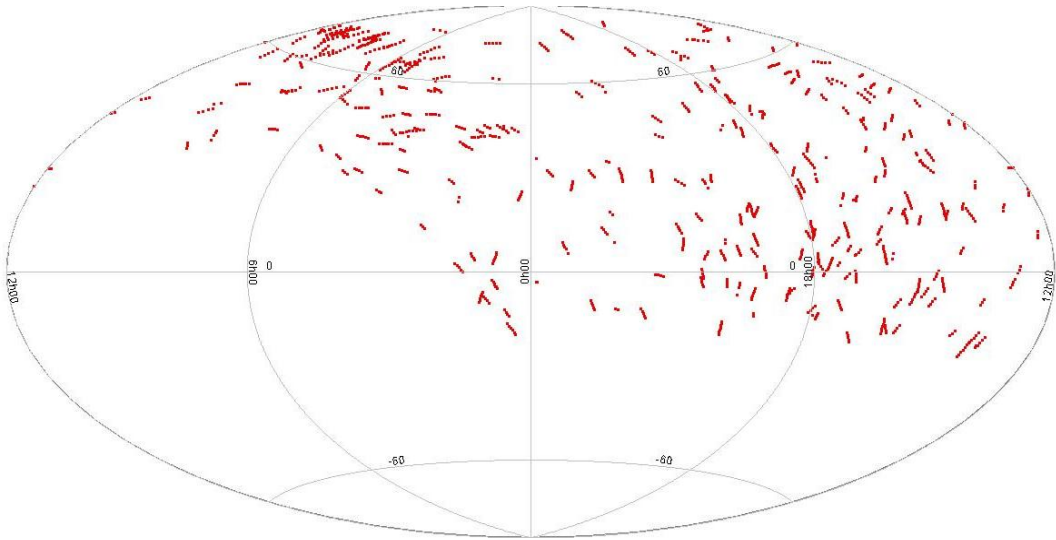


Рис 6.17. Розподіл точок спостереження супутників на небесній сфері в екваторіальних координатах.

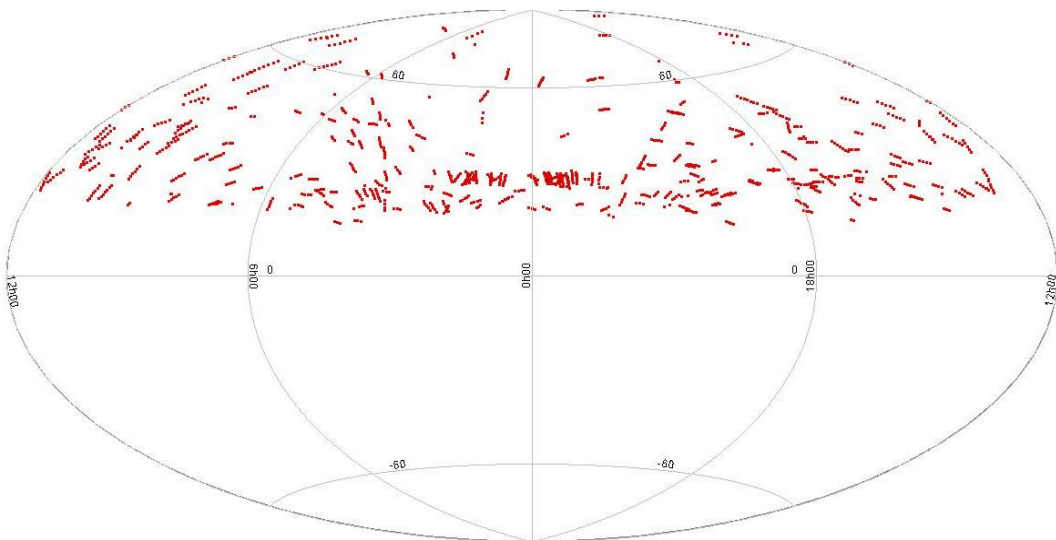


Рис 6.18. Розподіл точок спостереження супутників на небесній сфері в азимутальних координатах.

Для телескопу КТ-50 станції Одеса результати представлені на рис. 6.19. - 6.24., для побудови яких використано 1147 спостережень.

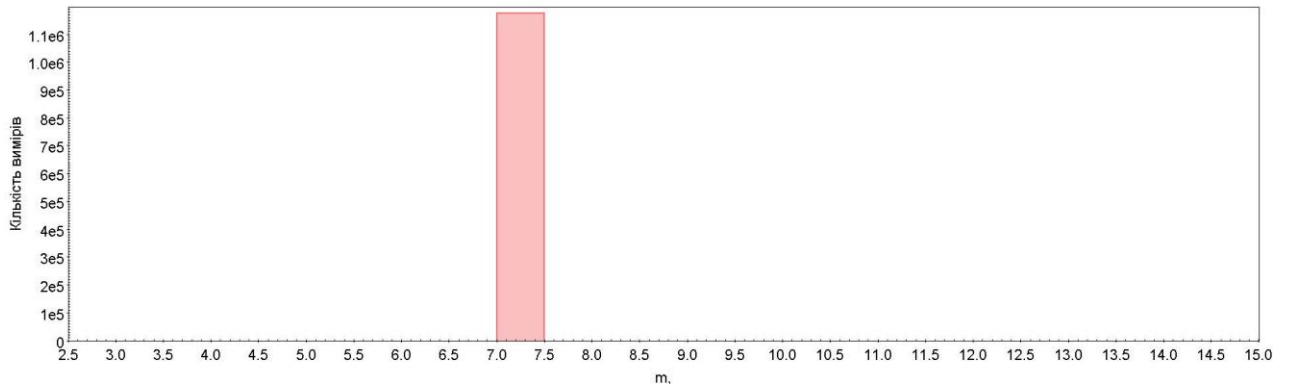


Рис 6.19. Розподіл спостережень по зоряній величині

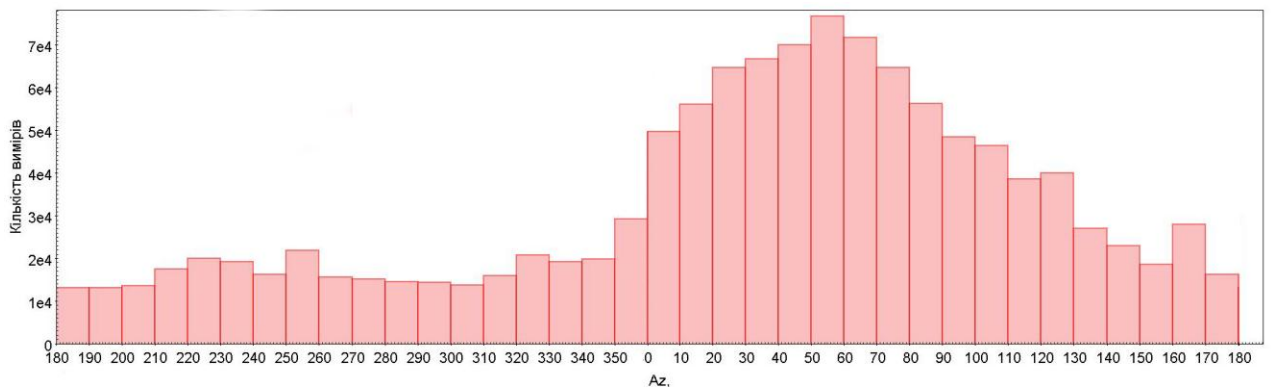


Рис 6.20. Розподіл спостережень по азимуту

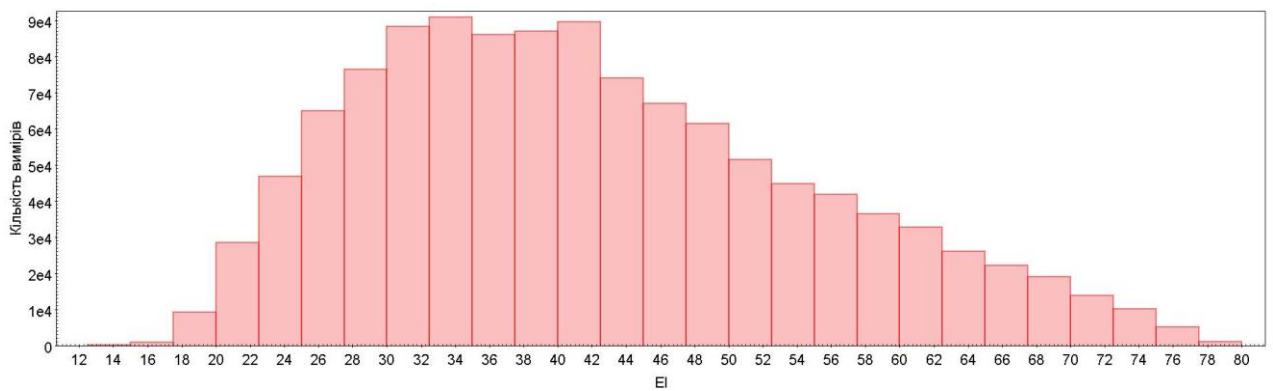


Рис 6.21. Розподіл спостережень по куту місяця

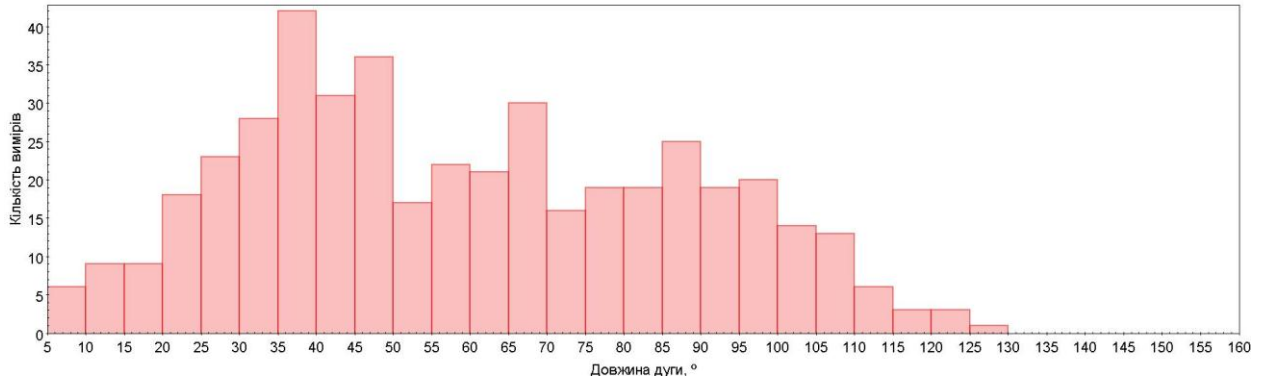


Рис 6.22. Розподіл довжин дуг спостереження

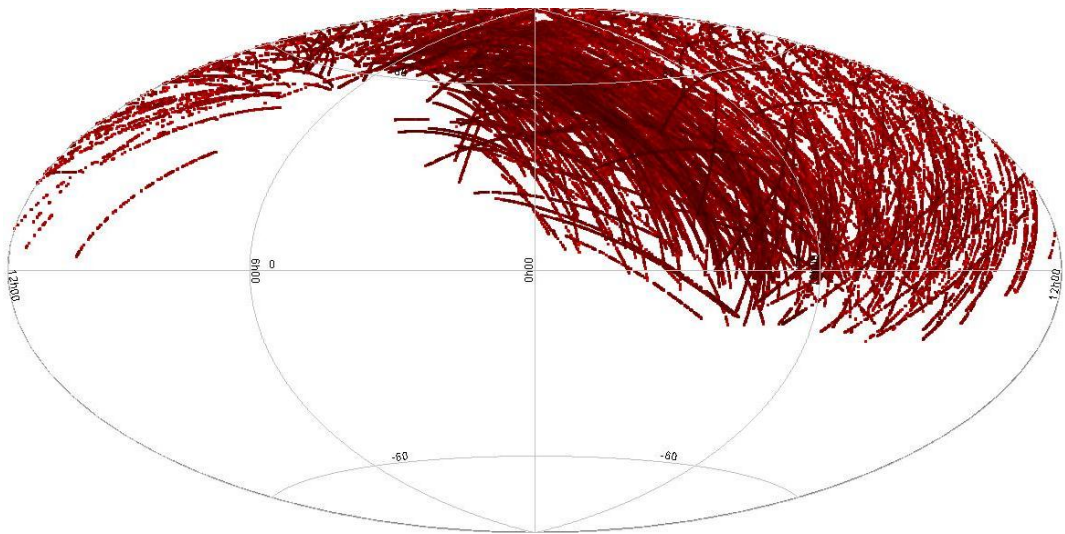


Рис 6.23. Розподіл точок спостереження супутників на небесній сфері в екваторіальних координатах.

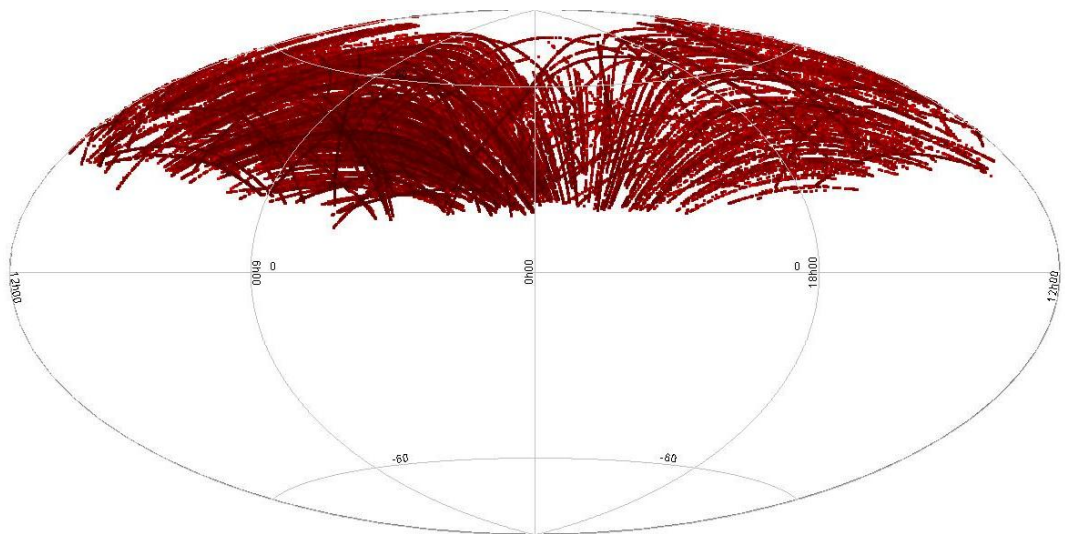


Рис 6.24. Розподіл точок спостереження на небесній сфері в азимутальних координатах.

7. Оцінка точності вимірювання координат на різних пунктах спостережень (для тестових КО) - Аналіз випадкових та систематичних похибок астрометричних спостережень окремих телескопів.

7.1. Підбор об'єктів для спостережень мережею УМОС та для аналізу

Для тестування програми OrbEstLab (Orbit Estimation Laboratory) було запропоновано одинадцять КО, серед яких декілька супроводжуються міжнародною мережею лазерних вимірювань відстаней ILRS. В таблиці 7.1 представлено статистику спостережень відібраних КО.

Таблиця 7.1.

Список тестових КО для спостережень та аналізу

№ з/п	№ NORAD	Міжнародний номер	Назва КО	Кількість отриманих проводок КО
16908	16908	86061A	EGS (AJISAI = EGP)	63
26997	26997	01055A	JASON 1	49
33105	33105	08032A	JASON 2	25
27386	27386	02009A	ENVISAT	64
28809	28809	05031A	OICETS	72
39451	39451	13067A	SWARM B	21
22076	22076	92052A	TOPEX/POSEIDON	44
28931	28931	06002A	ALOS	7
28230	28230	04014A	GRAVITY PROBE B	27
37781	37781	11043A	HAIYANG 2A	7
31698	31698	07026A	TERRA SAR X	

Розподіл спостережень по датам в 2017 році представлено на рис. 7.1.

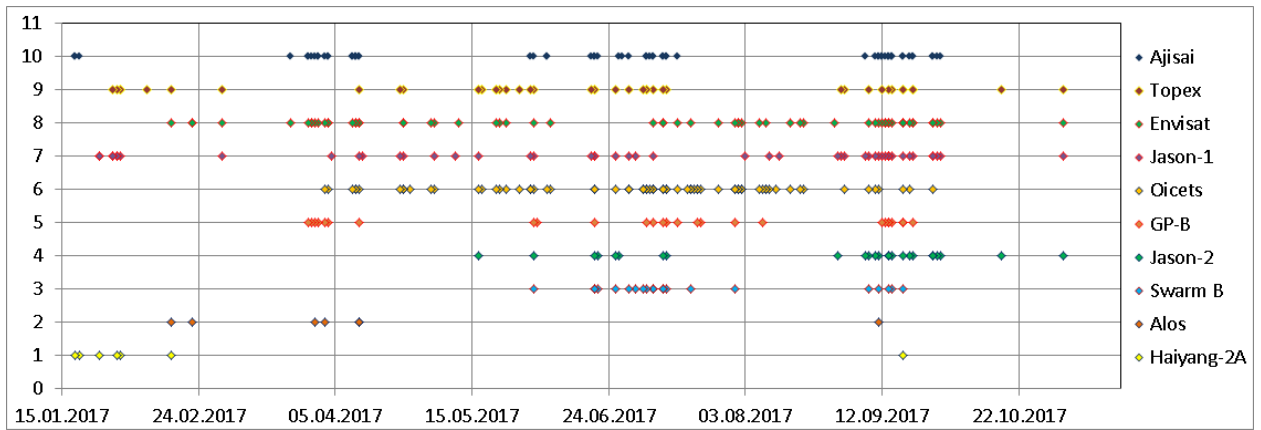


Рисунок 7.1. Розподіл в часі спостережень обраних супутників

7.2. Аналіз випадкових та систематичних похибок астрометричних спостережень окремих телескопів

Різні станції отримують спостереження КО в залежності від наявного обладнання, методики спостережень та програмного забезпечення. Оскільки на тих телескопах, на яких не відбувається безперервне супроводження супутника, вимірювання отримуються тільки в межах вузького поля зору на невеликій кількості напрямів вздовж орбіти, тому і загальна кількість астрометричних вимірювань за проходження супутника не може бути значною. Навпаки, на телескопах із супроводженням (зокрема в Одесі на КТ-50) кількість вимірювань за одне проходження супутника дорівнює декільком тисячам та обмежена лише наявністю фонових зір у кожному кадрі.

Нижче приведено у графічному вигляді нев'язки між отриманими на телескопі вимірюваннями координат супутника та високоякісним прогнозуванням його положення на небі отриманим з використанням вимірювань мережі ILRS. Таким чином ці нев'язки можна розглядати як похибки вимірювань на даному телескопі в конкретному проходженні

супутника. Для прикладу наведено графіки для КО з висотою орбіти порядку 1500 і 850 км.

Аналіз почнемо з найбільш високого КО Аjіsаі (висота орбіти ~ 1450 км від поверхні Землі).

На рис. 7.2 (а, б, в). наведено нев'язки даного КО вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN) в кутових секундах для телескопа ГАО НУНУ (Київ). А також нев'язки моменту спостереження (випередження або затримка) КО згідно вимірювань по відношенню до прогнозованого моменту появи його в даному напрямі – dT (у секундах часу).

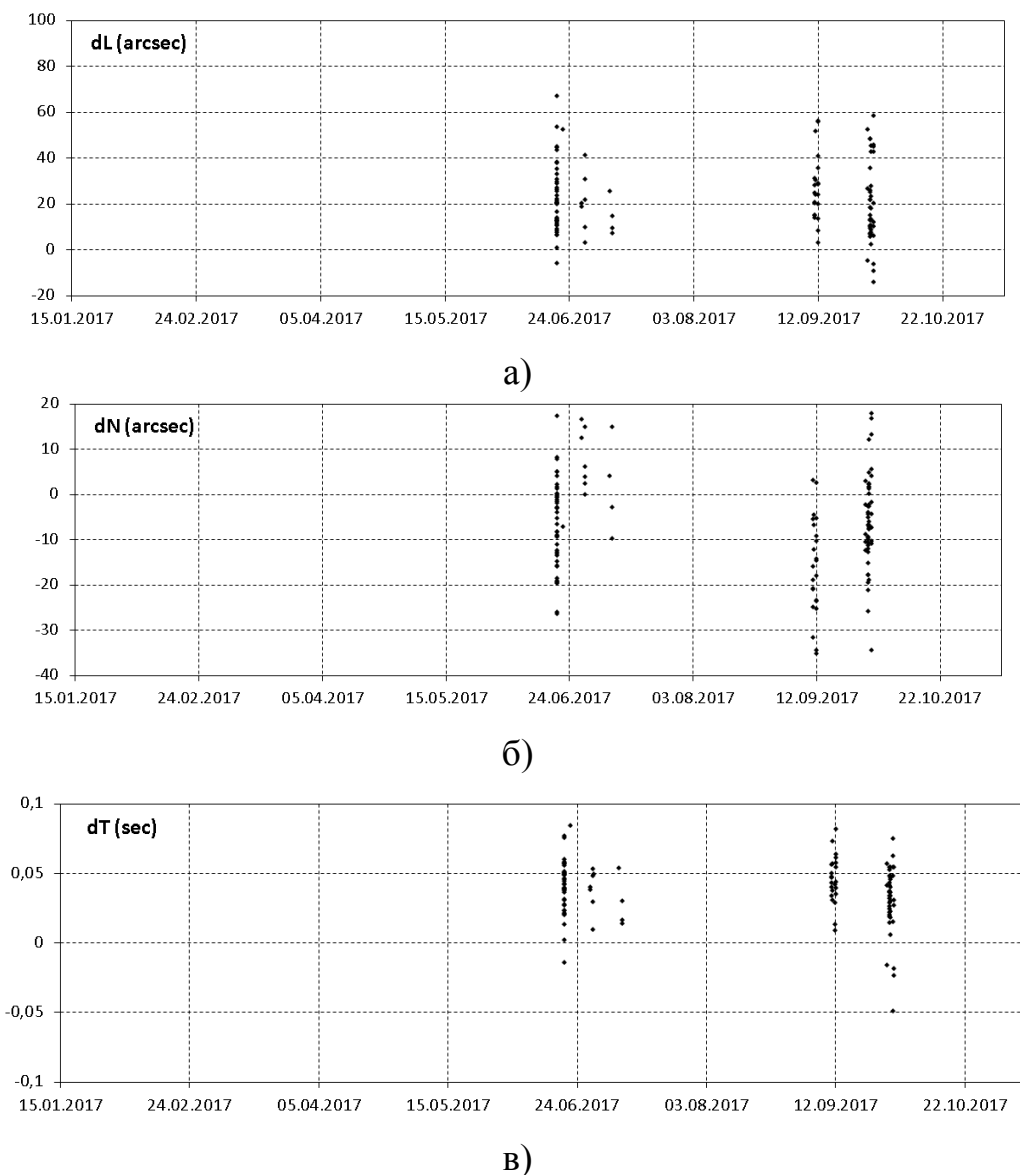
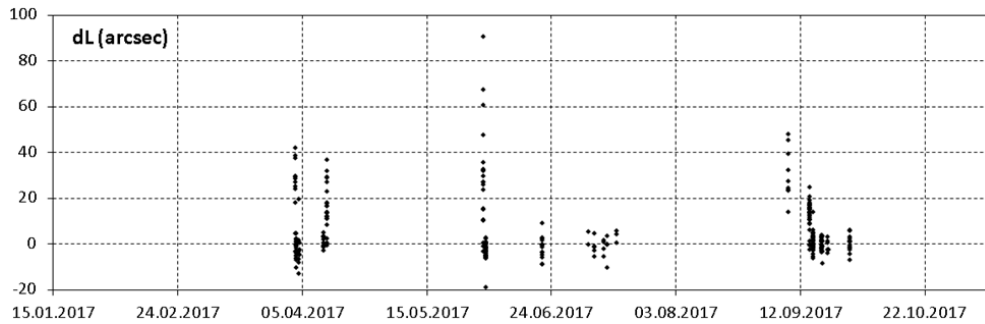
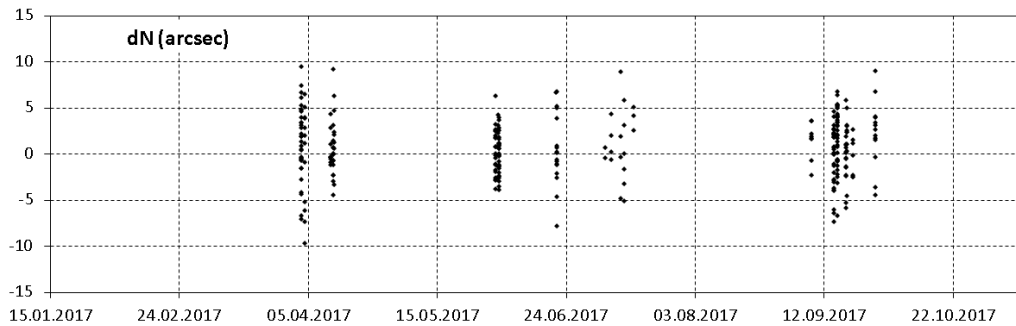


Рисунок. 7.2 Нев'язки спостережень КО Аjіsаі вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN), а також моменту спостережень (dT) для станції Київ

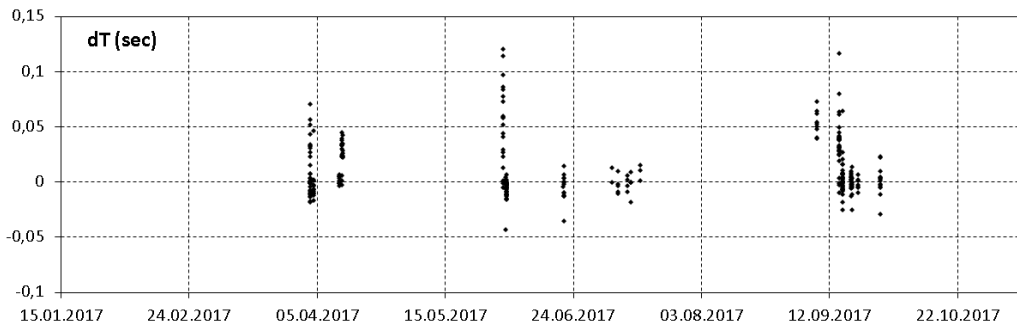
На рис. 7.3 (а, б, в). наведено нев'язкі КО Ajisai (dL) та (dN) в кутових секундах, а також нев'язкі у вигляді dT (секунди часу) для телескопу ТВТ станції Миколаїв.



а)



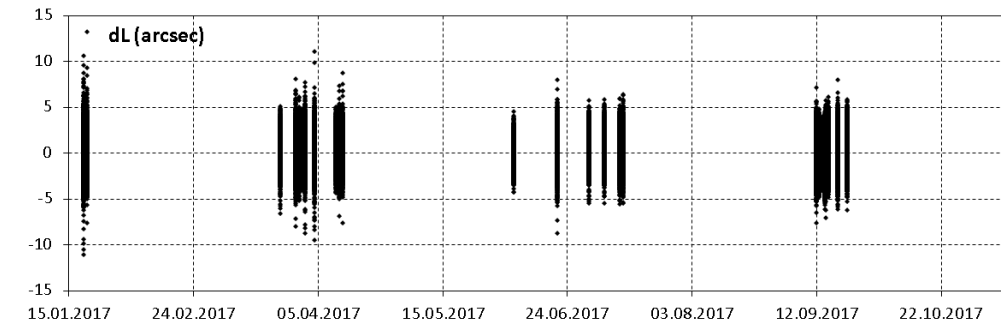
б)



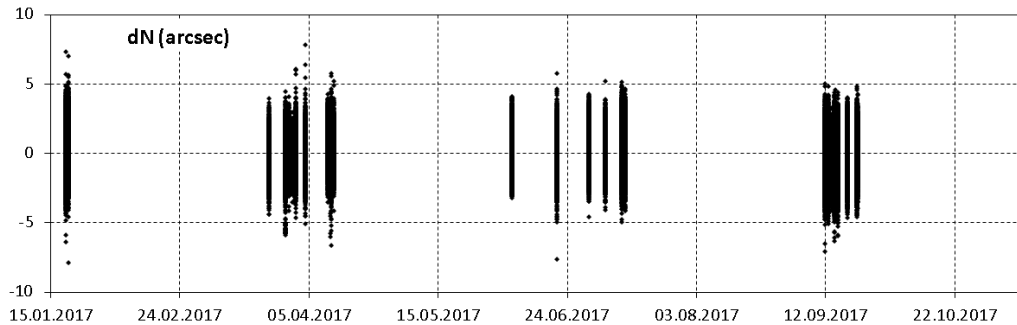
в)

Рисунок. 7.3 Нев'язкі спостережень КО Ajisai вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN), а також моменту спостережень (dT) для станції Миколаїв

На рис. 7.4. (а, б). наведено нев'язкі КО Ajisai (dL) та (dN) для телескопу КТ-50 станції Одеса.



а)

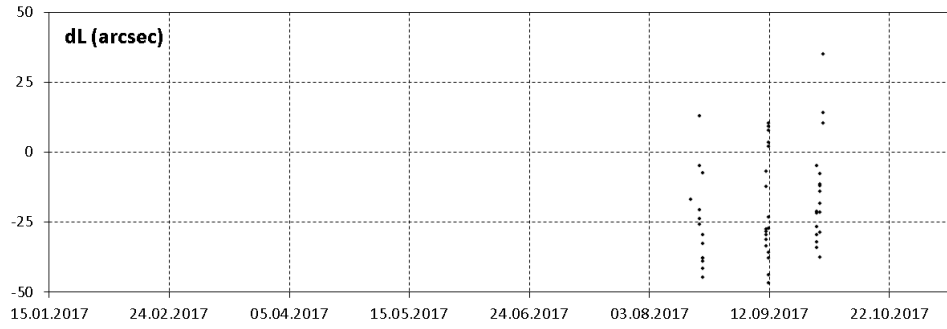


б)

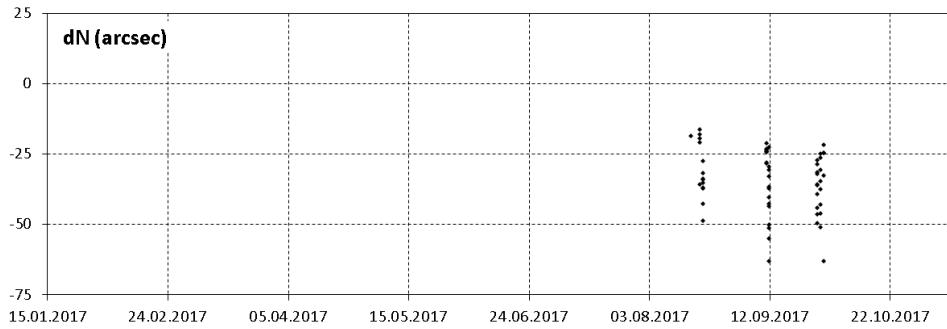
Рисунок. 7.4 Нев'язки спостережень КО Aji Sai вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN) для станції Одеса

Бачимо, що похибки астрометричних вимірювань у Києві та Миколаєві вздовж орбіти досягають десятків кутових секунд; похибки поперек орбіти менші (для MBTL_VIDEO після фільтрації в межах $\pm 10''$, але для Києва теж часом перевищують десятки секунд. Похибки для телескопа КТ-50 (Одеса) по кожній координаті не перевищують $\pm 5-10''$.

Наступним КО, що ми розглянемо, є аварійний супутник Envisat (висота орбіти ~ 750 км від поверхні Землі). На рис. 7.5 (а, б) показано фільтровані невязки вимірювань КО Envisat, що отримані в ГАО НАНУ. Вони також майже не перевищують $\pm 50''$ в обох напрямках, але спостерігаються значні систематичні зсуви, особливо у поперечному напрямку dN.



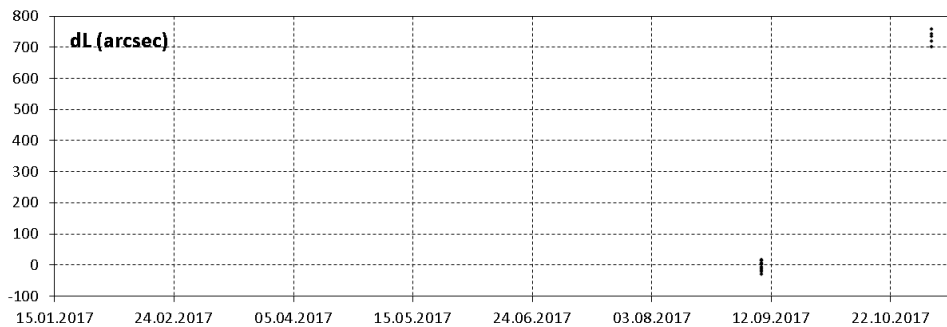
а)



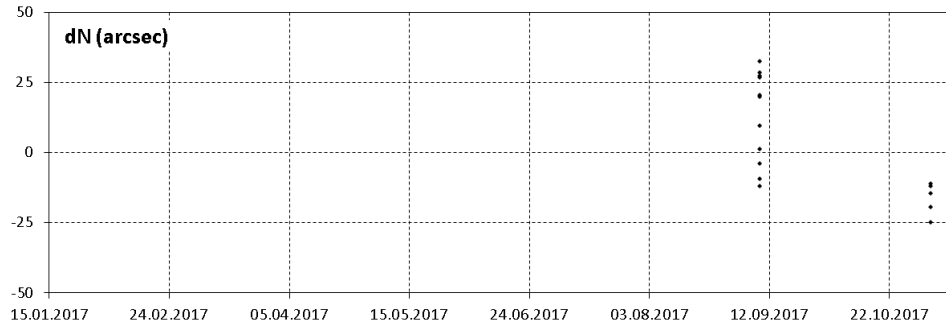
б)

Рисунок. 7.5. Нев'язкі спостережень КО Envisat вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN) для станції Київ

На рис. 7.6. (а, б). показано невязки вимірювань КО Envisat, що отримані у Львові. Велика похибка вздовж орбіти в останньому спостереженні пояснюється тим, що допущена помилка в реєстрації часу вимірювань (див. рис. 7.7).



а)



б)

Рисунок. 7.6. Нев'язкі спостережень КО Envisat вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN) для станції Київ

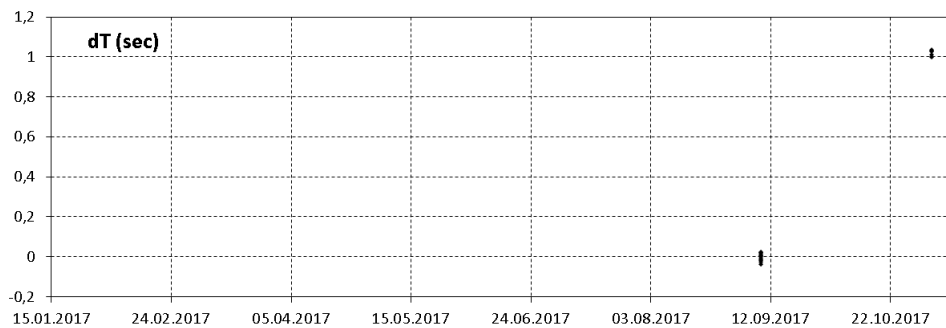
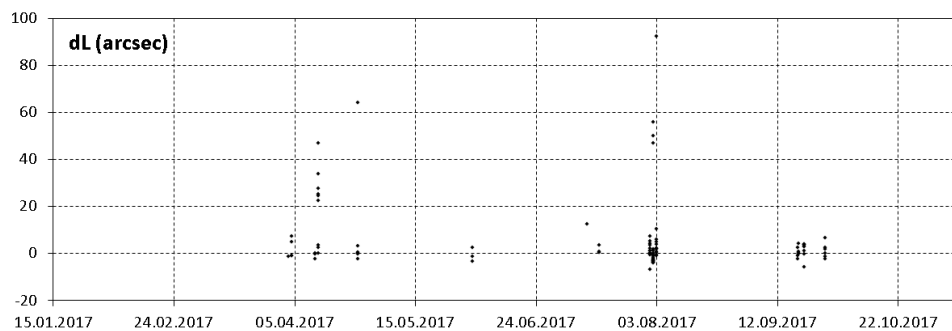


Рисунок 7.7. Відлік часу на станції Львів

На рис. 7.8. (а, б). показано невязки вимірювань КО Envisat, що отримані у Миколаєві. Бачимо наявність декількох значних похибок вздовж орбіти в різних проходженнях.



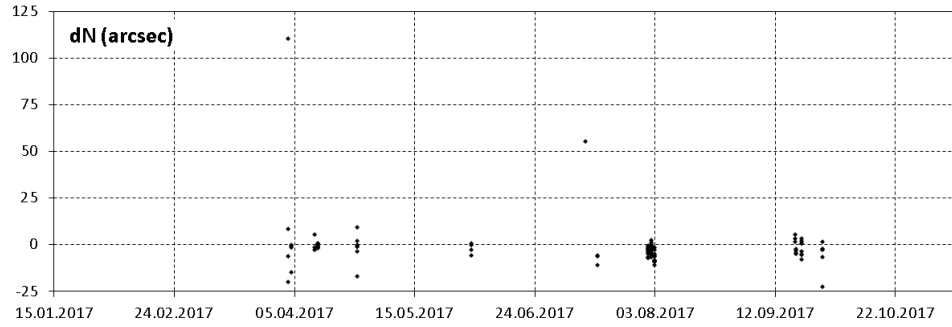
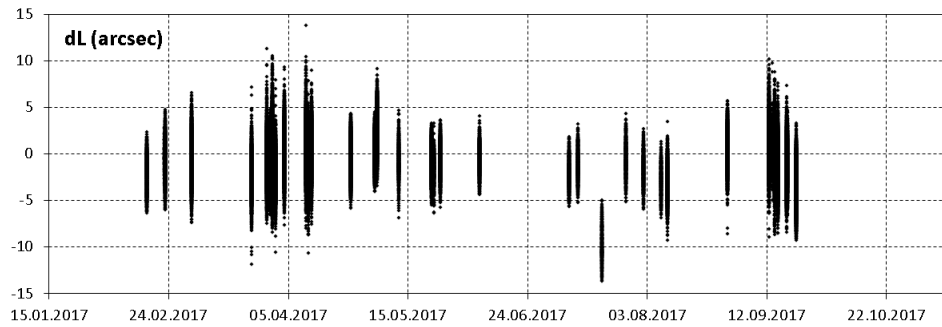
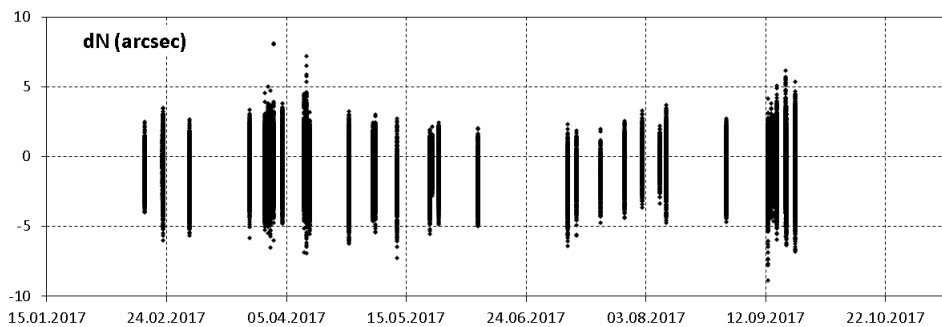


Рисунок. 7.8. Нев'язкі спостережень КО Envisat вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN) для станції Миколаїв

Вимірювання цього супутника в Одесі мають невеликі похибки (рис. 7.9. а, б), але бачимо, що вони залежать від погодних умов. Іноді також трапляються систематичні зсуви нев'язок пов'язані з відліком часу.



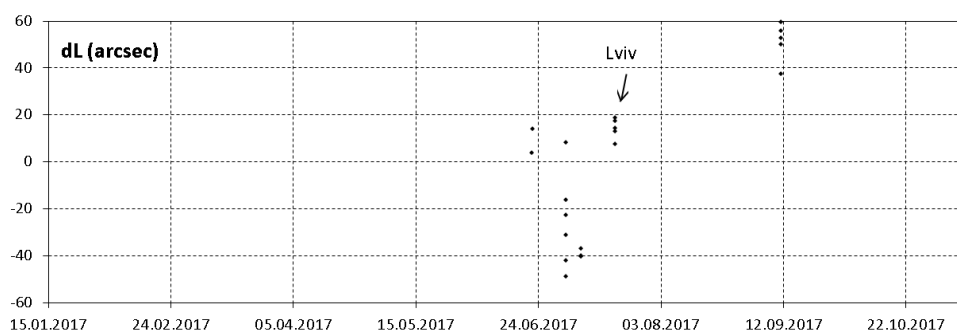
а)



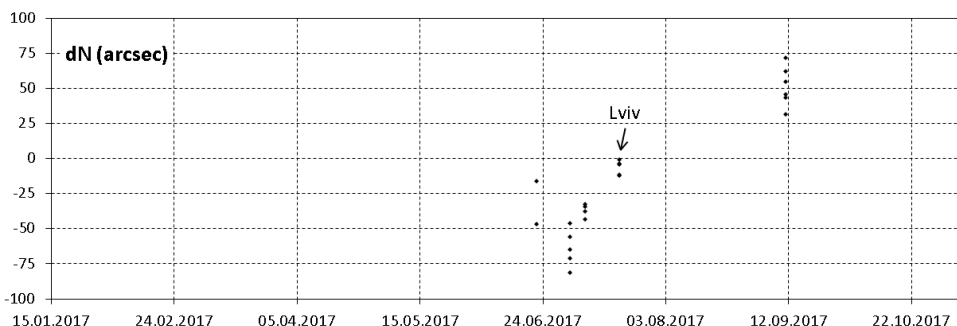
б)

Рисунок. 7.9. Нев'язкі спостережень КО Envisat вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN) для станції Одеса

Подібну картину спостерігаємо також для наступного тестового КО Swarm-B (висота орбіти ~ 500 км від поверхні Землі). Супутник має помітно більшу кутову швидкість орбітального руху порівняно із попередніми, тому похибки астрометричних вимірювань мають зрости. На рис. 7.9. (а, б) показані нев'язки dL та dN вздовж і поперек орбіти КО Swarm-B, що отримані на пунктах спостережень у Києві та Львові, а на рис. 7.10. (а, б) у Миколаєві. Тіж самі нев'язки для Одеси наведені на рис. 7.10. б та на рис. 7.11.

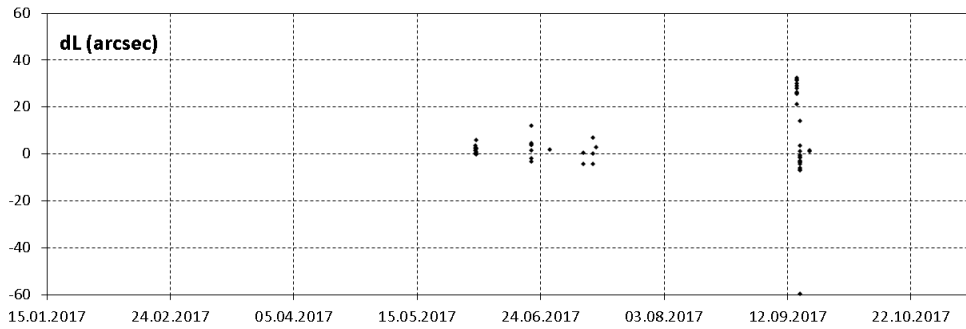


а)

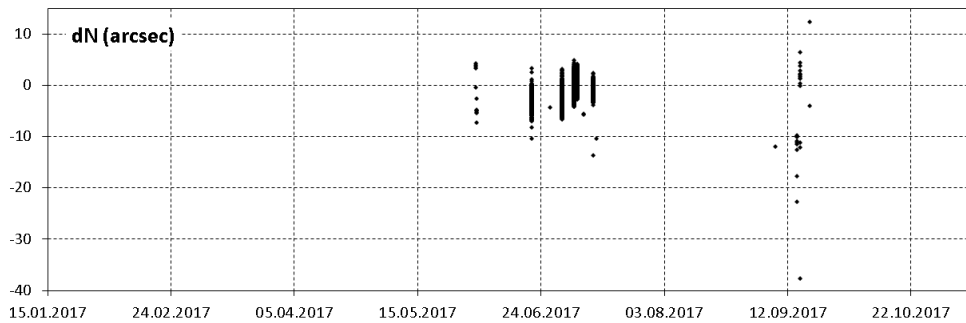


б)

Рисунок. 7.9. Нев'язки спостережень КО Swarm-B вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN) для станції Київ і Львів



а)



б)

Рисунок. 7.10. Нев'язкі спостережень КО Swarm-B вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN) для станції Миколаїв і Одеса

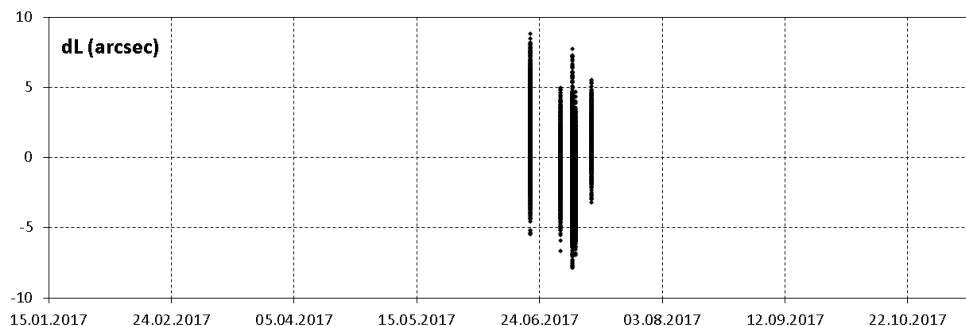


Рисунок. 7.11. Нев'язкі спостережень КО Swarm-B вздовж орбіти (dL) та поперек неї (dN) для станції Одеса

Також проаналізували розподіл нев'язок, що представлено вище, за частотою їх виникнення для кращого розуміння реальної точності вимірювання астрометричних координат КО на різних пунктах мережі УМОС. Для пункту Львів такий розподіл виявився не доцільний оскільки спостережень отримано досить мало.

На рис. 7.12. наведено гістограму нев'язок для Києва у спостереженнях КО Jason-2, а на рис. 7.13. – у спостереженнях КО Envisat. Бачимо, що картина скоріше випадкова. Для двох супутників систематичний зсув нев'язок вимірювань вздовж орбіти протилежний; також він протилежний для іншої координати.

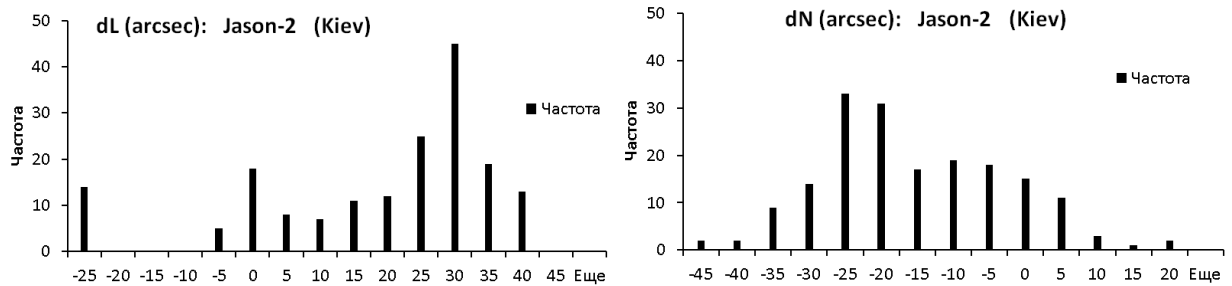


Рисунок 7.12. гістограму нев'язок для Києва у спостереженнях КО Jason-2

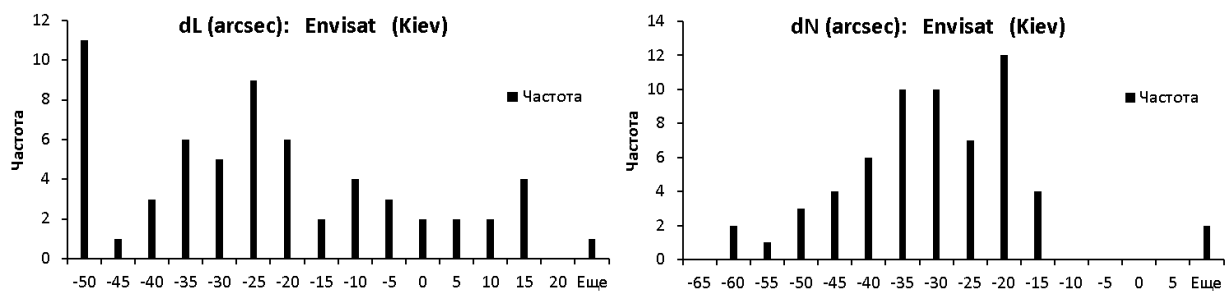


Рисунок 7.13. гістограму нев'язок для Києва у спостереженнях КО КО Envisat

На рис. 7.14 – 7.16 наведено гістограми нев'язок для Миколаєва у спостереженнях КО Jason-2, Envisat та Swarm-B. Тут розподіл нев'язок значно кращий – основна мода припадає на інтервал 0 - 5" (або близька до нього), також нев'язки розподілені майже симетрично. Зрозуміло, що мала кількість вимірювань не дозволяє надавати суттєве значення цим висновкам.

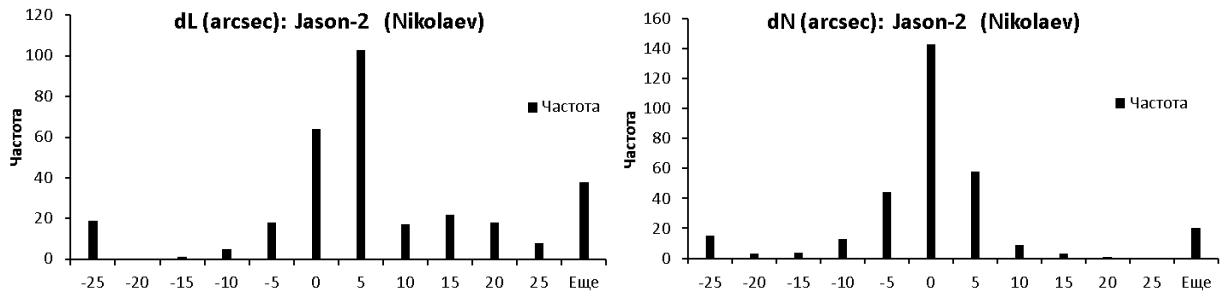


Рисунок 7.14. Гістограму нев'язок для Миколаєва у спостереженнях КО Jason-2

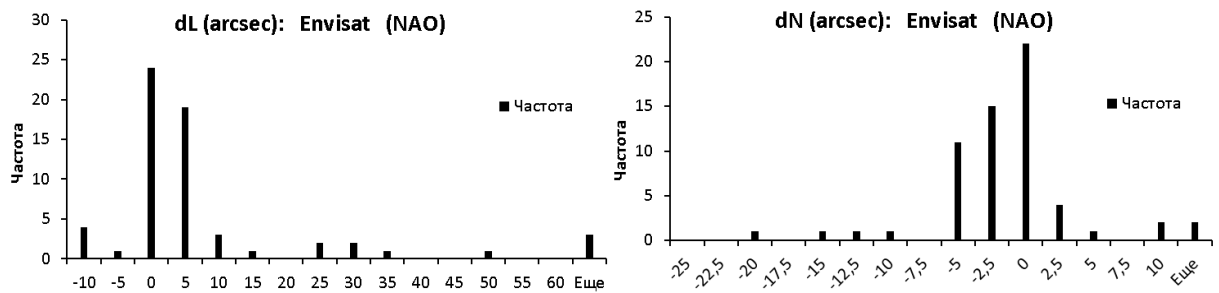


Рисунок 7.15. Гістограму нев'язок для Миколаєва у спостереженнях КО Envisat

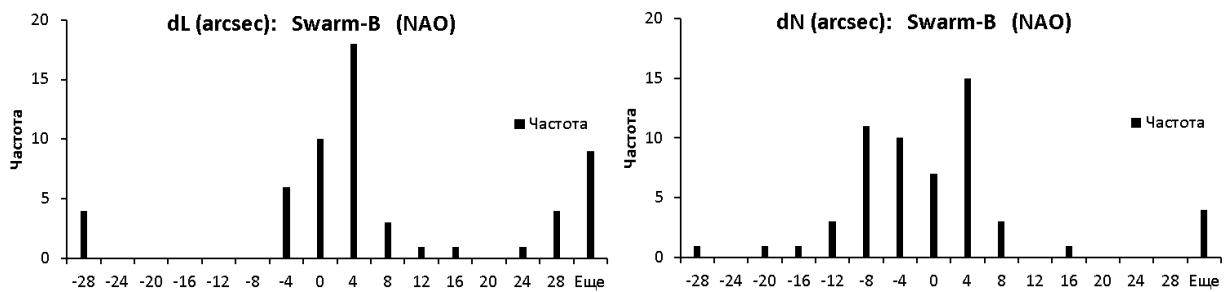


Рисунок 7.16. Гістограму нев'язок для Миколаєва у спостереженнях КО Swarm-B.

На наступних рис. 7.17 – 7.19. наведено гістограми нев'язок для Одеси у спостереженнях КО Jason-2, Envisat та Swarm-B.

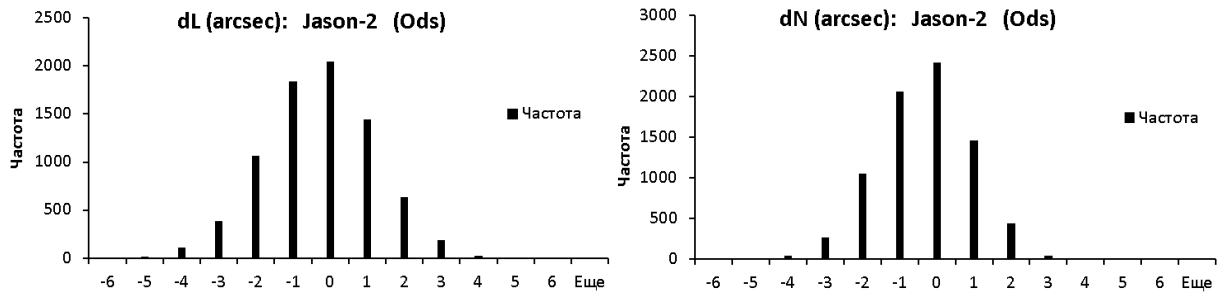


Рисунок 7.17. Гістограму нев'язок для Одеси у спостереженнях КО Jason-2

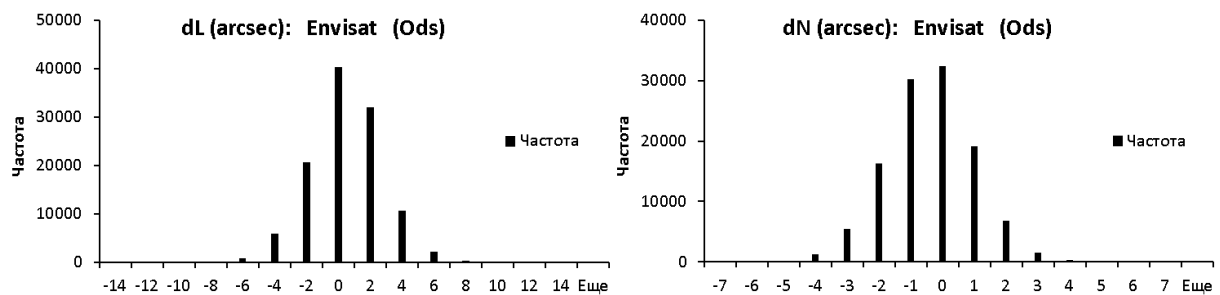


Рисунок 7.18. Гістограму нев'язок для Одеси у спостереженнях КО Envisat

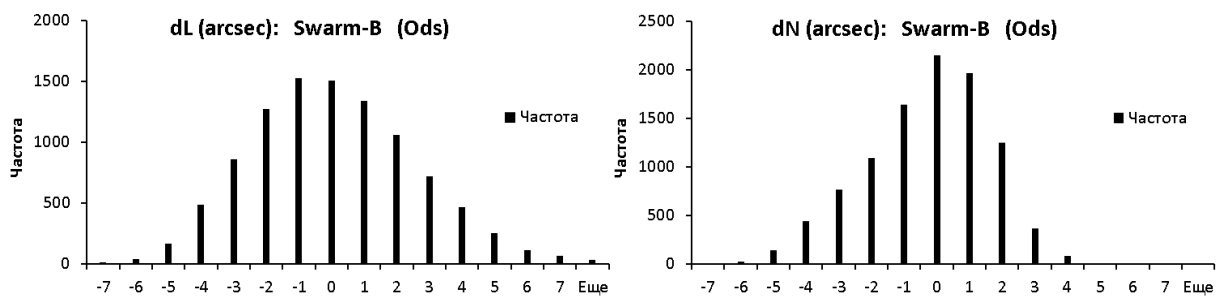


Рисунок 7.19. Гістограму нев'язок для Одеси у спостереженнях КО Swarm-B.

Результати розрахунку елементів орбіти представлені:

в форматі CPF на FTP сервері УМОС: <ftp://incoming/positional/2017/cpfs/>

в форматі TLE на сайті УМОС: <http://umos.mao.kiev.ua/ukr/index.php?slab=slabid-12>

Висновки

Найбільш важливі результати діяльності УМОС в 2017 році:

- Учасниками УМОС здійснювалась підтримка працездатності та підвищення ефективності роботи оптичних телескопів для спостереження КО;
- Проведені координовані координатні спостереження низькоорбітальних КО, результати спостережень поповнили базу положень УМОС. За 2017 рік здійснено 2035 проводок (спостереження КО з одного телескопа на одному вітку) загальною тривалістю 2177 хвилин, отримано 57763 положень 348 КО.
- За даними бази положень УМОС здійснений розрахунок елементів орбіт із використанням спостережень на декількох вітках: за 2017 р. отримано 356 векторів стану за якими розраховано прогнози траєкторії та елементи орбіти у форматі CPF та TLE. Проведений аналіз точності спостережень станцій УМОС за даними розрахунку елементів орбіт на одному вітку.
- Здійснювалася підтримка Web сайту УОМС. Розраховані елементи орбіт розміщені за адресою: <http://umos.mao.kiev.ua/ukr/index.php?slab=slabid-12>