

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
«МИКОЛАЇВСЬКА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ»

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

КАЛЮЖНИЙ МИКОЛА ПАНАСОВИЧ

УДК 521.9+521.98

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ  
РАДІОІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ  
ЕЛЕМЕНТІВ ОРБИТ ГЕОСТАЦІОНАРНИХ СУПУТНИКІВ

01.03.01 – Астрометрія і небесна механіка

Фізика і астрономія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
(доктора філософії)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ М.П. Калюжний

Науковий керівник Шульга Олександр Васильович, доктор фізико-математичних  
наук, старший науковий співробітник

Миколаїв – 2017

## АНОТАЦІЯ

Калюжний М.П. Особливості застосування радіоінтерферометричних методів для визначення елементів орбіт геостаціонарних супутників. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук (доктора філософії) за спеціальністю 01.03.01 «Астрометрія і небесна механіка». – Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія», Національний авіаційний університет, Миколаїв, 2017.

В дисертації йдеться про реалізований метод синхронізованого прийому псевдошумових сигналів цифрового супутникового телебачення DVB-S для визначення координат телекомунікаційних геостаціонарних супутників (ТК ГСС) методом радіоінтерферометрії. Для контролю положення ТК ГСС організовано їх регулярні спостереження мережею станцій (Харків, Мукачево, Рівне, Миколаїв в Україні і Вентспілс в Латвії). По даним вимірювань TDOA (Time Difference Of Arrival) сигналів DVB-S, отриманим протягом доби, проводиться обчислення елементів орбіти контрольованого супутника. Похибка визначення координат супутника не перевищує 225 м на епоху обчислення елементів орбіти. Проведено зовнішнє порівняння TDOA, отриманих по даним вимірювань радіоінтерферометричною мережею, з обчисленими як по ефемеридам з сайту [www.space-track.org](http://www.space-track.org), так і з використанням елементів орбіти, отриманими по оптичним вимірюванням. СКП різниці TDOA в обох випадках не перевищує 10 м, а середні значення знаходяться в межах  $\pm 40$  м.

**Ключові слова:** радіоінтерферометр, геостаціонарний супутник, цифрове телебачення, елементи орбіти, кореляція, пасивна радіолокація, TDOA.

### **Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації**

1. Бушуев Ф.И. Определение дальности до телекоммуникационных геостационарных спутников с использованием сигналов спутникового телевидения/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сливинский А.П., Шульга А.В. // Радиофизика и радиоастрономия. – 2012. – Т.17, №3. – С. 282–290.
2. Бушуев Ф.И. Метод и первые результаты определения разности наклонных дальностей до телекоммуникационных геостационарных спутников/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сибирякова Е.С., Шульга А.В., Горбанёв Ю.М.// Радиофизика и радиоастрономия. – 2015. – Т. 20, №3. – С. 238–246.
3. Бушуев Ф.И. Радиотехнический комплекс для определения координат телекоммуникационного геостационарного спутника/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сибирякова Е.С., Шульга А.В., Москаленко С.С., Балагура О.А., Кулишенко В.Ф.// Космічна наука і технологія. – 2016. – Т. 22, №3. – С. 50–59.
4. Bushuev F. Results of the ongoing monitoring of the position of a geostationary telecommunication satellite by the method of spatially separated basis receiving of digital satellite television signals/ Bushuev F., Kaliuzhnyi M., Sybiryakova Ye., Shulga O., Moskalenko S., Balagura O., Kulishenko V.// Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2016. Vol. 53, No. 5 . –P. 5–16.
5. Kaliuzhnyi M. International network of passive correlation ranging for orbit determination of a geostationary satellite/ Kaliuzhnyi M., Bushuev F., Shulga O., Sybiryakova Ye., Shakun L., Bezrukovs V., Moskalenko S., Kulishenko V., Malynovskyi Ye.// Odessa astronomical publications. – 2016. Vol. 29, – P. 203–206.

### **Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

6. Bushuev F.I. Using signals of satellite television to determine the distance to telecommunications geostationary satellites/ Kalyuzhny N.A, Shulga A.V., Slivinsky A.P.// The Abstract Book of the International Conference “Astronomical Research: From Near-Earth Space to the Galaxy”. Mykolaiv, Ukraine, 2011. — P. 13-14.

7. Бушуев Ф.И. Контроль вариаций дальности телекоммуникационных геостационарных спутников по базисным наблюдениям станций приема спутникового телевидения/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Шульга А.В., Сливинский А.П.// Тезисы докладов на IV Международном специализированном симпозиуме «Космос и глобальная безопасность человечества». Евпатория, 2012. — С. 86-87.
8. Bushuev F.I. Interferometer for observation of geostationary telecommunication satellite/ Bushuev F.I., Kalyuzhny N.A., Shulga A.V., Kozyrev Ye.S.// Proceedings of the International conference «International meeting on variable stars research Kolos 2012». Режим доступа: [http://www.astrokolonica.sk/uploads/files/kozyrev\\_interferometer.pdf](http://www.astrokolonica.sk/uploads/files/kozyrev_interferometer.pdf). – Назва з екрану.
9. Бушуев Ф.И. Перспективы непрерывного контроля положения ТК ГСС методом базисного приема сигналов спутникового телевидения/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сибирякова Е.С., Халолей М.И., Шульга А.В.//Тези докладів конференції «Щорічна робоча нарада Української мережі лазерної локації та української мережі оптичних станцій (УМОС)». Миколаїв, 2013. — С. 14-15.
10. Bushuev F. Results of the continuous monitoring of the position of a geostationary telecommunication satellite by the method of spatially separated receiving signals of digital satellite television/ Bushuev F., Kalyuzhnyi M., Shulga O.// The Abstract Book of the 4th International Scientific Conference “Baltic Applied Astrodynamics and Space Data Processing (BAASP)”. Ventspils, Latvia, 2015. — P. 15-16.
11. Бушуев Ф.И. Визначення координат телекомунікаційних геостационарних супутників методом радіоінтерферометрії сигналів цифрового супутникового телебачення/ Бушуев Ф.И., Калюжный М.П., Сибирякова Е.С., Шульга О.В., Москаленко С.С., Балагура О.А., Кулішенко В.Ф.// Тези доповідей конференції «15-а Українська конференція з космічних досліджень». Одеса, 2015. — С. 161.

12. Shakun L. Passive correlation ranging of a geostationary satellite using DVB-S payload signals/ Shakun L., Bushuev F., Kaliuzhnyi M, Shulga O., Sybiryakova Ye., Bezrukovs V., Moskalenko S., Kulishenko V., Balagura O.// The Abstract Book of the 16-th Odessa International Astronomical Gamow Conference-School “Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Cosmomicrophysics, Radio-astronomy and Astrobiology”. Odessa, Ukraine, 2016. — P. 45.
13. Kaliuzhnyi M.P. Monitoring of the orbital position of geostationary satellite by the spatially separated reception of signals of digital satellite television/ Kaliuzhnyi M.P., Bushuev F.I., Sybiryakova Y.S., Shulga O.V., Shakun L.S., Bezrukovs V., Kulishenko V.F., Moskalenko S.S., Malynovskyi Ye.V., Balagura O.A.// The Abstract Book of the International Conference “Actual Questions of Ground-Based Observational Astronomy”. Mykolaiv, Ukraine, 2016. — P. 14-15.

**Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

14. Калюжний М.П. «Синхронізація по GPS користувальницьких програм та часу персонального комп'ютера під управлінням ОС Windows (SYNNAO)»/ Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №47746, від 11.02.2013.
15. Калюжний М.П. «Визначення відносної затримки сигналу по функції взаємної кореляції (DELNAO)». Авторське свідоцтво на програмний продукт/ Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №53285, від 24.01.2014.
16. Пасивний кореляційний спосіб визначення положення космічного апарата / Калюжний М.П., Шулга О.В., Бушуєв Ф.І. // Заява про видачу патенту України на корисну модель UA04-ІК/567. Державна служба інтелектуальної власності Український інститут інтелектуальної власності. 23.03.2017.

**ABSTRACT**

Kaliuzhnyi M.P. Features of the application of radio interferometry technique to determine the elements of the orbit of geostationary satellites. – Qualified scientific work with manuscript rights.

Thesis for a degree of the candidate in Physics and Mathematics sciences (Doctor of Philosophy) on specialty 01.03.01 “Astrometry and Celestial Mechanics”. – Scientific Research Institute “Mykolaiv astronomical observatory”, National Aviation University, Mykolaiv, 2017.

The thesis refers to a method for synchronized reception of the DVB-S pseudo-noise signals of digital satellite TV which was developed to determine the coordinates of geostationary telecommunication satellites (GTS) by a radio interferometry method. Regular observations of the GTS are organized using a network of stations (Kharkiv, Mukacheve, Rivne and Mykolaiv in Ukraine and Ventspils in Latvia) to track their positions. Orbit elements of the tracked satellites are computed using values of time differences of arrival (TDOA) of DVB-S signals measured within a day. The standard deviation of the satellite position determination is less than 225 m for the epoch of the orbit elements. An external comparison of the TDOA, measured by the radio interferometer network, was performed by applying TDOA computed using as ephemerides from [www.space-track.org](http://www.space-track.org) and orbit elements obtained by optical measurements. Standard deviations of the TDOA differences do not exceed 10 m, and average values are within  $\pm 40$  m.

**Keywords:** radio interferometer, geostationary satellite, digital television, orbit elements, correlation, passive radar, TDOA.

## ЗМІСТ

Список умовних позначень та скорочень .....	10
Вступ .....	12
Розділ 1. Контроль положення геостаціонарних супутників Землі .....	19
1.1 Освоєння геостаціонарної зони Землі та її сучасний стан .....	19
1.2 Контроль положення геостаціонарних супутників оптичними засобами .....	24
1.3 Контроль положення геостаціонарних супутників радіотехнічними засобами .....	26
Висновки по розділу 1.....	32
Розділ 2. Визначення орбітального положення ТКГСС по радіоінтерферометричним вимірюванням .....	34
2.1 Вимірювання TDOA .....	34
2.1.1 Особливості визначення TDOA за крос-кореляцією сигналів цифрового супутникового телебачення .....	34
2.1.2 Обчислення TDOA за кореляційною функцією .....	38
2.1.3 Обмеження на довжину базових ліній радіоінтерферометра .....	41
2.1.4 Аналіз похибок визначення TDOA .....	44
2.2 Калібрування станцій радіоінтерферометричної мережі .....	47
2.2.1 Визначення апаратурної затримки .....	47
2.2.2 Визначення діючої частоти дискретизації АЦП .....	50
2.3 Визначення декартових координат WGS84 контрольованого супутника за виміряними значеннями TDOA .....	50
2.4 Визначення елементів орбіти супутника за виміряними значеннями TDOA .....	53
2.4.1 Збурений рух геостаціонарних супутників .....	53
2.4.2 Визначення елементів орбіти геостаціонарних супутників ..	57
Висновки по розділу 2 .....	61

Розділ 3. Розробка та створення радіоінтерферометричної мережі моніторингу ТК ГСС .....	63
3.1 Розробка апаратно-програмного комплексу станцій мережі ...	63
3.1.1 Характеристики апаратного комплексу станцій .....	63
3.1.2 Програмне забезпечення комп'ютерів станцій .....	72
3.2 Апаратне і програмне забезпечення пункту обчислення орбітальних параметрів .....	76
3.3 Створення мережі .....	80
Висновки по розділу 3 .....	87
Розділ 4. Дослідження радіоінтерферометричної мережі моніторингу ТКГСС .....	88
4.1 Випробування мережі в умовах з нульовою базою .....	88
4.1.1 Визначення додаткової затримки сигналу DVB-S та оцінка мінімальної похибки визначення TDOA .....	88
4.1.2 Визначення діючої частоти дискретизації .....	90
4.1.3 Визначення апаратних затримок .....	92
4.2 Результати вимірювання TDOA .....	93
4.2.1 Випробування мережі у складі із двох станцій .....	93
4.2.2 Регулярні спостереження супутника «Eutelsat-25C» мережею у складі із двох станцій .....	97
4.2.3 Регулярні спостереження супутника «Eutelsat-13B» мережею у складі із двох станцій .....	98
4.2.4 Регулярні спостереження супутника «Eutelsat-13B» мережею у складі із чотирьох і п'яти станцій .....	100
4.3 Результати визначення орбітального положення контрольованого супутника .....	105
4.3.1 Визначення декартових координат супутника методом мультилатерації .....	105
4.3.2 Визначення елементів орбіти контрольованого супутника ..	109



4.3.3 Оцінка похибки визначення координат супутника при використанні елементів орбіти, які отримані за вимірними значеннями TDOA .....	113
4.4 Результати зовнішнього порівняння .....	116
4.4.1 Результати порівняння оцінок TDOA, отриманих за даними вимірювань радіоінтерферометричною мережею та за даними відкритого каталогу КО <a href="http://www.space-track.org">www.space-track.org</a> .....	116
4.4.2 Результати порівняння оцінок TDOA, отриманих за даними вимірювань радіоінтерферометричною мережею та за даними оптичних спостережень .....	117
Висновки по розділу 4 .....	118
Висновки .....	121
Список використаної літератури .....	123
Додаток А. Програма оцінки TDOA .....	135
Додаток Б. Акти впровадження .....	162
Додаток В. Елементи орбіти супутника «Eutelsat-13B» .....	171
Додаток Г. Список публікацій .....	213

## СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АЦП	Аналогово-цифровий перетворювач
ДШПФ	Дискретне швидке перетворення Фур'є
ЄКА	Європейське космічне агентство
НДІ «АО» ОНУ	Науково-дослідний інститут «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету
НДІ «МАО»	Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія»
КА	Космічний апарат
КО	Космічний об'єкт
ПЗ	Програмне забезпечення
ПК	Персональний комп'ютер
РНДБ	Радіоінтерферометр з наддовгою базою
РЧ	Радіочастота
СКП	Середньоквадратична похибка
ТК ГСС	Телекомунікаційний геостационарний супутник
DVB-S	Digital Video Broadcasting-Satellite
GPS	Global Positioning System
In	In-phase
IQ	In-phase and Quadrature signals
JPL	Jet Propulsion Laboratory
LNB	Low Noise Block downconverter
LOF	Local Orbital Frame
NORAD	North American Aerospace Defense Command
PPS	Pulse-Per-Second
Qu	Quadrature
RS232	Recommended Standard 232, computer serial interface
TDOA	Time Difference Of Arrival
TLE	Tow Line Elements

TSIP	Trimble Standard Interface Protocol
USB	Universal Serial Bus
WGS84	World Geodetic System 1984
WARC	World Administrative Radio Conference

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Унікальні властивості геостаціонарних орбіт обумовлюють надзвичайно важливе значення супутників на цих орбітах, так як вони забезпечують безперервний зв'язок і постійне спостереження за територією. В останні два десятиріччя на геостаціонарних орбітах розміщуються також елементи регіональних супутникових систем диференційної корекції (Space-Based Augmentation Systems, скорочено SBAS), призначених для підвищення точності глобальних систем позиціонування, таких як GPS (Global Positioning System) та інших. Одним із призначень SBAS є забезпечення безпеки польотів. Відповідні системи впроваджені або плануються для впровадження в США, Євросоюзі, Японії, Китаї, Індії та в інших країнах, включаючи Україну. Спостерігається, таким чином, постійне зростання населеності геостаціонарного поясу, при тому, що розміри геостаціонарної комірки зменшуються і на сьогодні складають  $\sim 0.1^\circ$ , що на орбіті відповідає близько 60 км. Загальною тенденцією є також розміщення декількох супутників в одній геостаціонарній комірці (co-location). В даний час в одній комірці можуть розміщатися шість і більше супутників. Гостроту проблеми збільшує засміченість геостаціонарної зони антропогенними об'єктами, які не функціонують, але знаходяться на навколоземних орбітах.

Працюючі телекомунікаційні геостаціонарні супутники (ТК ГСС) являються особливими об'єктами навколоземного простору. В даний час ТК ГСС розміщені в 185 геостаціонарних комірках. Розміщення двох, трьох, а то і чотирьох ТК ГСС в одній комірці над густонаселеними районами земної поверхні являється розповсюдженою практикою. Таке тісне розміщення потребує безперервного контролю орбітального положення ТК ГСС.

Найбільш поширеними засобами такого контролю являються однопозиційні радары дистанціювання та супроводу по азимуту і куту місця. Похибка визначення кутових координат радаром, що має антену з діаметром

10 метрів і працює на частоті 14 ГГц, становить  $10^{-7}$ , тоді як похибка кодового дистанціювання може бути декілька сантиметрів. В зв'язку з ростом щільності розміщення супутників на геостаціонарних орбітах, існує потреба, по-перше, підвищення точності орбітального супроводу і, по-друге, зменшення рівня електромагнітного опромінювання супутників. В Європейському космічному агентстві (ЄКА) в якості низько бюджетної і високоточної альтернативи активним радарам дистанціювання розглядається система повністю пасивної радіолокації геостаціонарних супутників PaCoRa (Passive Correlation Ranging). Відповідний проект ЄКА був виконаний корпорацією SES (Société Européenne des Satellites) протягом 2010-2013 років. В даний час корпорація SES спільно з Fraunhofer Research Institute впроваджують проект PaCoRa в США. Базовим принципом функціонування системи PaCoRa є використання кореляційного аналізу для обчислення TDOA (Time Difference Of Arrival) — різниці в часі прийому рознесеними у просторі терміналами (станціями) сигналів, випромінюваних супутниками. Тобто, систему PaCoRa можна вважати однією із реалізацій радіоінтерферометра. В результаті моделювання, автори проекту показали, що система PaCoRa із чотирьох рознесених у просторі станцій повинна мати максимальну похибку обчислення координат геостаціонарного супутника приблизно рівну 119 м, що майже на порядок менше відповідної похибки однопозиційного радара дистанціювання. Слід зауважити, що сигнали цифрового супутникового телебачення, які випромінюються ТК ГСС, добре підходять в якості маяка для такого радіоінтерферометра, так як являються широкосмуговими і псевдошумовими, тобто мають вузьку функцію автокореляції.

Важливою перевагою даного радіоінтерферометричного методу є те, що з його допомогою можна супроводжувати довільний ТК ГСС. Потрібно лише розташувати станції радіоінтерферометрів в зоні покриття відповідного супутника. Для обчислення збуреної орбіти ТК ГСС мережа радіоінтерферометрів повинна складатися з чотирьох і більше станцій. Тому

актуальною є науково-технічна задача створення мережі радіоінтерферометрів для безперервного контролю орбітального положення ТК ГСС та розробка методів обчислення елементів орбіти супутників за даними вимірювань TDOA. Створення мережі радіоінтерферометрів може бути доцільною з огляду забезпечення незалежного орбітального супроводу майбутнього українського ТК ГСС «Либідь».

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота є складовою частиною двох фундаментальних робіт Науково-дослідного інституту «Миколаївська астрономічна обсерваторія» (НДІ «МАО»), участь у виконанні яких брав здобувач:

Тема «ФАВОР» – Дослідження динаміки орбітального руху об'єктів навколоземного космічного простору за результатами спостережень наземними оптичними та радіотехнічними засобами. 2011–2013 рр., №0111U000084.

Тема «ОКО» – Визначення та уточнення орбітальних параметрів штучних об'єктів навколоземного космічного простору за наземними оптичними та радіотехнічними спостереженнями. 2014–2016 рр., №0114U003049.

**Мета і задачі дослідження.** Мета дослідження полягає в безперервному контролі орбітальних параметрів ТК ГСС за результатами позиційних спостережень, які проводяться радіоінтерферометричним методом.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

1. Розробити та впровадити метод оцінки TDOA на основі кореляційного аналізу сигналів цифрового супутникового телебачення DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite), які складають корисне навантаження транспортного потоку, що випромінюється контрольованим ТК ГСС і які приймаються станціями радіоінтерферометричної мережі, рознесеними по поверхні Землі.

2. Розробити та впровадити оригінальне програмне забезпечення для розрахунку елементів орбіти ТК ГСС за даними вимірювань TDOA, отриманими протягом доби.

3. Організувати та забезпечити функціонування радіоінтерферометричної мережі для визначення параметрів орбіти ТК ГСС.

4. Реалізувати методи віддаленого доступу в режимі «online» до комп'ютерів радіоінтерферометричної мережі з метою контролю функціонування та оперативного отримання даних спостережень.

*Об'єкт дослідження.* Телекомунікаційні геостационарні супутники.

*Предмет дослідження.* Елементи орбіти ТК ГСС.

*Методи досліджень.* Для підвищення в 5–10 разів точності розрахунку елементів орбіти ТК ГСС використано радіоінтерферометричний метод спостереження контрольованого супутника. Метод базується на кореляційному обчисленні відносних затримок (TDOA) сигналів цифрового супутникового телебачення, синхронно отриманих мережею приймальних станцій, встановлених у містах Харків, Мукачеве, Рівне, Миколаїв (Україна) і Вентспілс (Латвія). Для обчислення елементів орбіти застосовувалася аналітична модель руху супутника SGP4/SDP4 та модель руху, яка базується на чисельному інтегруванні рівнянь руху з врахуванням геопотенціалу несферичної Землі і збурень, обумовлених впливом Місяця і Сонця. Моделі програмно реалізовані в НДІ «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету (НДІ «АО» ОНУ).

**Наукова новизна одержаних результатів.** Під час виконання роботи отримано наступні нові результати:

1. Вперше реалізовано спосіб визначення положення ТК ГСС безпосередньо за сигналами цифрового супутникового телебачення, які вони випромінюють. Спосіб ґрунтується на застосуванні радіоінтерферометричного методу та методу пасивної радіолокації для визначення різниці затримок телевізійних сигналів, які синхронно приймаються географічно рознесеними станціями прийому супутникового

телебачення. Різниця затримок (TDOA) визначається в результаті кореляційного аналізу сигналів, прийнятих станціями.

2. Вперше для безперервного контролю орбітального положення ТК ГСС у відповідності з запропонованим методом організовано та забезпечено функціонування радіоінтерферометричної мережі із п'яти географічно рознесених станцій прийому сигналів цифрового супутникового телебачення.

3. Вперше проводиться щодобове визначення параметрів орбіти контрольованого ТК ГСС за даними вимірювання значень TDOA сигналів цифрового супутникового телебачення радіоінтерферометричною мережею у складі із п'яти географічно рознесених станцій. СКП визначення координат супутника не перевищує 225 м на епоху обчислення елементів орбіти.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

Представлену в роботі експериментальну радіоінтерферометричну мережу можна розглядати в якості прототипу системи безперервного супроводу національного ТК ГСС «Либідь», комерційних супутників інших операторів і геодезичної мережі вимірювання відстані між точками на поверхні Землі та вивчення тропосферних і іоносферних збурень.

#### **Достовірність і обґрунтованість результатів.**

Достовірність даних і їх обґрунтованість базуються на ретельному аналізі випадкових та систематичних похибок спостережень.

Проведено зовнішнє порівняння результатів спостережень з даними оптичних спостережень, виконаних в НДІ «МАО», а також з ефемеридами контрольованого супутника з відкритого каталогу космічних об'єктів, що ведеться США і розміщеному на сайті [www.space-track.org](http://www.space-track.org).

Співставлення значень TDOA, отриманих за даними вимірювань радіоінтерферометричною мережею, з TDOA, обчисленими з використанням елементів орбіти, розрахованими по оптичним вимірюванням, показало, що СКП різниці TDOA не перевищує 3 м, а середнє значення різниці знаходиться в межах  $\pm 32$  м на епоху проведення вимірювань. Відповідні



величини СКП і середнього, отримані для різниці TDOA з використанням ефемерид з сайту [www.space-track.org](http://www.space-track.org), дорівнюють  $\pm 40$  м і  $\pm 10$  м.

### **Особистий внесок здобувача.**

Всі результати, що представлені в дисертації, отримані особисто дисертантом або за його безпосередньою участю. Автор приймав участь у виконанні робіт, аналізі та інтерпретації приведених у дисертації результатів.

Безпосередньо особистий внесок автора в друкованих роботах наступний: [1] – автор приймав участь у проведенні спостережень, у обговоренні результатів, також автором написана друга глава в частині, що стосується програмного забезпечення радіотехнічного комплексу, автором самостійно написана третя глава; [2] – автор приймав участь у проведенні спостережень, автором самостійно написана перша та друга глави, а також третя глава в частині визначення діючої частоти дискретизації цифрового USB-осцилографа; [3] – автор приймав участь у проведенні спостережень, автором самостійно написана друга глава та виконана оцінка точності; [4] – автор приймав участь у проведенні спостережень, самостійно написані перша, друга та четверта глави; [5] – автор приймав участь у проведенні спостережень, самостійно написані вступ, перша і друга глави, а також виконані обчислення значень TDOA як за даними спостережень, так і з використанням двох моделей руху супутника.

[6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] – автор приймав участь в отриманні та обговоренні результатів, самостійно написані тексти повідомлень [6], [11] і [13]; авторські свідоцтва [14, 15] отримані автором самостійно, заява про видачу патенту [16] написана автором в частині опису корисної моделі та аналогів.

### **Апробація результатів дисертації.**

Основні результати, що увійшли до дисертації, представлялись та доповідались на:

1. International Conference “Astronomical Research: From Near-Earth Space to the Galaxy” (м. Миколаїв, 26-29 вересня 2011 р.).
2. IV Международном специализированном симпозиумі «Космос и глобальная безопасность человечества» (м. Євпаторія, 3-7 вересня 2012 р.).
3. «International meeting on variable stars research Kolos 2012» (м. Стакін, Словаччина, 6–8 грудня 2012 р.).
4. «Щорічна робоча нарада Української мережі лазерної локації та української мережі оптичних станцій (УМОС)» (м. Миколаїв, 29-30 жовтня 2013.).
5. 4th International Scientific Conference “Baltic Applied Astroinformatics and Space data Processing” (м. Вентспілс, Латвія, 20-21 серпня 2015 р.).
6. 15-а Українська конференція з космічних досліджень (м. Одеса, 24-28 серпня 2015.).
7. 16-th Odessa International Astronomical Gamow Conference-School “Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Cosmomicrophysics, Radio-astronomy and Astrobiology” (м. Одеса, 14-20 серпня 2016.).
8. International Conference “Actual Questions of Ground-Based Observational Astronomy” (м. Миколаїв, 26-29 вересня 2016 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 5 фахових виданнях [1–5], а також в 9 матеріалах конференцій [6–13], в двох авторських свідоцтвах на програмний продукт [14-15], та в одній заяві про видачу патенту [16].

# РОЗДІЛ 1

## КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕННЯ ГЕОСТАЦІОНАРНИХ СУПУТНИКІВ ЗЕМЛІ

### 1.1 Освоєння геостаціонарної зони Землі та її сучасний стан

Супутники, розміщені на геостаціонарних орбітах, мають важливе значення для людства завдяки унікальним властивостям цих орбіт: космічний об'єкт (природний або штучний), потрапивши на геостаціонарну орбіту, майже не рухається відносно поверхні Землі. В першому наближенні всі космічні об'єкти на геостаціонарних орбітах знаходяться в площині екватора на відстані приблизно 36000 км від поверхні Землі, а їхнє положення на орбіті визначається довготою точки на екваторі над якою знаходиться об'єкт. Важливою характеристикою є довжина окружності, на якій можуть розміщатися геостаціонарні космічні об'єкти, і вона дорівнює приблизно 265000 км.

Вперше концепція геостаціонарної орбіти була запропонована словенським теоретиком космонавтики Генріхом Поточником [1]. В 1929 році він опублікував під псевдонімом Herman Noordung книгу “Das Problem der Befahrung des Weltraums – Der Raketen Motor”, в якій описав космічну станцію для метеорологічних спостережень, розташовану на геостаціонарній орбіті. В 1945 році Артур Кларк, в подальшому всесвітньо відомий письменник-фантаст, знайомий з роботою Г. Поточника, опублікував в журналі «Wireless World» статтю з назвою «Extra-Terrestrial Relays», в якій вперше пояснив переваги геостаціонарних супутників для цілей зв'язку. Тому інколи область космічного простору, де проходять геостаціонарні орбіти, називають «поясом Кларка». А. Кларк вважав, що три супутника на геостаціонарних орбітах достатньо, щоб забезпечити зв'язком майже всю територію Землі [2].

Перший геостаціонарний комунікаційний супутник «Syncom-3» був запущений NASA (National Aeronautics and Space Administration) в 1964 році. Перший комерційний супутник зв'язку «Intelsat I» (никнейм «Early Bird») з'явився на геостаціонарній орбіті в 1965 році через двадцять років після публікації статті А. Кларка [3]. Його вага була всього 35 кг, а розміри 76х61 см. Він мав два 6-ватних транспондера (прилади для автоматичної прийомо-передачі заздалегідь обумовлених сигналів заданої частоти і поляризації). Термін його служби становив 18 місяців. Знаходився супутник над Атлантичним океаном в геостаціонарній комірці з довготою 28° з.д.. А ще через двадцять років телекомунікаційні геостаціонарні супутники (ТК ГСС) забезпечували передачу телебачення повсюди на земній кулі, не зважаючи на кордони. Поява в 1990-х цифрового відео, послуг передачі даних і Internet спричинили вибух в розвитку телекомунікаційної індустрії. Спеціалісти французької корпорації «Eutelsat», яка є одним із світових лідерів супутникового радіо і телемовлення, власником і оператором 40 комерційних геостаціонарних супутників, не без підстав вважають, що в наші часи саме завдяки супутникам, які забезпечують зв'язок людей де б вони не знаходилися, настала ера «глобального села» (global village) [4]. Концепція «global village» була запропонована канадським філософом і інтелектуалом Г. М. МакЛуханом в 60-х роках минулого століття.

Сьогодні геостаціонарні супутники можуть працювати на орбіті не менше 15 років, мають вагу від 2 до 6 тон, потужність їхніх електричних генераторів становить від 6 до 12 кВт, що забезпечує роботу не менше 60 транспондерів, кожен з яких може передавати до 10 телевізійних каналів [4]. При цьому довжина сонячних батарей супутника сягає 40 метрів. За час, що пройшов з початку запуску перших геостаціонарних супутників, не менш різке змінився кількісний бік освоєння людством геостаціонарних орбіт.

В перше десятиріччя практичного освоєння геостаціонарних орбіт вважалося, що переповнення геостаціонарному поясу не загрожує, а основним фактором, який обумовлює щільність розміщення супутників на

геостаціонарних орбітах, є забезпечення умов електромагнітної сумісності. Згідно оцінки, наведеній в [2], на геостаціонарних орбітах можна розмістити не більше 100-180 супутників, які працюють в загальній полосі частот. Отже в 1971 році WARC (World Administrative Radio Conference), всесвітня конференція по радіозв'язку, що кожні декілька років організовується Міжнародним союзом електрозв'язку (International Telecommunication Union або скорочено ІТУ, спеціальне агентство ООН), визнала геостаціонарну орбіту «обмеженим природним ресурсом» подібно до радіочастотного спектру [5]. В 1976 році декілька екваторіальних держав заявили про поширення їхнього суверенітету на частину космічного простору, що знаходиться над їхніми територіями і де проходять орбіти геостаціонарних супутників. Однак, ці домагання були відхилені як такі, що суперечать принципу неприсвоєння космічного простору.

З 1977 року WARC почала виконувати роботу по розподіленню та видачі довготних геостаціонарних позицій. В багатьох випадках одна і та ж довгота надавалася декільком космічним апаратам, які належали як одному власнику, так і різним власникам. Виходячи з умов електромагнітної сумісності, було прийнято, що розміри геостаціонарної комірки повинні становити 100 км по довготі і широті і 50 км по висоті [5]. Пізніше деякі космічні агентства заявили, що існує потенціальний ризик фізичного зіткнення їхніх супутників. Однак, в зв'язку з тим, що не було зафіксовано випадків зіткнення діючих супутників, відсутні відповідні звернення до WARC. Навпаки, сьогодні вважається, що розміри геостаціонарної комірки повинні становити 70x70x35 км [6].

В книзі [5] з кроком  $1^\circ$  наводиться діаграма розподілу кількості геостаціонарних супутників в залежності від довготи, отримана Європейським космічним агентством (ЄКА) станом на середину 1993 року. Діаграма майже не містить прогалін. При цьому максимальна прогалина не перевищує  $3^\circ$ . Всього на діаграмі показано положення 481 об'єкта, із них 286 є діючими геостаціонарними супутниками. На рис. 1.1 наведені більш

свіжіші дані (станом на середину 2010 року) про кількісний розподіл комерційних геостационарних супутників в залежності від довготи, отримані корпорацією Boeing [7]. На рисунку наведені положення близько 300 супутників. Крім назви для кожного супутника дається також діапазон робочих частот. Умовні позначення частотних діапазонів приведені в лівому нижньому куті рисунку, які означають наступне: UHF – Ultra High Frequencies (300-3000 МГц), MSS – Mobile Satellite Services, Hybrid – робота в декількох діапазонах, Ku-band, L-band, S-band та Ka-band – загальноприйняті частотні діапазони 12-18 ГГц, 1-2 ГГц, 2-4 ГГц та 26.5-40 ГГц, відповідно.

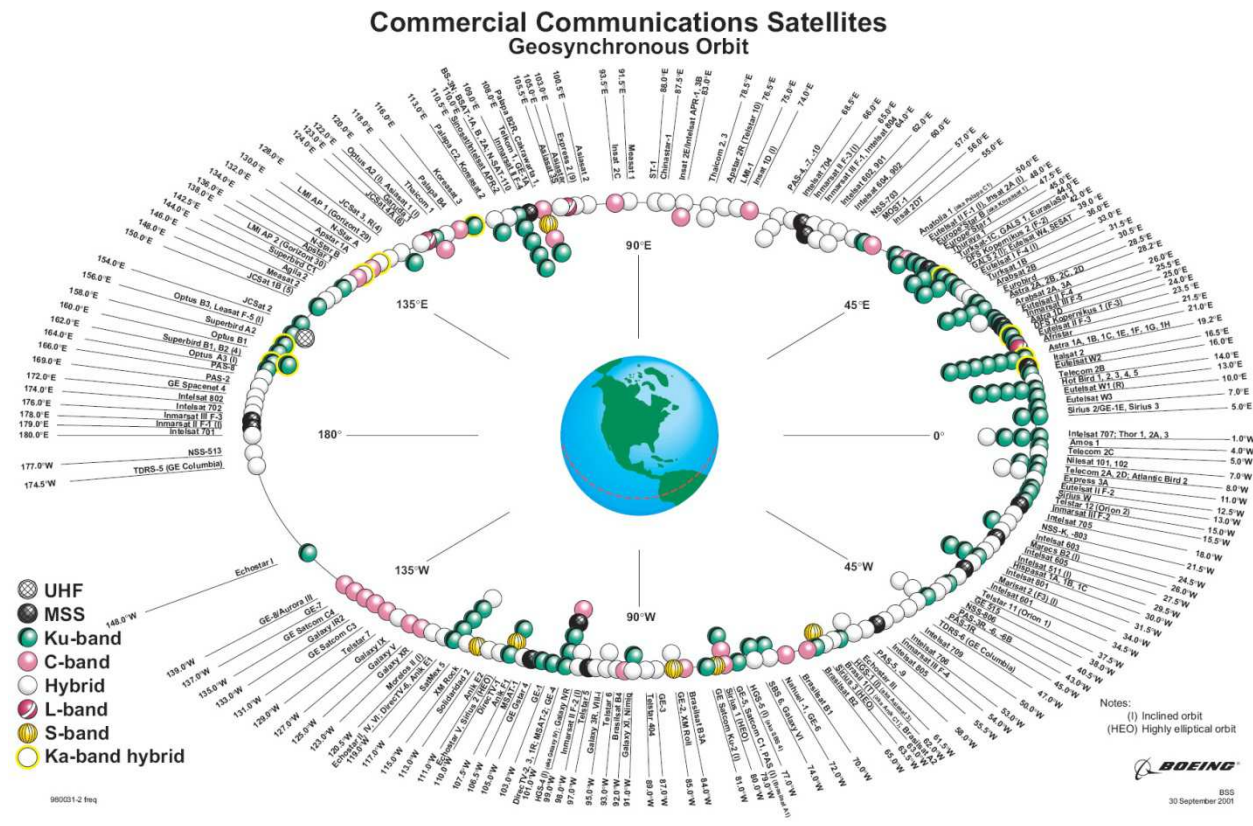


Рисунок 1.1 – Комерційні телекомунікаційні супутники на геостационарних орбітах за даними корпорації Boeing станом на 30 червня 2010 року [7].

Звертає на себе увагу прогалина в заселенні геостационарного пояса довжиною більше 20 градусів з 148.0° по 174.5° з.д., яка розташована над Тихим океаном. Таку ж прогалину можна знайти в даних популярних сайтів <http://www.satbeams.com/> і <https://www.lyngsat.com/>, присвячених

супутниковому телебаченню і радіо. За даними цих сайтів сьогодні 362 діючих ТК ГСС розміщені в 185 геостаціонарних комірках. Відсутність такої прогалини в даних ЄКА, наведених в [5], може означати те, що навіть над пустельними районами Землі космічні держави тримають некомерційні геостаціонарні супутники, наприклад, для спостережень в інтересах обороноздатності своїх країн.

Слід зазначити ще одну важливу особливість населеності геостаціонарного поясу. Розповсюдженою практикою є розміщення двох, трьох, а то і чотирьох супутників в одній комірці або англійською co-location. При цьому дана тенденція буде тільки зростати, так як зростає попит на геостаціонарні супутники, наприклад, в зв'язку з розміщенням такими космічними державами, як Китай і Індія, елементів своїх регіональних навігаційних супутникових систем на геостаціонарних орбітах. США, Євросоюз, Японія вже розмістили на геостаціонарних орбітах елементи своїх регіональних систем диференційної корекції (Space-Based Augmentation Systems, скорочено SBAS), призначених для підвищення точності глобальних систем позиціонування, таких як GPS (Global Positioning System) та інших. Системи SBAS призначені, перш за все, для навігаційного забезпечення безпеки польотів. Існує навіть пропозиція використовувати геостаціонарні супутники, розташовані в одній комірці для визначення координат наземних приймачів цифрового супутникового телебачення [8].

Хоча зіткнення діючих геостаціонарних супутників не зафіксовано, існують достатньо достовірні дані про випадки їхнього зіткнення з космічним сміттям [9]. Вірогідність такого зіткнення зростає в зв'язку зі збільшенням кількості сміття на геостаціонарних орбітах. Так, з наведених вище даних витікає, що станом на середину 1993 року на геостаціонарних орбітах знаходився 481 об'єкт, із них майже 200 об'єктів – космічне сміття, включаючи недіючі космічні апарати та відпрацьовані ступені ракет-носіїв [5]. Менше ніж через 10 років кількість сміття зросла більше, ніж вчетверо і перевищила 800 об'єктів [1]. Крім зіткнення зі сміттям з загостренням

міжнародної обстановки зростає вірогідність навмисного втручання в функціонування геостаціонарних супутників з метою виведення їх із ладу [10].

Існують також природні чинники, які обумовлюють змінення з часом параметрів орбіти геостаціонарних супутників. Це перш за все збурення орбіти, викликані впливом гравітаційного тяжіння Місяця і Сонця. Вважається, що термін служби геостаціонарного супутника в основному визначається запасом палива, яке необхідне для періодичної корекції його орбіти, збуреної під впливом природних факторів.

Великий інтерес викликає також вивчення гравітаційного поля Землі, коли геостаціонарний супутник розглядається як «пробна частка», що знаходиться в гравітаційному полі системи тіл. Наприклад, в роботі [11] було розглянуто гравітаційний ефект Доплера та отримана оцінка швидкості відставання годинника на поверхні Землі порівняно з годинником, розміщеним на геостаціонарній орбіті, яка становила 0.02 секунди за рік. В роботі [12] пропонувалося провести вимірювання відстані до геостаціонарного супутника з метою оцінки релятивістських ефектів, викликаних обертанням Землі навколо своєї вісі і навколо Сонця та оцінки еквівалентності інерційної і гравітаційної мас Землі.

Отже, тісне розміщення супутників на геостаціонарних орбітах, природні та антропогенні чинники впливу потребують, як забезпечення безперервності контролю, так і зменшення похибки визначення орбітального положення геостаціонарних супутників.

## **1.2 Контроль положення геостаціонарних супутників оптичними засобами**

Традиційні оптичні засоби та засоби лазерної локації, як більш точні, використовуються для калібрування радіотехнічних засобів. Системи супутникової лазерної локації (Satellite Laser Ranging (SLR)) є, згідно [13],



найбільш точними. Похибка визначення відстані між лазерною установкою і відбивачем в даний час становить 2-3 мм [14]. В роботах [15, 16, 17] повідомляється про тестування з допомогою SLR мережі регіональних станцій високоточного визначення орбіт геостаціонарних супутників. Ця мережа є частиною другого покоління супутникової навігаційної систем BeiDou, що розгортається Китаєм і має також назву COMPASS або BeiDou-2.

Традиційні наземні оптичні засоби широко використовуються в системах контролю космічного простору, в том числі і на геостаціонарних орбітах. В 2011 році міжнародною мережею ISON (International Scientific Optical Network) за допомогою 14 телескопів з апертурою 0.22 м и 0.25 м проведено 560994 вимірювань положень геостаціонарних об'єктів [18]. Похибка визначення кутових координат знаходилася в інтервалі від 1.49 до 6.50 кутових секунд. В роботах канадських дослідників [6, 19] повідомляється про розробку і тестування (в том числі по об'єктам, розташованими на геостаціонарних орбітах) малого оптичного сенсора (діаметр телескопа 0.36 м) – базового елемента майбутньої розподіленої автоматизованої системи спостереження космічного простору як наземного, так і космічного базування. Похибка сенсора була визначена за спостереженнями супутників GPS і склала одну кутову секунду. В рамках виконання проекту PASAGE (Astrometric Positioning of Geostationary Satellites) проводилось спостереження геостаціонарних об'єктів з допомогою телескопів діаметром 0.33 м і 2 м, а також була розроблена методика, яка дозволила визначати кутові координати таких об'єктів з похибкою в декілька десятих кутової секунди [20, 21]. Ця методика не потребує використання великих телескопів або спеціальних місць для спостереження зі сприятливим астрокліматом. В роботі [22] повідомляється про спостереження геостаціонарних об'єктів з похибкою в межах 0.30 – 0.47 кутової секунди. Спостереження проводились на 2-х метровому телескопі астрономічного комплексу «Цейсс-2000», розташованого на горі Терскол (висота 3150 м).

В НДІ «МАО» також спостерігалися геосинхронні об'єкти за допомогою телескопа швидкісного астрономічного комплексу, оснащеного об'єктивом системи Максудова (діаметр 0.3 м). Протягом 2008-2010 років був отриманий каталог 31883 положень 67 геосинхронних космічних об'єктів 10–16 зоряної величини. Середньоквадратична похибка (СКП) положень космічних об'єктів знаходилося в межах від 0.26 до 0.91 кутової секунди [23].

### **1.3 Контроль положення геостаціонарних супутників радіотехнічними засобами**

На відміну від оптичних спостережень радіоспостереження не залежать від погодних умов. Повідомляється про розробку методів визначення положення геостаціонарних супутників за допомогою GPS [24, 25], але ці методи поки не знаходять широкого практичного застосування. Головна причина – низький рівень навігаційних сигналів на геостаціонарних висотах, обумовлений взаємним розташуванням геостаціонарних і навігаційних супутників. Навігаційні супутники випромінюють сигнал в напрямку на Землю. В напрямку геостаціонарних супутників випромінюється сигнал лише з бічних та задніх пелюстків діаграми направленості антени або з головного пелюстка, але коли навігаційний супутник знаходиться з протилежного боку Землі по відношенню до геостаціонарних супутників.

Найбільш поширеним радіотехнічним засобом супроводу геостаціонарних супутників є однопозиційний радар, який має вузько направлену антену, призначену для супроводу супутника за азимутом та кутом місця та систему тонового або кодового дистанціювання, призначену для визначення дальності. В діапазоні радіохвиль точність вимірювання кутових координат пасивним або активним однопозиційним радаром значно поступається оптичним спостереженням. Так, на частоті 14 ГГц за допомогою антени діаметром 10 м, яка широко використовується для

контролю ТК ГСС, похибка супроводу може досягати 10 кутових секунд [13] і навіть більше [5], що обумовлює похибку обчислення координат геостаціонарного супутника на рівні декількох кілометрів.

Значно більше високу точність мають вимірювання відстані: дистанціювання або ranging. В класичному випадку двосторонньої радіолокації наземна станція визначає час розповсюдження, який пропорційний подвоєній відстані між станцією і супутником. Розрізняють системи з тоновим і кодовим дистанціюванням. Типова похибка тонової системи дистанціювання становить 15 м [13]. Системи з кодовим дистанціюванням використовують псевдовипадковий код для модуляції несучої. Час розповсюдження сигналу визначається за кореляцією прийнятого та випроміненого сигналів. Згадувана вище навігаційна система COMPASS в своєму складі має декілька наземних станцій стеження, які використовують кодове дистанціювання і працюють в діапазоні 4–8 ГГц. Похибка дистанціювання геостаціонарних супутників, обладнаних відповідними транспондерами, становить декілька сантиметрів [26].

Одним з недоліків радара є те, що, у відповідності до принципу дії, радар випромінює спеціальні сигнали дистанціювання у напрямку супутника, які, після їх прийому, випромінюються супутником назад в напрямку радара. Тобто, виникає проблема електромагнітної сумісності, яка є дуже гострою для геостаціонарних супутників, насичених різноманітним електронним обладнанням. Цієї проблеми вдалося уникнути в системі DARTS (Digital Advanced Ranging with Transport-stream Signals), спільній розробці компанія SES (Société Européenne des Satellites) Astra і Інституту інтегральних схем ім. Фраунгофера (Фраунгофер ІС), завдяки використанню транспортного потоку з корисним навантаженням для передачі сигналів дистанціювання [27]. Система була створена для контролю положення геостаціонарних космічних апаратів (КА), що транслюють цифрове супутникове телебачення в форматі DVB-S. Система може працювати, як в однопозиційному, так і в багатопозиційному варіанті. Система може контролювати лише свої КА, так

як для визначення моменту випромінювання пакету дистанціювання один із приймачів повинен бути суміщений зі штатним передавачем корисного навантаження. Для визначення моменту випромінювання на вхід приймача подається сигнал зі спеціального відгалуження в антено-фідерному тракті передавача. Передавач і приймач при цьому мають один спільний опорний генератор. Для визначення відстані до супутника рознесеними у просторі приймачами, момент випромінювання передається їм з приймача, суміщеного з передавачем. Тобто, у випадку несправності цього приймача, вся система перестає працювати. Як момент випромінювання, так і момент прийому пакету визначається з використанням згортки випроміненого та прийнятого сигналів з опорним сигналом. Опорний сигнал формується у відповідності до повідомлення, отриманого після декодування прийнятого сигналу, за допомогою тракту аналогічного тому, який використовується для формування випромінюваного та обробки прийнятого сигналів. Так як декодування сигналу потребує часу, прийнятий сигнал після оцифрування попередньо запам'ятовується. Для згортки використовуються оцифровані сигнали з виходу квадратурного детектора приймача. Багатопозиційна система DARTS синхронізується за допомогою GPS. При цьому в якості опорного сигналу приймачів DVB-S, включаючи їхні АЦП (аналого-цифровий перетворювач), використовується сигнал 10 МГц, що формується приймачами GPS. На рис. 1.2 наводиться фотографія базового пристрою системи, приймача DRR (Dual Ranging Receiver) [28].



Рисунок 1.2 – Приймач DRR системи DARTS. Взято з [28].

Не зважаючи на високу точність визначення дальності, яка є кращою ніж 0.3 м, у випадку однопозиційної DARTS похибка визначення координат супутника співпадає з похибкою традиційного радара дистанціювання, так як обумовлена похибками визначення кутових координат супутника. Випробовування трьох позиційної DARTS показали, що система також має невисоку точність визначення координат супутника, обумовлену, на думку авторів, недостатньою точністю синхронізації системи за допомогою GPS [28]. Наведена похибка визначення дальності отримана DARTS для сигналу DVB-S з шириною спектру 30 МГц. Цю похибку, зважаючи на умови експерименту, можна вважати мінімально можливою для такого сигналу. Зазначимо також, що сигнал DVB-S має псевдошумовий характер, а отже його автокореляційна функція близька до  $\delta$ -функції, тобто, даний тип сигналу є ідеальним для використання в пристроях вимірювання затримки.

Для підвищення точності часто використовуються два і більше радара, рознесені у просторі. Іспанська компанія CRISA, однак, при підтримці Європейського космічного агентства, для зменшення похибки визначення радаром кутових координат геостаціонарних супутників, розробила радіоінтерферометр з базою порядку 250 метрів [29, 30]. Ідея такого інтерферометра була запозичена авторами з роботи [5]. Незначна відстань між антенами дозволила використовувати в радіоприймачах інтерферометра спільний гетеродин, а також дозволила зменшити фазові похибки за рахунок використання охолоджених оптоволоконних ліній для передачі радіосигналів з виходів антен на входи змішувачів. Похибка визначення кутових координат цим радіоінтерферометром на частоті 13 ГГц склала близько 1".

Протягом 2010 – 2013 років корпорацією SES при підтримці ЄКА було виконано проект по розробці повністю пасивної системи радіолокації геостаціонарних супутників PaCoRa (Passive Correlation Ranging) [31, 32]. Базовим принципом функціонування системи PaCoRa є використання кореляційного аналізу для обчислення TDOA (Time Difference Of Arrival) –

різниці в часі прийому рознесеними у просторі терміналами (станціями) сигналів, випромінюваних супутниками. Тобто, за цим принципом систему PaCoRa можна вважати однією із реалізацій радіоінтерферометра.

В доповіді [33] повідомляється, що система PaCoRa у складі з двох терміналів випробувалась протягом двох діб у березні 2014 року. Синхронізація терміналів здійснювалася за допомогою GPS. При цьому 17 супутників одночасно супроводжувалися як системою PaCoRa, так і традиційною станцією дистанціювання. Були отримані похибки визначення величин  $\Delta r = c \cdot TDOA$  і  $R$ , де  $c$  – швидкість світла,  $\Delta r$  – різниця нахилених дальностей до супутника від терміналів, а  $R$  – відстань до супутника, виміряна радаром дистанціювання. Ці похибки співпали і дорівнювали приблизно 2 метрам. Однак, максимальні похибки обчислення координат супутника двома системами суттєво відрізнялися і дорівнювали 119 м і 1008 м відповідно, для системи PaCoRa і для радара дистанціювання. Зауважимо, що похибки координат були отримані в результаті моделювання. Вважалося, що до складу системи PaCoRa входять чотири термінала. Крім місць дислокації терміналів PaCoRa та радара інші параметри моделей не повідомляються.

В даний час корпорація SES спільно з Fraunhofer Research Institute впроваджують проект PaCoRa в США. Так, за повідомленням компанії NILTRON, виробника механізованих супутникових антен високоточного наведення, у вересні 2015 виготовлення для цього проекту п'яти антен на монтуванні VSAT (Very Small Aperture Terminal) знаходилося на фінальній стадії [34]. На рис.1.3 приводиться зображення антен, взяте з повідомлення [34].

Слід зазначити, що мережі радіоінтерферометрів з наддовгими базами (РНДБ), як і традиційні оптичні засоби та засоби лазерної локації, використовуються для калібрування радіотехнічних систем. Наприклад, китайська мережа РНДБ із чотирьох станцій була використана для

калібрування засобів контролю положення геостаціонарних супутників, які входять в китайську супутникову навігаційну систему COMPASS [26].



Рисунок 1.3 – Антени для проекту RaCoRa, впроваджуваному в США [34].

Для маяка з шириною спектра 2 МГц похибка визначення координат супутників становила приблизно 10 метрів, тоді як похибка  $\Delta r$  була рівна  $\sim 1$  м. Для визначення орбітального положення супутника при цьому використовувалися сучасні моделі, як руху супутників, так і вимірювань, які враховують гравітаційне тяжіння Місяця і Сонця, вплив приливів, гравітаційне тяжіння несферичної Землі, тропосферну рефракцію та інші фактори.

Важливою перевагою повністю пасивного радіоінтерферометричного методу є те, що за його допомогою можна супроводжувати довільний ТК ГСС. Потрібно лише розташувати станції радіоінтерферометрів в зоні покриття відповідного супутника. Для обчислення збуреної орбіти ТК ГСС мережа радіоінтерферометрів повинна складатися з чотирьох і більше станцій. Тому актуальною є науково-технічна задача створення мережі радіоінтерферометрів для безперервного контролю орбітального положення ТК ГСС та розробка методів обчислення елементів орбіти супутників за даними вимірювань TDOA. Створення мережі радіоінтерферометрів може

бути доцільною з огляду забезпечення незалежного орбітального супроводу майбутнього українського ТК ГСС «Либідь» технічними комплексами, які можуть бути виготовлені в Україні.

### **Висновки по розділу 1**

1. На сьогодні супутники, розміщені на геостаціонарних орбітах, завдяки унікальним властивостям цих орбіт, відіграють важливу роль в суспільному житті людства, забезпечуючи глобальний зв'язок і безперервне спостереження майже за всією територією Землі. Тісне розміщення супутників на геостаціонарних орбітах, природні та антропогенні чинники впливу потребують безперервного контролю і зменшення похибки визначення їхнього орбітального положення.

2. Найбільш поширеними оптичними засобами, які використовуються для визначення положення геостаціонарних супутників Землі, є телескопи з апертурою до 0.5 м. Похибка визначення кутових координат суттєво залежить від методики спостережень і коливається, в основному, від 0.3 до 1 кутової секунди. Оптичні системи лазерної локації є найбільш точними. Похибка визначення відстані між лазерною установкою і відбивачем, встановленим на супутнику, становить 2-3 мм. Дані системи разом з традиційними оптичними засобами та з мережами РНДБ, як більш точні, використовуються для калібрування радіотехнічних засобів.

3. Основним засобом супроводу геостаціонарних супутників, який забезпечує безперервний контроль їхнього орбітального положення, на сьогодні є однопозиційний радар тонового або кодового дистанціювання з вузько направленою антеною. Похибка визначення координат супутника однопозиційними радарними становить декілька кілометрів.

4. Розвиток глобальної супутникової навігації, здатної забезпечити синхронізацію пристроїв незалежно від відстані між ними, обумовив розробку дешевої повністю пасивної розосередженої у просторі



радіотехнічної системи (мережі), призначеної для визначення положення геостаціонарних супутників. Базовим принципом функціонування такої мережі є принцип радіоінтерферометрії: використання кореляційного аналізу для обчислення рознесеними у просторі станціями TDOA сигналів, випромінюваних супутниками. Європейське космічне агентство вважає її високоточною альтернативою для традиційних радарів позиціонування.

5. Створення повністю пасивної мережі радіоінтерферометрів може бути доцільною з огляду забезпечення незалежного орбітального супроводу майбутнього українського ТК ГСС «Либідь» технічними комплексами, які можуть бути виготовлені в Україні.

## РОЗДІЛ 2

### ВИЗНАЧЕННЯ ОРБИТАЛЬНОГО ПОЛОЖЕННЯ ТКГСС ПО РАДІОІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНИМ ВИМІРЮВАННЯМ

#### 2.1 Вимірювання TDOA

**2.1.1 Особливості визначення TDOA за крос-кореляцією сигналів цифрового супутникового телебачення.** Розроблений та впроваджений автором у співпраці з колегами підхід до вирішення завдання визначення положення ТК ГСС ґрунтується на кореляційному аналізі сигналів цифрового супутникового телебачення DVB-S, які складають корисне навантаження транспортного потоку, що випромінюється контрольованим ТК ГСС і які синхронно (по GPS) реєструються рознесеними у просторі приймачами (станціями). В результаті кореляційного аналізу обчислюються різниці в часі прийому цих сигналів парами станцій – величини TDOA (Time Difference Of Arrival). У цьому відношенні запропонований підхід еквівалентний вживаному в радіоінтерферометрії, коли в результаті кореляційного аналізу прийнятих радіоінтерферометром радіосигналів визначаються просторові характеристики джерела цих радіосигналів.

Істотна відмінність полягає в вимогах, які пред'являються до приймачів. Оскільки в радіоастрономії досліджуються надзвичайно віддалені від Землі джерела радіовипромінювання, то радіотелескопи – складові радіоінтерферометрів – являють собою надчутливі радіоприймачі з антенами, розміри яких часто сягають десятки і сотні метрів. Високі вимоги пред'являються до стабільності і ідентичності амплітудно-фазових характеристик приймальних трактів радіотелескопів. Все це в свою чергу потребує використання, в тому числі, квантових стандартів часу і частоти в якості опорних генераторів і криогенних установок для охолодження вхідних каскадів радіоприймачів.

До приймачів цифрового супутникового телебачення таких жорстких вимог нема, не дивлячись на те, що для передачі цифрового потоку можуть використовуватися значення як амплітуди, так і фази радіосигналу. В даний час в супутниковому телебаченні існують два стандарти передачі інформації: DVB-S і DVB-S2. Стандарт DVB-S передбачає використання тільки фазової модуляції QPSK (Quaternary Phase Shift Keying), яка також називається квадратурною фазовою маніпуляцією [35]. У випадку стандарту DVB-S2 для передачі інформації може використовуватися будь-який із наступних видів модуляції: QPSK, 8PSK (8-ary Phase Shift Keying), 16APSK (16-ary Amplitude and Phase Shift Keying) або 32APSK (32-ary Amplitude and Phase Shift Keying) [36]. В обох випадках фаза радіосигналу на виході приймача повинна співпадати з фазою випроміненого сигналу, так як саме від її величини залежить значення прийнятого символу. Тобто, сигнали в приймачах DVB-S(S2) детектуються когерентно. Крім того, інформація в телебаченні передається синхронно. Отже, для функціонування системи цифрового супутникового телебачення потрібно забезпечити тактову синхронізацію і відновлення несучої [37, 38]. Для відновлення несучої і, відповідно, фази вихідного сигналу в приймачах DVB-S(S2) використовується петля автоматичного підстроювання фази або PLL (Phase-Locked Loop) [39], коли фаза гетеродину змінюється таким чином, щоб компенсувати додаткові набіги фази, індивідуальні для кожного приймача і забезпечити тактову синхронізацію, яку називають синхронізацією символів: відповідність вихідної послідовності символів відомій інформаційній структурі транспортного потоку. Саме використання відновлення несучої та синхронізації символів значно спрощує апаратну реалізацію та зменшує експлуатаційні витрати приймачів супутникового телебачення. Зазначимо, що обов'язковим елементом приймачів цифрового супутникового телебачення є квадратурний детектор [40]. На виході квадратурного детектора маємо два сигнали на нульовій частоті: прямий сигнал  $I_n$  (In-

phase) та квадратурний сигнал Qu (Quadrature), отриманий з прямого сигналу в результаті перетворення Гільберта, яке полягає в тому, що всі спектральні компоненти прямого сигналу зміщують по фазі на  $-90^\circ$  для позитивних частот і на  $+90^\circ$  – для негативних. Для гармонічних сигналів, якими є сигнали цифрового супутникового телебачення на протязі тривалості символу, це означає, що сигнали In і Qu пропорційні функціям  $\cos$  і  $\sin$  від фази сигналу  $\psi$  і в сукупності утворюють комплексний сигнал. Прийнято вважати, що прямий сигнал In є дійсною частиною цього комплексного сигналу, а сигнал Qu – мнимою. Позначимо через  $a_I$  і  $a_Q$  значення амплітуд сигналів In і Qu. Тоді амплітуду  $A$  і фазу  $\psi$  комплексного сигналу легко знайти, скориставшись відомими співвідношеннями:

$$A = \sqrt{a_I^2 + a_Q^2},$$

$$\psi = \arctg 2(a_Q, a_I),$$

де  $\arctg 2(a_Q, a_I)$  – функція, яка дорівнює повному куту  $\psi$  (від 0 до  $360^\circ$ ), для якого  $\cos \psi = \frac{a_I}{A}$  і  $\sin \psi = \frac{a_Q}{A}$ .

Можливі значення амплітуди і фази сигналів з фазовою та амплітудно-фазовою маніпуляцією прийнято зображати на площині з використанням полярної та прямокутної систем координат. Такі зображення називаються сигнальними сузір'ями. На рис. 2.1 в якості ілюстрації наведені сигнальні сузір'я QPSK і 16APSK [41]. На рисунку поряд з можливими положеннями радіус-вектора, амплітуда і напрямок якого задається амплітудою і фазою сигналу, розміщені значення символів, що передаються, в двійковій системі числення. У випадку використання QPSK (рис. 2.1 (а)) амплітуда сигналу  $\rho$  не змінюється, а отже не містить інформації про символ, який передається. Значення символу передається чотирма можливими значеннями фази сигналу:  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  і  $315^\circ$ . Тобто, довжина символу дорівнює 2 біта. У випадку сигналу 16APSK (рис. 2.1 (б)) маємо два можливих значення амплітуди ( $R_1$  і  $R_2$ ) і 12 можливих значень фази, всього 16 різних положень

радіус-вектора в полярній системі координат. Отже, довжина символу дорівнює 4 бітам.

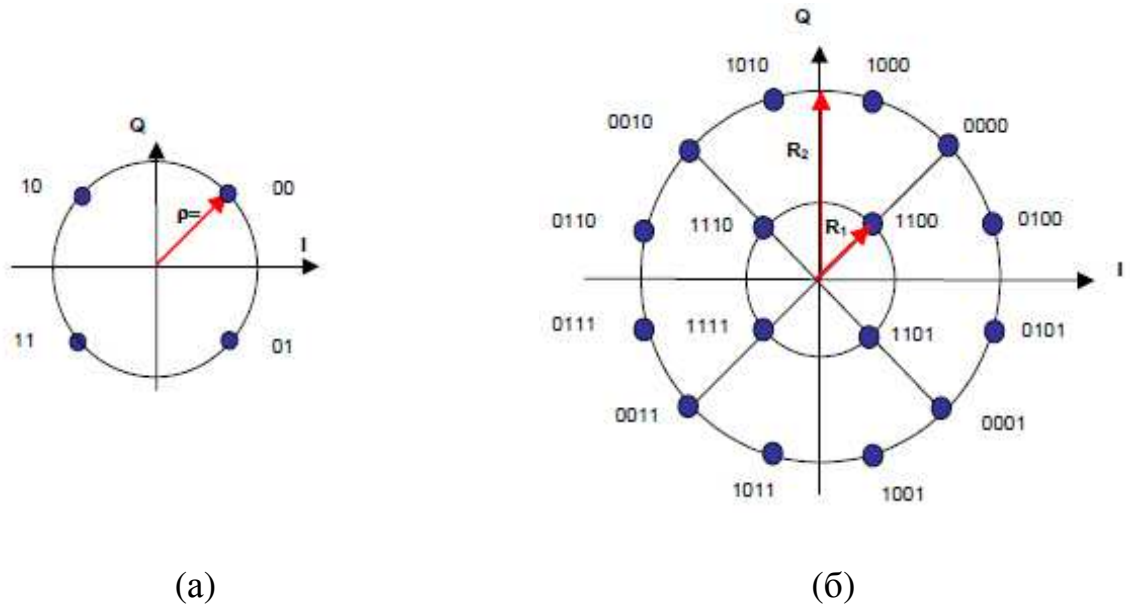


Рисунок 2.1 – Сигнальні сузір'я QPSK (а) і 16APSK (б). I і Q – значення амплітуди прямого і квадратурного сигналів. Взято з [41].

Особливістю нашого підходу є те, що синхронне (по GPS) оцифрування сигналу DVB-S виконується в приймачах мережі зовнішніми аналого-цифровими перетворювачами (АЦП) поза петлями автопідстроювання фази, не синхронно з роботою внутрішніх АЦП приймачів. Це приводить до того, що на виході зовнішнього АЦП в дискретні моменти часу  $t_l$  значення фази  $\psi_l$  прийнятого комплексного сигналу містять додаткові фазові зсуви, індивідуальні для кожного приймача. Однак, враховуючи вид модуляції сигналів DVB-S(S2), можна очікувати, що різниця двох сусідніх відліків фази ( $\psi_l - \psi_{l-1}$ ), обчислена для одного і того ж фрагменту сигналу, що передається, буде однаковою або близькою незалежно від приймача. Відповідно, будуть однакові або близькими значення функції  $F(t_l)$ :

$$F(t_l) = A_l \cdot \sin(\psi_l - \psi_{l-1}), \quad (2.1)$$

де  $A_l$  – вибіркоче значення амплітуди комплексного сигналу в момент часу  $t_l$ . Застосування перетворення  $F(t_l)$  дозволило отримати на частоті дискретизації

Найквиста згортку сигналів з відношенням сигнал/шум на виході корелятора порядку 5-10, при цьому початкові комплекси сигнали не згортаються. Такий підхід дозволив в якості приймачів використовувати побутові приймачі цифрового супутникового телебачення, а в якості АЦП – недорогі цифрові USB-осцилографи, у яких об'єм вибірки сигналу не залежить від частоти дискретизації і дорівнює  $N_s = 10240$ . При цьому значення номінальної частоти дискретизації АЦП осцилографа дорівнює:

$$f_n = \frac{N_s}{T_s} \quad (2.2)$$

де  $T_s$  – тривалість вибірки або шкала осцилографа.

**2.1.2 Обчислення TDOA за кореляційною функцією.** При обчисленні кореляційної функції вибірка значень перетворення  $F$ , отримана одним з приймачів, використовується повністю (перша вибірка), а вибірка, отримана другим приймачем, використовується частково, лише середня частина заданої довжини  $N_c$ , зміщена на час  $\tau_2 = \frac{n}{f_n} \geq 0$  від її початку (друга вибірка).

В виразі для  $\tau_2$  значення  $n$  є безрозмірною величиною, яка дорівнює зміщенню вибірки у відліках частоти дискретизації. Обсяг першої вибірки фіксований і дорівнює  $N_s$ . Обсяг другої вибірки  $N_c$  завжди менший ніж  $N_s$  і дорівнює об'єму вибірки корелятора. Нехай  $\tau_x = \frac{n_x}{f_n}$  – часовий зсув максимуму кореляційної функції, що відраховується від початку першої вибірки, а  $n_x$  – зміщенню максимуму в відліках частоти дискретизації.

Перед обчисленням  $n_x$  за допомогою кореляційної функції вибірки перетворення  $F$ , отримані приймачами, нормуються у відповідності з наступним виразом:

$$\hat{F}(t_l) = \frac{F(t_l) - \bar{F}}{\sigma_F}, \quad l = 0, \dots, N_s - 1, \quad (2.3)$$

де  $\bar{F}$  і  $\sigma_F$  – середнє та СКП  $F$ . Зауважимо, що для зменшення об'єму інформації зі станцій в пункт обчислення орбітальних параметрів по Internet передаються не самі вибірки квадратурних сигналів  $I_n$  і  $Q_n$ , а округлені до цілого нормовані значення  $\hat{F}$ . Значення  $\hat{F}$  округляються до цілого з точністю, яка відповідає заданому коефіцієнту  $k_{round}$ :

$$g(t_l) = \text{floor}[\hat{F}(t_l) \cdot k_{round} + 0.5], l = 0, \dots, N_s - 1, \quad (2.4)$$

де функція  $\text{floor}()$  дорівнює найбільшому цілому, що не перевищує значення, заданого в дужках функції. Для відновлення вибірок ( $\hat{F}$ ) коефіцієнт  $k_{round}$  передають разом з масивом ( $g$ ). Крім округлення, також за допомогою архіватора zip здійснюється стискування (без втрат) інформації, накопиченої кожною станцією протягом заданого інтервалу часу.

Для обчислення кореляційної функції використовується добре відомий метод з застосуванням дискретного швидкого перетворення Фур'є (ДШПФ) [42]. Нехай  $(x_i; i=0, N_s - 1)$  – масив  $(\hat{F})_i$  нормованих вибірових значень дійсного сигналу об'ємом  $N_s$ , отриманий  $i$ -ю станцією, а  $(y_j; j=0, N_c - 1)$  масив нормованих вибірових значень дійсного сигналу об'ємом  $N_c$ , взятий з середньої частин вибірки  $(\hat{F})_j$ , отриманої  $j$ -ю станцією. Доповнимо вибірки  $(x)$  і  $(y)$  нулями до об'єму  $N_{fft} = 2^p \geq N_s$ , де  $p > 0$  – ціле число. Позначимо через  $(X)$  і  $(Y)$  масиви значень прямого ДШПФ від вибірок  $(x)$  і  $(y)$ , а через  $q$  – коефіцієнт, який задає крок інтерполяції і дорівнює  $q = 2^p$ , де  $p \geq 0$  є ціле число. Зазвичай  $p = 1$ , а отже  $q = 2$ , тобто, крок за часом зменшується в два рази. Для інтерполяції масиви  $(X)$  і  $(Y)$  доповнюються  $q \cdot (N_{fft} - 1)$  нулями у відповідності з наступним виразом [43]:

$$\hat{G}_k = \begin{cases} G_k, 0 \leq k \leq N - 1 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} G_N, k = N \\ 0, N + 1 \leq k \leq 2Nq - N - 1 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} G_N, k = 2Nq - N \\ G_n, N + 1 \leq n \leq 2N - 1, k = n + 2N(q - 1) \end{cases}. \quad (2.5)$$

де  $N = N_{fft}/2$ . Далі обчислюється спектр згортки інтерпольованих вибірок:

$$\hat{C}_k = \hat{Y}_k \cdot \hat{X}_k^*, \quad 0 \leq k \leq q \cdot N_{fft} - 1,$$

де  $(\hat{X})$  і  $(\hat{Y})$  спектри вхідних вибірок після інтерполяції згідно виразу (2.5), а знак « $*$ » означає комплексне сполучення. Взавши обернене дискретне швидке перетворення Фур'є від спектра згортки  $(\hat{C})$ , отримаємо  $q \cdot N_{fft}$  комплексних чисел  $(\hat{c}_m: m=0, \dots, q \cdot N_{fft} - 1)$ . Шуканим значенням кореляційної функції  $(c)$  відповідають дійсні частини перших  $(q \cdot N_s - q \cdot N_c + 1)$  значень  $(\hat{c})$ , для яких об'єм вибірки корелятора дорівнює заданому значенню  $q \cdot N_c$ :

$$c_m = \text{Re}(\hat{c}_m): m=0, \dots, q \cdot (N_s - N_c). \quad (2.6)$$

де вираз  $\text{Re}()$  означає взяття дійсної частини комплексного числа, яке вказане в дужках. Із виразу (2.6) витікає, що інтервал можливих значень затримки, виміряний в відліках частоти дискретизації, дорівнює  $(N_s - N_c)$ .

В першому наближенні значення  $n_x$  дорівнює  $\frac{m_x}{q}$ , де  $m_x$  – індекс, якому відповідає локальний максимум кореляційної функції  $(c)$ , обчисленої згідно (2.6). Для уточнення положення максимуму використовується перетворення Гільберта  $\tilde{c}$  від  $c$ . згідно роботи [44], в точці, де кореляційна функція має локальний максимум, її перетворення Гільберта дорівнює нулю. Для обчислення  $\tilde{c}$  використовується відома властивість спектру від перетворення Гільберта, згідно якої [45]:

$$\tilde{U}(f) = \begin{cases} U(f) \cdot e^{-j\frac{\pi}{2}}, & f > 0 \\ 0, & f = 0 \\ U(f) \cdot e^{+j\frac{\pi}{2}}, & f < 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

де  $f$  – частота,  $U(f)$  – спектр сигналу до перетворення Гільберта,  $\tilde{U}(f)$  – спектр сигналу після перетворення Гільберта, а  $j$  – мніма одиниця. Позначимо через  $\tilde{\hat{c}}$  перетворення Гільберта від  $\hat{c}$ . Тоді, скориставшись виразом (2.7), можна знайти спектр  $\tilde{\hat{C}}$  від  $\tilde{\hat{c}}$  знаючи спектр  $\hat{C}$  від  $\hat{c}$ :



$$\tilde{C}_k = \begin{cases} \text{Im}(\hat{C}_k) + j \cdot \text{Re}(\hat{C}_k), 0 < k \leq q \cdot \frac{N_{fft}}{2} \\ 0, k = 0 \\ -\text{Im}(\hat{C}_k) + j \cdot \text{Re}(\hat{C}_k), q \cdot \frac{N_{fft}}{2} < k < q \cdot N_{fft} \end{cases} \quad (2.8)$$

де вираз  $\text{Im}()$  означає взяття мнімої частини комплексного числа, яке стоїть в дужках. При записі співвідношення (2.8) враховувався загальноприйнятий порядок розміщення спектральних компонент після дискретного перетворення Фур'є, згідно якого від'ємним частотам відповідають спектральні компоненти з індексами більшими половини об'єму вибірки, який в даному випадку дорівнює  $q \cdot N_{fft}$ . Тепер значення  $\tilde{c}$  дорівнюють оберненому ДШПФ від  $\tilde{C}$ , а значенням  $\tilde{c}$  відповідають дійсні частини перших  $(q \cdot (N_s - N_c) + 1)$  значень  $\tilde{c}$ . Для уточнення положення максимуму кореляційної функції спочатку знаходиться індекс  $m_-$ , найближчий до  $m_x$ , де знак  $\tilde{c}_{m_-}$  відрізняється від знаку  $\tilde{c}_{m_-+1}$ , тобто, в інтервалі  $m_- \leq m \leq m_- + 1$  перетворення Гільберта приймає нульове значення. Уточнене значення  $n_x$  положення максимуму кореляційної функції знаходиться лінійною інтерполяцією значень  $\tilde{c}$  в інтервалі  $m_- \leq m \leq m_- + 1$  в припущенні, що  $\tilde{c}_{q \cdot n_x} = 0$ :

$$n_x = \frac{1}{q} \cdot \left( -\frac{\tilde{c}_{m_-}}{\tilde{c}_{m_-+1} - \tilde{c}_{m_-}} + m_- \right).$$

### 2.1.3 Обмеження на довжину базових ліній радіоінтерферометра.

Ширина спектра сигналу DVB-S, який використовується в якості маяка при супроводженні ТК ГСС, становить приблизно 30 МГц. Найближче значення шкали осцилографа  $T_s$ , яке відповідає згідно виразу (2.2) значенню  $f_n$ , не меншому ніж частота дискретизації Найквіста, дорівнює 200 мкс. Отримане значення  $T_s$  визначає приладове обмеження для можливих величин ТДОА, так як інтервал можливих (допустимих) значень затримок, згідно (2.6), дорівнює:

$$\Delta\tau_w = \frac{(N_s - N_c)}{f_n} = \left(1 - \frac{N_c}{N_s}\right) \cdot T_s$$

В роботі [46] було показано, що мінімальне значення відношення  $\frac{N_c}{N_s}$  складає порядку 0.1, а максимальне значення  $T_s = 400$  мкс, тобто,  $\Delta\tau_w = 0.9 \cdot T_s \leq 400$  мкс або  $(\Delta\tau_w \cdot c) \leq 120$  км. Обмеження ширини інтервалу аналізованих затримок веде до обмеження на довжини базових ліній інтерферометра, які в даному випадку не можуть перевищувати величини порядку 120 км. Це в свою чергу суттєво обмежує точність визначення координат супутника.

Дане приладове обмеження можна зняти, якщо представити значення відносної затримки  $\Delta\tau_x = (\tau_x - \tau_2)$  у вигляді суми двох складових:

$$\Delta\tau_x = \overline{\Delta\tau_x} + \hat{\tau}$$

де одна складова (середня затримка  $\overline{\Delta\tau_x}$ ) може бути суттєво більша за другу  $\hat{\tau}$ , яка дорівнює відхиленню затримки від середнього значення (варіації затримки). Для обраної пари станцій  $\overline{\Delta\tau_x}$  може бути порядку декількох мілісекунд. Значення  $\overline{\Delta\tau_x}$  залежить від довжини базової лінії, що з'єднує станції, а також від взаємного положення контрольованого супутника і базової лінії. Варіації затримки  $\hat{\tau}$  залежать від зміщення супутника в межах геостационарної комірки і не можуть перевищувати 20 мікросекунд, що суттєво менше мінімального значення  $T_s$ , рівного 100 мкс [46].

Для усунення обмеження на можливі значення  $\Delta\tau$  можна скористатися компенсацією середнього значення TDOA за допомогою установалення індивідуальних початкових затримок  $\tau_{PPS}$  секундних синхроімпульсів PPS (Pulse-Per-Second), що формуються приймачами GPS кожної станції радіоінтерферометра і які використовуються для синхронної реєстрації станціями вибірок сигналу цифрового супутникового телебачення. За умовчанням передній фронт синхроімпульсу має нульове зміщення відносно початку секунди ( $\tau_{PPS}=0$ ). Вважаємо, однак, що станціями радіоінтерферометра використовуються GPS-приймачі, у яких є можливість

установлення необхідного значення  $\tau_{PPS}$ . Отже, при наявності декількох пар станцій для одної (обраної) станції можна задати  $\tau_{PPS}=0$ , а для інших станцій установити  $\tau_{PPS}$  рівним середньому значенню  $\overline{\Delta\tau_x}$  відносно обраної станції. Для оцінки  $\overline{\Delta\tau_x}$  можна скористатися чисельним моделюванням з використанням параметрів орбіти ТК ГСС, представлених на сайті [www.space-track.org](http://www.space-track.org). Відмітимо, що можливість установлення для кожної станції свого значення  $\tau_{PPS}$  дозволяє встановлювати потрібну частоту дискретизації АЦП незалежно від відстані між станціями. Тепер, враховуючи наведене вище, можна записати наступне розрахункове співвідношення для TDOA:

$$\Delta\tau_{ik} = \left( \frac{n_{xi}}{k_{sr} \cdot f_n} + \tau_{PPSi} \right) - \left( \frac{n_k}{k_{sr} \cdot f_n} + \tau_{PPSk} \right) - \Delta\tau_{hik} = \delta_{ik} - \Delta\tau_{hik} \cdot \quad (2.9)$$

В виразі (2.9) маємо:

-  $i$  і  $k$  ( $i > k$ ) – індекси, які відповідають умовним номерам станцій і вибірки яких, відповідно, бралися у якості першої і другої;

-  $\delta_{ik} = \left( \frac{n_{xi}}{k_{sr} \cdot f_n} + \tau_{PPSi} \right) - \left( \frac{n_k}{k_{sr} \cdot f_n} + \tau_{PPSk} \right)$  – параметр, який дорівнює відносній

затримці сигналів, прийнятих станціями, і обчисленій безпосередньо за кореляційною функцією з урахуванням лише затримок синхроімпульсів PPS відносно початку секунди;

-  $\Delta\tau_{hik}$  – вимірне значення апаратної затримки для пари станцій з індексами  $i$  і  $k$ ;

-  $k_{sr}$  – вимірне значення коефіцієнту пропорційності між діючою частотою дискретизації АЦП ( $f_v$ ) і номінальною:

$$f_v = k_{sr} \cdot f_n \cdot \quad (2.10)$$

Позначимо через  $K$  кількість станцій мережі. Тоді в загальному випадку маємо  $K \cdot (K - 1)$  варіантів обчислення  $\Delta\tau_{ik}$ . Однак, значення  $\Delta\tau_{ik}$ , отримані перестановкою індексів  $i$  і  $k$ , повинні відрізнятися лише знаком, що

з високою точністю підтверджується експериментально. Отже, якщо не враховувати перестановки індексів, маємо  $K \cdot (K - 1) / 2$  варіантів обчислення  $\Delta\tau_{ik}$ . Так для мережі із 3, 4 і 5 станцій маємо 3, 6 і 10 варіантів обчислення TDOA. Отримані варіанти відрізняються один від одного орієнтацією базових ліній. При цьому не більше ніж  $(K - 1)$  значення  $\Delta\tau_{ik}$  із  $K \cdot (K - 1) / 2$  можуть бути лінійно незалежними.

**2.1.4 Аналіз похибок визначення TDOA.** Позначимо через  $\Delta\tau_g$  шукане значення TDOA, яке відповідає геометричній різниці відстаней джерела радіосигналу від станцій радіоінтерферометра. В загальному випадку виміряне значення TDOA можна представити як суму наступних складових [47]:

$$\delta = \Delta\tau_g + \Delta\tau_{clock} + \Delta\tau_h + \Delta\tau_{trop} + \Delta\tau_{ion} + \Delta\tau_{rel},$$

де  $\delta$  – також, як і в виразі (2.9), є значення відносної затримки сигналів, прийнятих станціями, і обчислене безпосередньо по кореляційній функції цих сигналів;

$\Delta\tau_{clock}$  – похибка визначення TDOA, обумовлена похибками синхронізації станцій радіоінтерферометра;

$\Delta\tau_h$  – також, як і в виразі (2.9), є похибкою визначення TDOA, обумовленою додатковими затримками сигналу в приймальних трактах станцій або інструментальні похибки;

$\Delta\tau_{trop}$  – похибка визначення TDOA, обумовлена додатковою затримкою радіосигналу при розповсюдження в тропосфері Землі;

$\Delta\tau_{ion}$  – похибка визначення TDOA, обумовлена додатковою затримкою радіосигналу при розповсюдження в іоносфері Землі;

$\Delta\tau_{rel}$  – корекція TDOA, що враховує релятивістські ефекти.

В роботі [48] зазначається, що в спостереженнях квазарів за допомогою радіоінтерферометрів з наддовгими базами корекція  $\Delta\tau_{rel}$  в межах сонячної

системи обчислюється тільки з урахуванням впливу на розповсюдження радіохвиль гравітаційних полів Сонця та великих планет. В роботі [5] також зазначається, що при спостереженні геостаціонарних супутників релятивістськими ефектами можна нехтувати.

Спільною особливістю затримок радіосигналів при проходженні тропосфери і іоносфери є їхня залежність від кута місця ( $\varepsilon$ ) напрямку, в якому розповсюджується радіохвиля. Ці затримки мають максимальні значення при  $\varepsilon = 0$ . Вважається також, що тропосферна затримка не залежить від частоти [49], тоді як іоносферна затримка обернено пропорційна квадрату частоти [5]:

$$\Delta\rho_{ion} = 40.3 \frac{N}{f^2 \sin \varepsilon}, \quad (2.11)$$

де  $\Delta\rho_{ion}$  – зміна нахиленої відстані до супутника (в м), обумовлена затримкою радіосигналу при розповсюдженні в іоносфері Землі,  $N$  – електронний вміст іоносфери вздовж шляху розповсюдження радіосигналу (в  $\text{м}^{-2}$ ),  $f$  – частота радіосигналу (в МГц). В звичайних (не збурених) умовах, коли  $N = 10^{16}$ - $10^{17}$   $\text{м}^{-2}$ , із виразу (2.11) витікає, що значення  $\Delta\rho_{ion}$  на частотах більших 10 ГГц не перевищує метра, якщо також  $\varepsilon > 20^\circ$ . Зазначимо, що радіоінтерферометрична мережа пасивного кореляційного моніторингу телекомунікаційних геостаціонарних супутників, розроблена і впроваджена в НДІ «МАО», працює на частотах, які перевищують 10 ГГц. Значення тропосферної затримки  $\Delta\rho_{trop}/c$ , де  $c$  – швидкість світла, а  $\Delta\rho_{trop}$  – зміна нахиленої відстані до супутника, обумовлена рефракцією радіосигналу в тропосфері, може становити від 15 до 6 нс при  $\varepsilon > 20^\circ$  [5].

Для корекції тропосферної затримки в роботі [48] пропонується використовувати існуючі моделі, особливо, для обчислення так званої сухої складової тропосферної затримки, яка добре прогнозується [50]. В [48], також, пропонується використовувати дані спостережень мереж перманентних станцій глобальних навігаційних супутникових систем, таких

як GPS, для обчислення поточних значень іоносферної затримки і вологої складової тропосферної затримки.

Інструментальна похибка  $\Delta\tau_h$  визначається в результаті спеціальних вимірювань. В мережах РНДБ для цього використовуються тестові спостереження опорних космічних радіоджерел – квазарів, положення яких відомо з високою точністю [47]. В радіоінтерферометричній мережі, розробленій і впровадженій в НДІ «МАО», інструментальні похибки визначаються в результаті вимірювань TDOA в умовах розміщення станцій в одному місці – умови нульової бази (розділ 2.2 та [51]).

Для мінімізації похибки синхронізації  $\Delta\tau_{clock}$  в мережах РНДБ використовуються водневі стандарти частоти і часу. В подальшому на кожній станції проводиться постійний контроль шкали часу з метою зменшення поточної похибки синхронізації [47, 48]. Синхронізація радіоінтерферометричної мережі моніторингу ТК ГСС здійснюється за допомогою GPS. Похибка синхронізації є основним джерелом похибки визначення TDOA і становить 8.7 нс (розділ 4.2 і [52]).

Зазначимо, що наведені похибки, обумовлені рефракцією радіосигналу в тропосфері і іоносфері Землі і отримані для різних станцій радіоінтерферометра, при обчисленні TDOA будуть відніматися. Тобто, середні значення  $\Delta\tau_{trop}$  і  $\Delta\tau_{ion}$  будуть меншими за відповідні значення  $\Delta\rho/c$ , отримані для кожної станції окремо, однак, при цьому, випадкова складова похибки може зрости. Наприклад, у випадку, якщо флуктуації  $\Delta\rho/c$  для окремих станцій являються незалежними і однаково розподіленими, випадкова складова похибки TDOA порівняно з похибкою  $\Delta\rho/c$  зросте в  $\sqrt{2}$  рази. Враховуючи вище наведене, при обчисленні TDOA по даним вимірювань радіоінтерферометричної мережі моніторингу ТК ГСС нехтуються похибками  $\Delta\tau_{trop}$  і  $\Delta\tau_{ion}$ , також як і похибками  $\Delta\tau_{rel}$  і  $\Delta\tau_{clock}$ , тобто,  $\Delta\tau_g = \delta - \Delta\tau_h$ , що співпадає з виразом (2.9).

## 2.2 Калібрування станцій радіоінтерферометричної мережі

**2.2.1 Визначення апаратурної затримки.** Вимірювання TDOA можуть містити як випадові, так і систематичні похибки. Деякі систематичні похибки можна вважати постійними, тому вони підлягають попередньому визначенню (калібруванню) і подальшому врахуванню в процесі вимірювань. Перш за все, це постійні апаратурні затримки, обумовлені неідентичністю електричних довжин приймальних трактів [51].

Схема експерименту по калібруванню станцій мережі показана на рис. 2.2. На рисунку використовуються наступні позначення. Індекси 1 і 2 відповідають першій і другій станціям прийому цифрового супутникового телебачення. Символами  $A_1$  і  $A_2$  позначені антени супутникового телебачення. Символами  $l_1$  і  $l_2$  позначені електричні довжини кабелів, що з'єднують антени з приймачами цифрового супутникового телебачення, які входять до складу пристроїв прийому і реєстрації сигналів DVB-S(S2), позначених на схемі як  $R_1$  і  $R_2$ . Нахилені відстані від ТК ГСС до фазових центрів антен  $A_1$  і  $A_2$  позначені як  $L_1$  і  $L_2$ .

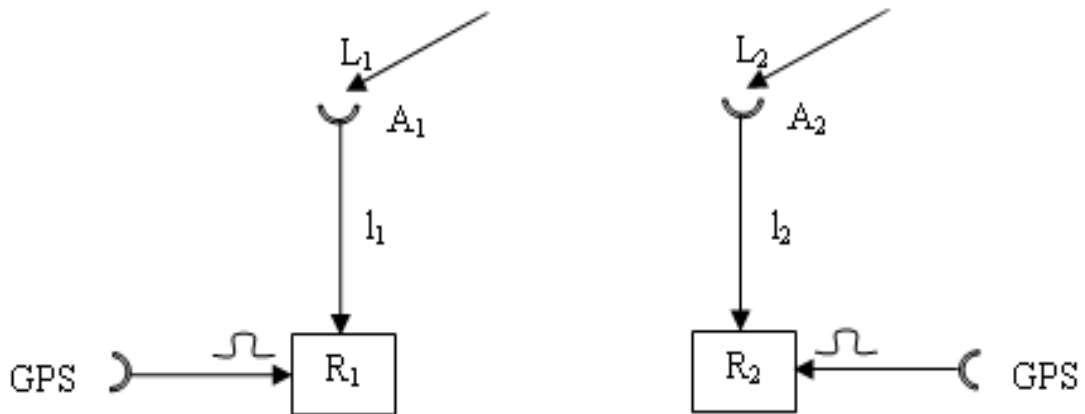


Рисунок 2.2 – Схема експерименту по калібруванню станцій мережі.

При визначенні кореляційної функції в якості першої береться вибірка, записана пристроєм  $R_1$ . Відповідно, другою буде вибірка, отримана з

допомогою  $R_2$ . Позначимо символом  $\delta$  затримку сигналу, визначену по кореляційній функції і виражену в одиницях довжини:  $\delta = c \cdot (\tau_x - \tau_2)$ , де

$\tau_x = \frac{n_x}{k_{sr} \cdot f_n}$ , а  $\tau_2 = \frac{n_2}{k_{sr} \cdot f_n}$ . Тоді, враховуючи схему, представлену на рис. 2.2, а

також вважаючи, що  $\tau_{1PPS} = 0$  і  $\tau_{2PPS} = 0$ , можна записати:

$$\delta_1 = (L_1 + l_1) - (L_2 + l_2) - (t_1 - t_2) \cdot c + \varepsilon = \Delta r + \Delta l - b \cdot c + \varepsilon = \Delta r + \Delta \tau_a \cdot c + \varepsilon, \quad (2.12)$$

де  $\Delta r = L_1 - L_2$  – різниці нахилених відстаней до ТК ГСС,

$\Delta l = l_1 - l_2$  – різниці електричних довжин з'єднувальних кабелів,

$t_1$  і  $t_2$  – моменти часу, що відповідають початку запису першої і другої вибірок,

$\Delta \tau_a$  – сумарна апаратна затримка,

$\varepsilon$  – випадковий шум з нульовим математичним сподіванням.

Параметр  $b = (t_1 - t_2)$  характеризує наявність постійної апаратної затримки, не пов'язаної з різницею електричних довжин кабелів, що з'єднують антени з приймачами цифрового супутникового телебачення. Наприклад, ненульове значення  $b$  може бути визвано наявністю регулярного відносного зміщення секундних синхроімпульсів, які формуються GPS-приймачами. Причиною нерівності  $t_1$  і  $t_2$  може бути також відмінність форм передніх фронтів цих синхроімпульсів, які поступають на запуск пристроїв реєстрації сигналів цифрового супутникового телебачення, і/або відмінністю порогів спрацьовування цих пристроїв від імпульсів, що запускають.

Метою калібрування є визначення апаратної затримки  $\Delta \tau_a$ :

$$\Delta \tau_a = (\Delta l - b \cdot c) / c$$

Крім  $\Delta \tau_a$ , рівняння (2.12) містить також другу невідому  $\Delta r$ , в загальному випадку залежну від часу і випадковий шум  $\varepsilon$ . Варіаціями різниці нахилених відстаней  $\Delta r$  можна нехтувати, так як вважається, що під час калібрування антени  $A_1$  і  $A_2$  розташовані на невеликій відстані одна від одної порядку 10–20 метрів. В цьому випадку рівняння (2.12) містить дві незалежних величини, які не змінюються з часом. Для їхньої оцінки можна використати



усереднення з часом значень  $\delta_l$ , які позначимо як  $\bar{\delta}_l$ , виключаючи таким чином вплив шуму  $\varepsilon$ . Відсутнє рівняння отримаємо для схеми вимірювань, у якій до пристрою  $R_1$  підключається антена  $A_2$ , а до  $R_2$  – антена  $A_1$ :

$$\delta_2 = (L_2 + l_1) - (L_1 + l_2) - (t_1 - t_2) \cdot c + \varepsilon = -\Delta r + \Delta l - b \cdot c + \varepsilon = -\Delta r + \Delta \tau \cdot c + \varepsilon \quad (2.13)$$

В процесі експлуатації може виникнути необхідність повторного калібрування станції мережі, наприклад, в зв'язку з заміною GPS-приймача, антени GPS, антени супутникового телебачення або з'єднувальних кабелів. В цьому випадку для перерахунку значень  $\Delta \tau_a$  для віддалених станцій необхідно знати також параметри  $\Delta l$  і  $b$ . Для визначення всіх трьох параметрів  $\Delta r$ ,  $\Delta l$  і  $b$  потрібно додати третє рівняння, отримане, наприклад, для схеми вимірювань, в якій з'єднувальні кабелі  $l_1$  і  $l_2$  міняються місцями:

$$\delta_3 = (L_1 + l_2) - (L_2 + l_1) - (t_1 - t_2) \cdot c + \varepsilon = \Delta r - \Delta l - b \cdot c + \varepsilon \quad (2.14)$$

Виконавши усереднення рівнянь (2.12), (2.13) і (2.14) отримаємо три лінійних рівняння відносно трьох невідомих, вирішивши які знаходимо:

$$b = -\frac{\bar{\delta}_2 + \bar{\delta}_3}{2c},$$

$$\Delta l = \frac{\bar{\delta}_1 + \bar{\delta}_2}{2} + b \cdot c,$$

$$\Delta r = \frac{\bar{\delta}_1 + \bar{\delta}_3}{2} + b \cdot c.$$

Отже, перед тим як станції мережі повинні бути віддалені в місця постійної дислокації, необхідно провести калібрування кожної станції. Оскільки, вимірюватися повинні відносні затримки, то зручно проводити калібрування всіх станцій відносно однієї обраної. Нехай  $I$  – кількість станцій мережі,  $\Delta \tau_{ai}$  – апаратна затримка  $i$ -ї станції ( $i=1, \dots, I-1$ ) відносно нульової станції ( $i=0$ ), а  $\delta_{li}$  – відносна затримка (виражена в одиницях довжини) сигналу, прийнятого  $i$ -ю станцією, і обчислена по кореляційній функції. Нехтуючи випадковим шумом  $\varepsilon$ , значення різниці нахилених відстаней, які не містять апаратної затримки, можуть бути отримані із виразу (2.12):

$$\Delta r_i = \delta_{i_i} - \Delta \tau_{ai} \cdot c.$$

Отриманий вираз співпадає з формулою (2.9), якщо обидва боки рівняння (2.9) помножити на швидкість світла.

**2.2.2 Визначення діючої частоти дискретизації АЦП.** Значення коефіцієнта  $k_{sr}$  пропонується визначати в результаті вимірювань затримки сигналу PPS [51]. Вимірювання пропонується здійснити за допомогою двох GPS приймачів та цифрового USB-осцилографа, діюча частота дискретизації АЦП якого повинна бути визначена в результаті вимірювань. Для цього на вхід першого каналу осцилографа потрібно подати сигнал PPS одного з GPS приймачів (перший сигнал PPS) без затримки. Сигнал PPS другого GPS приймача з затримкою на задану величину  $\tau_{2PPS}$  ( $\tau_{2PPS} \neq 0$ ) повинен одночасно бути поданим на зовнішній запуск та на другий канал осцилографа (другий сигнал PPS). Затримка першого сигналу PPS відносно другого знаходиться кореляційним методом. Враховуючи схему вимірювань, шукане значення коефіцієнта  $k_{sr}$  обчислюється за наступною формулою:

$$k_{sr} = \left( \frac{n_x - n_2}{f_n} \right) \left( \frac{1}{\tau_{1PPS} - \tau_{2PPS}} \right)$$

де  $\tau_{1PPS} = 0$  мкс.

### **2.3 Визначення декартових координат WGS84 контрольованого супутника за виміряними значеннями TDOA**

Для визначення координат активного телекомунікаційного геостаціонарного супутника використовується радіоінтерференційний метод, який полягає в тому, що виміряними параметрами є варіації різниці нахилених відстаней від станцій прийому супутникового телебачення до контрольованого ТК ГСС. Декартові координати супутника можна знайти скориставшись підходом, який використовується в GPS [53]. Нехай  $(x, y, z)$  –

шукані декартові координати супутника,  $(x_i, y_i, z_i)$  – відомі координати  $i$ -ї станції, а  $R_i = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2]^{\frac{1}{2}}$  – нахилена дальність від станції до ТК ГСС. Нехай також  $\Delta r_i = R_i - R_0$  – різниця нахилених відстаней для  $i$ -ї та 0-ї станцій. Значення  $\Delta r_i$  обчислюється по наступній формулі:

$$\Delta r_i = (\Delta \tau_i \cdot c)$$

де  $c$  – швидкість світла,  $\Delta \tau_i$  – значення TDOA цифрового телевізійного сигналу, що приймається  $i$ -ю та 0-ю станціями і яке визначається в результаті кореляційної обробки сигналів, прийнятих парами станцій. Для знаходження координат супутника скористаємося гіперболічним або різнице-відстаневим методом [54], який також називається методом мультилатерації [55] і який приводить до наступної системи нелінійних рівнянь:

$$R_0 + \Delta r_i - R_i = 0, i = 1, \dots, I \quad (2.15)$$

де  $I$  – кількість рівнянь, яка на одиницю менше кількості станцій прийому цифрового супутникового телебачення. Таким чином, для визначення трьох невідомих декартових координат супутника необхідно мати радіоінтерферометричну мережу із чотирьох і більше станцій.

Рішення системи рівнянь (2.15) можна знайти чисельно методом Ньютона. Використавши метод Ньютона, отримаємо наступну систему лінійних рівнянь для  $n$ -ї ітерації відносно невідомих приростів шуканих координат  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  і  $\Delta z$ :

$$\alpha_{xi} \Delta x + \alpha_{yi} \Delta y + \alpha_{zi} \Delta z = (R_0 + \Delta r_i) - R_i,$$

для  $i=1, \dots, I-1$

$$\Delta x = x^n - x^{n-1}, \Delta y = y^n - y^{n-1}, \Delta z = z^n - z^{n-1},$$

$$\alpha_{xi} = \frac{(x - x_i)}{R_i} - \frac{(x - x_0)}{R_0},$$

$$\alpha_{yi} = \frac{(y - y_i)}{R_i} - \frac{(y - y_0)}{R_0},$$

$$\alpha_{zi} = \frac{(z - z_i)}{R_i} - \frac{(z - z_0)}{R_0}$$

При цьому в рівняння підставляються значення параметрів  $\alpha_{xi}$ ,  $\alpha_{yi}$ ,  $\alpha_{zi}$  і  $R_i$ , обчислені для координат  $(x^{n-1}, y^{n-1}, z^{n-1})$ , отриманих на попередньому  $(n-1)$ -ом кроці ітерацій. Ітерації припиняються, коли похибки  $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$  стають малими по обраному критерію. Якщо кількість станцій мережі більше трьох, то можливе однозначне вирішення системи рівнянь без залучення додаткової інформації про рух супутника, тобто можливе визначення збуреної орбіти супутника. У випадку, коли  $I < 4$ , координати ТК ГСС можна визначити, якщо врахувати небесно-механічні закони руху супутника в гравітаційному полі навколоземного простору. Даний варіант визначення положення ТК ГСС буде розглянуто в наступному п. 2.4.

Для рішення системи рівнянь (2.15) чисельним методом необхідно задати нульове наближення  $(x^0, y^0, z^0)$  для координат супутника в тій же системі координат, що і координати станцій. Координати станцій зручно задати в системі координат WGS84 (World Geodetic System 1984 рік), яка є базовою системою координат GPS. В цьому випадку координати станцій можна взяти прямо з даних вимірювань GPS-приймачів, які використовуються для синхронізації станцій. Нехай  $\varphi_i$ ,  $\lambda_i$  і  $h_i$  – широта, довгота і висота  $i$ -ї станції в системі координат WGS84, а  $a$ ,  $f$  і  $e$  – велика піввісь, параметр стиснення і ексцентриситет еліпсоїда WGS84. Тоді декартові координати станцій в геоцентричній системі координат з нерухомою Землею (Earth-Centered, Earth-Fixed) можна знайти із наступних співвідношень [13]:

$$\begin{aligned} x_i &= (\rho_i + h_i) \cos \varphi_i \cdot \cos \lambda_i \\ y_i &= (\rho_i + h_i) \cos \varphi_i \cdot \sin \lambda_i, \\ z_i &= ((1 - f)^2 \rho_i + h_i) \sin \varphi_i \end{aligned} \quad (2.16)$$

де  $\rho_i = \frac{a}{\sqrt{1 - f(2 - f) \sin^2 \varphi_i}}$  – радіус кривизни головного нормального перетину еліпсоїда.

Нульове наближення для координат супутника  $(x^0, y^0, z^0)$  можна також обчислити за формулами (2.16), в які замість координат станцій підставляються приблизні координати супутника:  $\varphi_i = \varphi_{GSS}$ ,  $\lambda_i = 0$  і  $h_i = 36000$  км. Тут  $\varphi_{GSS}$  – довгота геостаціонарної позиції контрольованого супутника, а  $h_i = 36000$  км – приблизна висота супутника над поверхнею еліпсоїда. Наведений спосіб приблизної оцінки  $(x^0, y^0, z^0)$  дозволяє отримувати рішення системи рівнянь (2.15) всього за декілька ітерацій.

## 2.4 Визначення елементів орбіти супутника за вимірними значеннями TDOA

**2.4.1 Збурений рух геостаціонарних супутників.** У випадку ідеальних (незбурених) геостаціонарних орбіт, коли рух супутника відбувається в сферично-симетричному гравітаційному полі Землі, частина кеплерових елементів орбіти супутника (пряме сходження висхідного вузла орбіти, аргумент перигею та істинна аномалія) є невизначеною, а велика піввісь, ексцентриситет і нахил орбіти – мають одні і ті ж значення для всіх орбіт: 42164.2 км, 0 і  $0^\circ$ , відповідно. В дійсності, гравітаційне поле Землі тільки в нульовому наближенні є сферично-симетричним. В загальному випадку рівняння руху штучних супутників Землі має наступний вигляд:

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -\frac{\mu}{r^3}\vec{r} + \vec{\Delta}_E + \vec{\Delta}_\Sigma + \vec{\Delta}_p + \vec{\Delta}_a + \vec{\Delta}_r, \quad (2.17)$$

де  $\vec{r}$  – радіус-вектор супутника, заданий в інерційній системі координат, початок якої знаходиться в центрі мас Землі;

$\mu = 3.986004418 \cdot 10^{14} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2}$  – геоцентрична гравітаційна стала [56].

В наведеному виразі (2.17) векторами  $\vec{\Delta}$  позначені збурення прискорення супутника, викликані наступними факторами:

$\vec{\Delta}_E$  – відхиленнями гравітаційного поля Землі від сферично-симетричного;

$\vec{\Delta}_\Sigma$  – впливом гравітації Сонця, планет сонячної системи та Місяця.

$\vec{\Delta}_p$  – тиском сонячного випромінювання;

$\vec{\Delta}_a$  – впливом атмосфери;

$\vec{\Delta}_r$  – релятивістськими ефектами.

Збуреннями  $\vec{\Delta}_r$ , обумовленими безпосереднім впливом на рух супутника зміни кривизни простору-часу в гравітаційному полі Землі, можна нехтувати. У випадку геостаціонарних супутників, які знаходяться на відстані приблизно 36000 км від поверхні Землі, збуреннями  $\vec{\Delta}_a$ , обумовленими впливом атмосфери на рух супутника (гальмування його руху) можна також нехтувати.

Збурення  $\vec{\Delta}_p$ , обумовлені тиском сонячного випромінювання, прийнято характеризувати відношенням  $\sigma_p$  ефективної площі поперечного перерізу до маси супутника  $m_s$  [5]:

$$\vec{\Delta}_p = \sigma_p \cdot P_p,$$

$$\sigma_p = S_c(1 + \zeta) \cdot \cos \gamma / m_s$$

де  $P_p$  – тиск сонячного випромінювання на поверхню, перпендикулярну напрямку сонячних променів,  $S_c$  – площа поперечного перерізу супутника,  $0 < \zeta < 1$  – коефіцієнт віддзеркалення поверхні,  $\gamma$  – кут між напрямком на Сонце і перпендикуляром до поверхні супутника. Для панелей сонячних батарей телекомунікаційних геостаціонарних супутників, орієнтація яких постійно підтримується в напрямку перпендикулярному напрямку сонячних променів, кут  $\gamma$  змінюється в інтервалі від  $0^\circ$  до  $23.4^\circ$ . Значення тиску сонячного випромінювання  $P_p$  в навколотземному просторі становить  $4.56 \cdot 10^{-6}$  Н/м<sup>2</sup>. При цьому варіації тиску, обумовлені змінами сонячної активності, становлять від 0.1% до 0.2%, тоді як зміни тиску внаслідок зміни відстані до Сонця знаходяться в інтервалі  $\pm 3.5\%$ . В роботі [5] стверджується, що при значеннях  $\sigma_p > 0.02$  м<sup>2</sup>/кг збурення ексцентриситету орбіти за рахунок  $\vec{\Delta}_p$  може перевищувати збурення, обумовлене гравітацією Місяця.

В роботі [5] показано, що збурення  $\overrightarrow{\Delta}_{\Sigma}$  обумовлені в основному впливом гравітаційного поля Місяця і Сонця і дорівнюють:

$$\overrightarrow{\Delta}_{\Sigma} = \sum_{k=1}^2 \frac{\mu_k}{r_k^3} \left( \frac{3}{r_k^2} (\overrightarrow{r}_k \cdot \overrightarrow{r}) \overrightarrow{r}_k - \overrightarrow{r} \right), \quad (2.18)$$

де  $\overrightarrow{r}_k$  – радіус-вектор, а  $\mu_k$  – добуток гравітаційної сталої на масу, відповідно, Сонця ( $k = 1$ ) або Місяця ( $k = 2$ ). При цьому збурення, обумовлені впливом Місяця, становлять  $1.1 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ , що в двічі більше за збурення, обумовлені Сонцем. Для порівняння в [5] наводиться найбільше значення збурення прискорення, яке спричиняється Венерою в момент зближення з Землею і яке становить  $6 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2$ . Збурення від інших планет ще менші. Вираз (2.18) отримано з урахуванням поступального руху системи координат. Оцінка прискорення, обумовленого силою Коріоліса, становить  $4 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$  для геостаціонарних орбіт і повинна бути додана в праву частину виразу (2.17). Зазначимо, що збурення, обумовлені впливом Місяця і Сонця, являються домінуючими серед тих, що спричиняють дрейф кута нахилу орбіти геостаціонарних супутників [5].

Позначимо літерою  $U$  гравітаційний потенціал Землі. Зазвичай  $U$  представляється у вигляді суми двох доданків:

$$U = \frac{\mu}{r} + \Delta U, \quad (2.19)$$

де доданок  $\Delta U$  описує відхилення гравітаційного поля Землі від сферично-симетричного:

$$\overrightarrow{\Delta}_E = \text{grad}(\Delta U).$$

Збурення потенціалу  $\Delta U$  прийнято задавати коефіцієнтами розкладу по сферичним гармонікам [5]:

$$\Delta U = \mu \sum_{l=2}^L \sum_{m=0}^l \frac{R}{r^{l+1}} P_{lm}(\sin \theta) (C_{lm} \cos m\lambda + S_{lm} \sin m\lambda), \quad (2.20)$$

де  $R$  – екваторіальний радіус Землі,  $(r, \theta, \lambda)$  – радіус-вектор, широта і довгота точки в геоцентричній системі координат, яка обертається з Землею,  $C_{lm}$ ,  $S_{lm}$  – коефіцієнти розкладу,  $P_{lm}$  – приєднана функція Лежандра  $l$ -ї степені і  $m$ -го порядку. Для  $l=m=0$  значення  $\Delta U = 0$ , а  $U = \frac{\mu}{r}$ , тобто, маємо сферично-

симетричне гравітаційне поле Землі. Для  $l = 1$  за визначенням коефіцієнти ( $C_{10}$ ,  $C_{11}$ ,  $S_{11}$ ) дорівнюють нулю, так як початок системи координат знаходиться в центрі мас Землі.

Зональними гармоніками називаються члени розкладу з коефіцієнтами  $C$ , для яких  $m = 0$ . Частина потенціалу, яка утворена зональними гармоніками, не залежить від  $\lambda$ , є осесиметричною і обумовлена сплюсненістю Землі. Дія зональних гармонік спричиняє дрейф нахилу геостаціонарної орбіти за рахунок збурення прискорення в північному напрямку на величину  $-2.95 \cdot 10^{-9}$  м/с<sup>2</sup>, а також приводить до збільшення геостаціонарного радіуса (збурення прискорення в радіальному напрямку  $-8.33 \cdot 10^{-6}$  м/с<sup>2</sup>) [5]. В тангенціальному напрямку (в напрямку вектора швидкості супутника) зональні гармоніки не діють.

Тессеральні гармоніки (члени розкладу (2.20), для яких  $m \geq 1$ ) обумовлені несиметричним розподілом мас всередині Землі. Вони спричиняють збурення тангенціальної складової прискорення порядку  $10^{-7}$  м/с<sup>2</sup>, яка викликає дрейф довготи геостаціонарного супутника. Ці гармоніки також діють в північному і радіальному напрямках, аналогічно зональним гармонікам, тільки з меншою інтенсивністю. Тессеральна гармоніка з  $l=m=2$  є домінуючою. Аналіз показує, що в залежності від довготи вона має 4 точки (вузла), де прискорення дорівнює 0. Дві із них ( $75.1^\circ$  с.д і  $105.3^\circ$  з.д.) відповідають стійкій рівновазі, коли незначна зміна довготи приводить до повернення в вузол, а дві ( $11.5^\circ$  з.д і  $161.9^\circ$  с.д.) – нестійкі, коли незначні зміни довготи супутника приводять до віддалення від вузла [5].

Розглянуті збурення гравітаційного поля Землі не враховують переміщення мас, пов'язаних з приливами в океані, твердій землі і в атмосфері, які викликані тяжінням Місяця і Сонця. Вважається, що приливи не мають суттєвого впливу на рух геостаціонарних супутників [5].



### 2.4.2 Визначення елементів орбіти геостаціонарних супутників.

Орбіту ТК ГСС пропонується визначати за добовими масивами вимірних значень TDOA із застосуванням двох моделей руху супутника: аналітичної моделі SGP4/SDP4 (Simplified General Perturbation/Simplified Deep Space Perturbation) і чисельної моделі інтегрування рівнянь руху супутника.

Нехай  $(x, y, z)$  – матриця-рядок координат супутника в неінерційній системі координат WGS84, а  $(x_{0j}, y_{0j}, z_{0j})$  і  $(x_{1j}, y_{1j}, z_{1j})$  – відомі координати  $j$ -ої пари станцій мережі, задані в тій же системі координат, де індексом 0 позначено нульову (першу) станцію пари, а індекс 1 – другу станцію пари. Відповідні координатам  $(x, y, z)$ ,  $(x_{0j}, y_{0j}, z_{0j})$  і  $(x_{1j}, y_{1j}, z_{1j})$  радіус-вектори позначимо через  $\vec{r}$ ,  $\vec{r}_{0j}$  і  $\vec{r}_{1j}$ . Нехай також  $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$  – координати супутника в інерційній системі координат, а  $S$  – матриця перетворення координат із інерційної в неінерційну систему координат:

$$(x, y, z)^T = S \cdot (\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})^T, \quad (2.17)$$

де символом  $T$  позначено операцію транспонування матриці.

Для визначення орбіти супутника необхідно задати модель руху супутника і оцінити параметри орбіти в заданий момент часу  $t^e$ . В якості параметрів орбіти зручно використовувати значення координат  $(\hat{x}^e, \hat{y}^e, \hat{z}^e)$  і швидкостей  $(\hat{v}_x^e, \hat{v}_y^e, \hat{v}_z^e)$  супутника в інерційній системі координат в момент часу  $t^e$ . Для обчислення компонент радіус-вектора  $\vec{r}^e = \vec{r}(t^e)$  і вектора швидкості  $\vec{v}^e = \vec{v}(t^e)$  супутника в момент часу  $t^e$  скористаємося методом найменших квадратів (МНК), а саме, будемо шукати мінімум наступної функції в залежності від  $\vec{r}^e$  і  $\vec{v}^e$ :

$$F(\vec{r}^e, \vec{v}^e) = \sum_{m,j} \delta_{mj} \cdot \left( \Delta\tau_j^{obs}(t_m) - \Delta\tau_j^{calc}(t_m, \vec{r}^e, \vec{v}^e) \right)^2, \quad m=0, \dots, (M-1), \quad j=0, \dots, (J-1) \quad (2.18)$$

де  $\Delta\tau_j^{obs}(t_m)$  – значення TDOA виміряне  $j$ -ою парою станцій мережі в момент часу  $t_m$ ,  $\Delta\tau_j^{calc}(t_m, \vec{r}^e, \vec{v}^e)$  – модельне значення TDOA в момент часу  $t_m$ , обчислене для  $j$ -о пари станцій мережі у відповідності до заданої моделі руху

супутника. В виразі 2.18 параметр  $\delta_{mj}$  дорівнює одиниці, якщо в момент часу  $t_m$  для  $j$ -ої пари маємо вимірне значення TDOA, в іншому випадку,  $\delta_{mj} = 0$ . Припускаючи, що значення  $t_m$  впорядковані по зростанню, отримаємо інтервал підгонки модельних значень TDOA рівним інтервалу часу від  $t_0$  до  $t_{M-1}$ . Тоді  $M$  дорівнює кількості відліків часу, для яких на інтервалі підгонки маємо вимірні значення TDOA хоча б для однієї пари. Відповідно  $J$  дорівнює загальній кількості пар станцій, для яких на інтервалі підгонки маємо хоча б одне вимірне значення TDOA. Нехай  $\vec{r}(t_m, \vec{r}^e, \vec{v}^e)$  – значення радіус-вектора супутника в інерційній системі координат в момент часу  $t_m$ , обчислене у відповідності до заданої моделі руху супутника для параметрів орбіти  $\vec{r}^e$  і  $\vec{v}^e$ . Тоді модельні значення TDOA можна обчислити за формулою:

$$\Delta \tau_j^{calc}(t_m, \vec{r}^e, \vec{v}^e) = \left( \left| \vec{r}(t_m, \vec{r}^e, \vec{v}^e) - \vec{r}_{1j} \right| - \left| \vec{r}(t_m, \vec{r}^e, \vec{v}^e) - \vec{r}_{0j} \right| \right) / c \quad (2.19)$$

де  $\vec{r}(t_m, \vec{r}^e, \vec{v}^e)$  – радіус-вектор супутника в неінерційній системі координат, проекції якого на осі координат знаходяться із виразу 2.17 по відомим значенням проекцій радіус-вектора  $\vec{r}(t_m, \vec{r}^e, \vec{v}^e)$  на вісі інерційної системи координат.

Для мінімізації функції  $F(\vec{r}^e, \vec{v}^e)$  пропонується використовувати метод Лівенберга-Марквардта [57], програмно реалізований в функції *leastsq* на мові програмування Python [58]. Вказаний метод дозволяє оцінювати шукані параметри без явного встановлення похідних, що значно спрощує реалізацію методу оцінки. В даному випадку немає потреби встановлювати похідні функції  $\Delta \tau_j^{calc}(t_m, \vec{r}^e, \vec{v}^e)$  по координатам  $\hat{x}^e, \hat{y}^e, \hat{z}^e$  і швидкостям  $\hat{v}_x^e, \hat{v}_y^e, \hat{v}_z^e$ .

Для моделювання руху супутника пропонується використовувати астродинамічну бібліотеку з відкритими сирцевими кодами OREKIT (ORbit Extrapolation KIT), написану на мові програмування Java. Для моделювання положення ТК ГСС використовуються дві моделі руху супутника: аналітичну

модель SGP4/SDP4 [59, 60] и чисельну модель інтегрування рівнянь руху супутника [61].

За допомогою моделі SGP4/SDP4 визначаються псевдо-кеплерові елементи орбіти супутника в так званому форматі TLE (Two Line Elements) або TLE-форматі, запропонованому NORAD. Інерційною системою координат для цієї моделі є система координат TEME (True Equator Mean Equinox).

Чисельна модель інтегрування рівнянь руху супутника враховує наступні збурення:

- гравітаційне тяжіння Сонця и Місяця (модель Planetary and Lunar Ephemerides DE405/DE406, розроблена в JPL (Jet Propulsion Laboratory)) [62];
- гравітаційне тяжіння несферичної Землі (модель гравітаційного поля Землі EIGEN-6S (European Improved Gravity model of the Earth by New techniques) з урахуванням членів розкладання до 8 степені і до 8 порядку [63].

Зазначимо, що чисельна модель може враховувати також вплив тиску сонячного випромінювання на рух супутника, якщо відома маса супутника, розміри, орієнтація та коефіцієнти віддзеркалення і поглинання його поверхні [64].

Координати супутника для чисельної моделі задаються в інерційній системі координат EME2000 (Earth's Mean Equator and Equinox), яка також називається J2000.

Початкове значення швидкості супутника задається рівним нулю в інерційній системі координат. Початкові значення координат супутника зручно задавати в системі координат WGS84, в якій задані координати станцій мережі і яка є базовою системою координат GPS, адже саме GPS використовується для синхронізації станцій мережі. Зазначимо, що система координат WGS84 (реалізація 2001 року) відповідає ITRF2008. При цьому достатньо задати наближені значення координат центру геостаціонарної

комірки, в якій знаходиться контрольований супутник:  $\varphi_{GSS}$ ,  $\lambda_{GSS} = 0$ ,  $h_{GSS} = 36000$  км, де  $\varphi_{GSS}$ ,  $\lambda_{GSS}$  і  $h_{GSS}$  довгота, широта і висота комірки, відповідно.

Викладений вище алгоритм оцінки параметрів орбіти ТК ГСС по вимірним значенням TDOA взято з програми GSO\_OTD, розробленої в НДІ «АО» ОНУ [65].

На додаток розглянемо випадок визначення координат контрольованого супутника в локальній системі координат, яка рухається разом із супутником. Саме в локальній системі координат в роботі [33] наводяться похибки обчислення мережею RaCoRa координат супутника. В роботі [33] вісі локальної системи координат позначені як радіальна (R), тангенціальна (T) і нормальна (N). Більш детальну інформацію про цю систему координат можна знайти в книзі [5]. Згідно [5] вісі R, T і N утворюють правосторонню декартову систему координат, початок якої знаходиться в центрі мас супутника. Вісі R і T знаходяться в площині орбіти супутника, а вісь N перпендикулярна до неї. Напрямок вісі T співпадає з напрямком швидкості супутника, а вісь R направлена вздовж лінії, що з'єднує центри мас Землі і супутника та має напрямок від центра мас Землі. Згідно [5] локальна система координат R, T і N використовується в системах контролю положення супутника. Так для зміни нахилу орбіти до супутника прикладається імпульс реактивної тяги потрібного напрямку вздовж вісі N. Зміна довготи супутника і ексцентриситету його орбіти виконується імпульсом потрібного напрямку та тривалості вздовж вісі T.

В астродинамічній бібліотеці OREKIT реалізована локальна системи координат (Local Orbital Frame або скорочено LOF) з назвами осей  $q$ ,  $s$  і  $w$  [66], яка повністю відповідає системі координатам R, T і N. Надалі, однак, збережемо назву R, T і N для осей цієї системи координат. Локальна система координат є зручною для характеристики руху супутника відносно іншої точки у просторі, наприклад, відносно нерухомої точки на поверхні Землі, такої як однопозиційний радар. Останній випадок детально розглянуто в [67],

де наводиться текст програми обчислення положення і швидкості радара в LOF, написаної на Java з використанням OREKIT. Ця програма була реалізована на мові програмування Python і використовувалася для визначення похибок обчислення координат R, T і N за елементами орбіти, отриманими за значеннями TDOA, виміряними радіоінтерферометричною мережею (п. 4.3).

## **Висновки по розділу 2**

1. Запропоноване автором перетворення комплексного сигналу в дійсний, яке враховує як особливості реєстрації станціями радіоінтерферометричної мережі сигналів цифрового супутникового телебачення DVB-S(S2), так і їхню структуру, дозволяє отримувати згортку цих сигналів, використовуючи широко розповсюджене обладнання – побутові приймачі супутникового телебачення та двоканальні USB-осцилографи.

2. Запропонований автором спосіб уточнення положення максимуму кореляційної функції з використанням інтерполяції спектрів та перетворення Гільберта від кореляційної функції дозволяє обчислювати положення максимуму з точністю, яка не залежить від частоти дискретизації і є кращою, ніж період дискретизації при умові, що частота дискретизації є не меншою подвоєної частоти Найквіста.

3. Проведено аналіз похибок обчислення TDOA сигналів, випромінюваних геостационарними супутниками і прийнятих просторово рознесеними наземними станціями, який показав, що суттєвими є похибки синхронізації станцій та інструментальні похибки.

4. Запропонований автором спосіб визначення TDOA, який передбачає установлення для кожної станції радіоінтерферометричної мережі індивідуальних затримок синхроімпульсів відносно початку секунди,

дозволяє розміщувати станції на довільній відстані одна від одної. Отримано розрахункове співвідношення для обчислення TDOA за даними кореляційного аналізу сигналів цифрового супутникового телебачення яке враховує додаткові інструментальні затримки в приймальних трактах станцій.

5. Згідно запропонованих автором способів калібрування, отримані розрахункові співвідношення для обчислення діючої частоти дискретизації АЦП і врахування інструментальних затримок в приймальних трактах станцій мережі.

6. Отримані розрахункові співвідношення для обчислення методом мультилатерації поточних декартових координат супутника за даними вимірювання радіоінтерферометричною мережею із чотирьох станцій значень TDOA сигналів цифрового супутникового телебачення.

7. Проведено аналіз збурень прискорення геостаціонарних супутників, який показав, що суттєвими є збурення обумовлені впливом гравітації Місяця та Сонця, відхиленнями гравітаційного поля Землі від сферично-симетричного та тиском сонячного випромінювання.

8. Наведено спосіб обчислення орбітального положення ТК ГСС по вимірним значенням TDOA з використанням аналітичної моделі руху супутника SGP4/SDP4 та чисельної моделі інтегрування рівнянь руху супутника, яка враховує гравітаційне тяжіння Місяця і Сонця та гравітаційне тяжіння несферичної Землі. Для врахування впливу тиску сонячного випромінювання на рух супутника потрібно знати масу супутника, розміри, орієнтацію та коефіцієнти віддзеркалення і поглинання його поверхні.

### РОЗДІЛ 3

## РОЗРОБКА ТА СТВОРЕННЯ РАДІОІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ МОНІТОРИНГУ ТК ГСС.

### 3.1 Розробка апаратно-програмного комплексу станцій мережі

**3.1.1 Характеристики апаратного комплексу станцій.** Станції радіоінтерферометричної мережі моніторингу ТКГСС, створеної за ініціативою НДІ «МАО», мають ідентичне обладнання. Нижче перераховані необхідні компоненти станцій, а також наведені вимоги до них, їхні моделі та основні характеристики.

***Приймальна антена.***

- Вимоги: стандартна антено-фідерна система прийому сигналів супутникового телебачення з параболічною супутниковою антеною.

- Моделі, що використовувалися: офсетні антени з діаметром 0.9 м та 1.9 м (в Миколаєві);

***Телевізійний приймач.***

- Вимоги: стандарт DVB-S або DVB-S2; наявність виводу на зовнішній АЦП синфазного (In) і квадратурного (Qu) сигналів до їхньої обробки мікропроцесором приймача супутникового телебачення.

- Моделі, що використовувалися: SkyStar1, SkyStar2, стандарт DVB-S.

***GPS-приймач.***

- Вимоги: наявність секундного синхроімпульсу (сигнал PPS), наявність програмованого блоку змінювання затримки сигналу PPS відносно початку секунди.

- Моделі, що використовувалися: одночастотні GPS приймачі ThunderBolt-E і Resolution-T виробництва фірми Trimble (паспортна похибка визначення положення синхроімпульсу PPS – 15 нс (одна сигма)) [68, 69]. Слід зазначити, що для GPS приймача Resolution-T реальна похибка визначення положення синхроімпульсу PPS становить не менше 24 нс.

***Схема затримки синхроімпульсу PPS відносно початку секунди.***

- Вимоги: діапазон змінювання  $\pm 10$  мс, точність устанавлення – 1 мкс.
- Моделі, що використовувалися: програмовані блоки затримки сигналу PPS в одночастотних GPS приймачах ThunderBolt-E і Resolution-T, діапазон –  $\pm 50$  мс, точність устанавлення –  $10^{-15}$  с (задається в секундах числом з плаваючою крапкою, що відповідає змінній double в мові програмування C++) [68, 69].

***Аналогово-цифровий перетворювач.***

- Вимоги: два канали, старт оцифровування по зовнішньому імпульсу, частота дискретизації не менше 60 МГц, розрядність не менше 8 біт.
- Моделі, що використовувалися: цифровий USB-осцилограф DSO5200A (максимальна частота дискретизації 256 МГц (без інтерполяції), розрядність 9 біт, розмір буфера: 10240 двобайтних слів) та USB-осцилограф DSO2090 (максимальна частота дискретизації 128 МГц (без інтерполяції), розрядність 8 біт, розмір буфера: 10240 двобайтних слів). Осцилограф DSO2090 використовувався під час першого експерименту в серпні 2011 року.

***Персональний комп'ютер (ПК).***

- Мінімальні вимоги: порти USB і RS-232; операційна система Windows XP SP2 або SP3; тактова частота процесора 1 ГГц; оперативна пам'ять 1 Гбайт, жорсткий диск 40 Гбайт.
- Моделі, що використовувалися: параметри комп'ютерів станцій наведені в таблиці 3.1.

***Швидкісна лінія Internet.*** Комп'ютери станцій підключаються до швидкісних ліній Internet, які необхідні для передачі в пункт обчислення орбітальних параметрів архівованих даних реєстрації сигналів цифрового супутникового телебачення. Добовий об'єм інформації, що передається кожною станцією, не перевищує 1 ГБайта.

- Вимоги: швидкість передачі даних – не менше 100 кБайт/с.



- Характеристики ліній Internet, що використовувалися: швидкості передачі даних наведені в таблиці 3.1.

В таблиці 3.1 розміщена додаткова інформація, що характеризує обладнання станцій мережі. Параметр ID в таблиці відповідає умовному номеру станції, а характеристики ПК наведені в таблиці в наступному порядку: тактова частота процесора в ГГц / об'єм оперативної пам'яті в гігабайтах (ГБ) / об'єм пам'яті жорсткого диску ПК в ГБ.

Таблиця 3.1. Параметри обладнання станцій мережі.

Параметр	Миколаїв	Харків	Мукачеве	Вентспілс	Рівне
ID	0	1	2	4	5
Приймач DVB-S	SkyStar1	SkyStar1	SkyStar2	SkyStar2	SkyStar2
ПК, ГГц/ГБ/ГБ	0.9/0.8/75	2.3/1.0/40	1.1/0.8/75	2.8/3.3/580	1.6/1.0/255
Швидкість Internet, МБ/с	7.5	5.2	0.1	1.9	1.2

Наведена в таблиці швидкість підключення до Internet для станції в Миколаєві отримана за допомогою програмного забезпечення, розміщеного на сайті [70], тоді як для інших станцій вона обчислювалася за даними програми FTP-клієнт FileZilla [71], яка використовується для скачування даних спостережень цих станцій в пункт обчислення орбітальних параметрів в Миколаєві.

Блок-схема станції наведена на рис. 3.1. Відповідно до блок-схеми сигнал цифрового супутникового телебачення DVB-S з антени надходить в блок LNB (Low Noise Bloc downconverter). Блок LNB слугує для [72]:

- прийому сигналу супутникового телебачення в фокусі мікрохвильової антени завдяки відповідному розміщенню,

- підсилення прийнятого сигналу,
- першого зниження прийнятого спектру в діапазон менших частот.

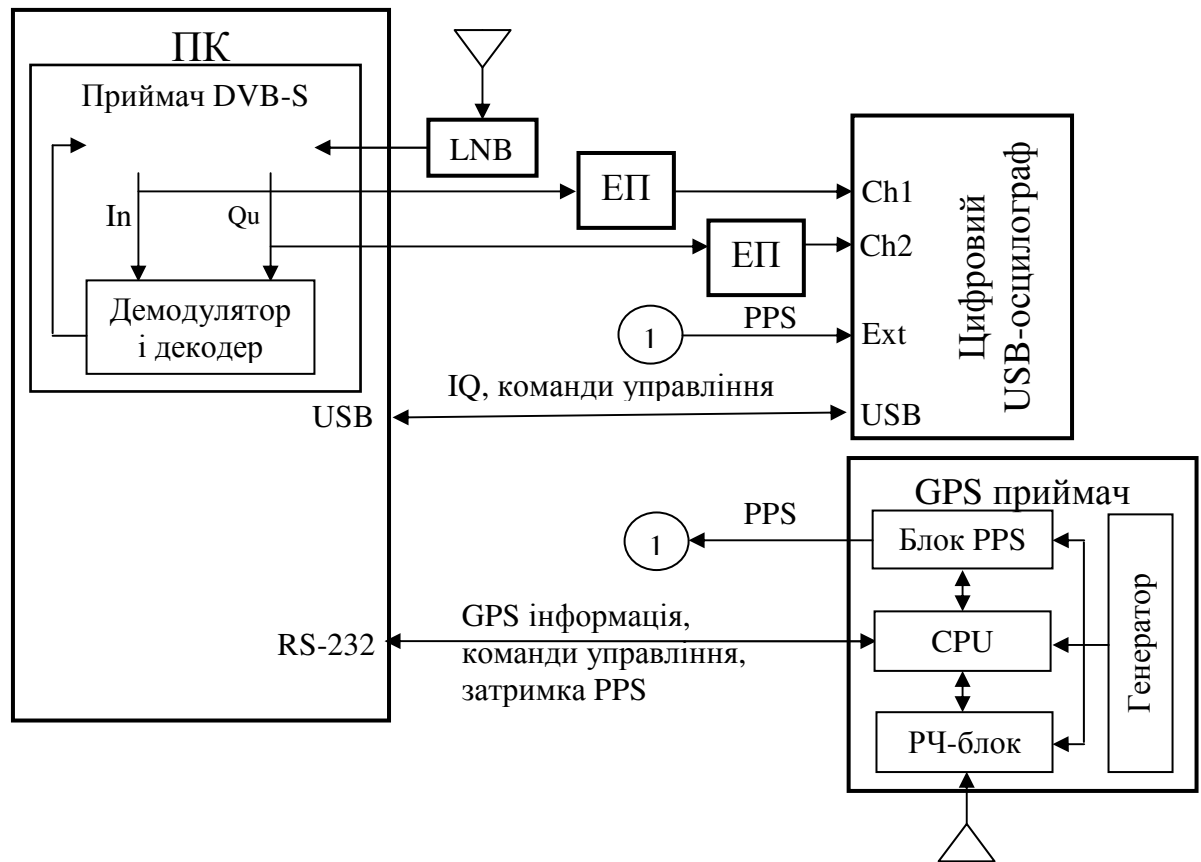


Рисунок 3.1 – Блок-схема станції.

Станції мережі використовують сучасні універсальні LNB. Універсальність стосується можливості приймати сигнал як з вертикальною, так і з горизонтальною поляризацією та можливості роботи в двох діапазонах частот: нижньому (10.70–11.70 ГГц) і верхньому (11.70–12.75 ГГц). Вважається, що ці діапазони належать до діапазону Ku [73]. Універсальність, однак, не стосується типу антени – прямофокусної або офсетної [74]. Всі станції мережі укомплектовані офсетними антенами і відповідними LNB. Перше зниження частоти в універсальних LNB виконується до величини, яка знаходиться в інтервалі від 950 до 2150 МГц. Для зниження частоти використовується гетеродин, який може формувати сигнали з частотами 9.75 або 10.6 ГГц. Прийнятий сигнал змішується з одним з цих сигналів

гетеродина в залежності від того, до якого діапазону (нижнього або верхнього) належить частота сигналу, що приймається. Вибір потрібного сигналу гетеродина здійснюється подачею сигналу 22 кГц по ланцюгу живлення LNB, тобто, в залежності від наявності/відсутності сигналу 22 кГц вибирається, відповідно, сигнал гетеродина з частотою 9.75 ГГц/10.6 ГГц для змішування з вхідним сигналом нижнього/верхнього діапазону. Для прийому сигналів з вертикальною і горизонтальною поляризацією в передній частині LNB знаходиться хвилевод з двома штировими антенами, розташованими перпендикулярно одна-одній. Підключення цих антен до LNB здійснюється за допомогою електронних ключів, які управляються рівнем напруги живлення. При цьому вертикальній поляризації відповідає напруга живлення від 12.5 В до 14.5 В, а горизонтальній – від 15.0 В до 18.0 В. Зазначимо, що так як сигнали цифрового супутникового телебачення мають ширину спектру порядку 30 МГц, то для похибки установки частоти гетеродина задаються достатньо низькі вимоги порядку  $\pm 5$  МГц [75]. При цьому, однак, сигнал гетеродина повинен мати мінімальний рівень фазових шумів, так як саме значення фази прийнятого сигналу містять корисну інформацію. Так в полосі частот 1 кГц рівень фазових шумів сигналу гетеродина не повинен перевищувати -50 дБ, де рівень шумів в децибелах вказано відносно рівня несучої частоти і приведено до полоси 1 Гц [75].

Після LNB прийнятий сигнал надходить в радіочастотний блок («РЧ-блок») приймача цифрового супутникового телебачення («Приймач DVB-S»), де виконується підсилення сигналу і друге зниження частоти – квадратурне детектування. На виході квадратурного детектора маємо два сигнали на нульовій частоті – прямий ( $I_n$ ) та квадратурний ( $Q_n$ ), який є перетворенням Гільберта від прямого сигналу.

Сигнали  $I_n$  і  $Q_n$  з виходу детектора надходять в блок «Демодулятор і декодер», де, перш за все, виконується їхня оцифровка і демодуляція. В даному випадку в приймачах станцій мережі використовується стандарт передачі інформації DVB-S. Отже, в результаті демодуляції значення фази

сигналу перетворюються в символи цифрового інформаційного потоку. В блоці «Демодулятор і декодер» також формується сигнал зворотного зв'язку, який надходить в радіочастотний блок для відновлення несучої і налаштування фази гетеродину таким чином, щоб фаза сигналу на виході квадратурного детектора відповідала відомій інформаційній структурі транспортного потоку, тобто, забезпечується тактова синхронізація, яку ще називають синхронізацією символів [40].

Прямий і квадратурний сигнали через емітерні повторювачі (ЕП) одночасно подаються як на блок «Демодулятор і декодер», так і на перший (Ch1) і другий (Ch2) канали цифрового USB-осцилографа. Для подачі сигналів на канали USB-осцилографа в НДІ «МАО» було проведено спеціальне доопрацювання приймачів супутникового телебачення.

Загальна схема доопрацювання приймача SkyStar1 наведена на рис. 3.2.

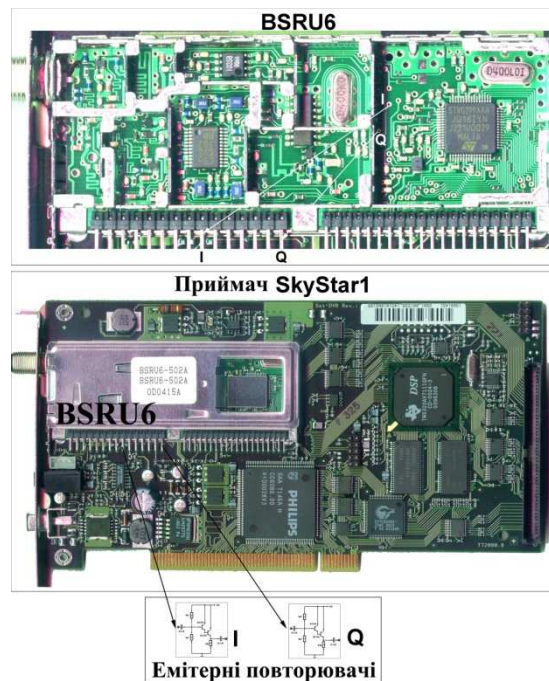


Рисунок 3.2 – Схема доопрацювання приймача цифрового супутникового телебачення SkyStar1 в частині виводу сигналів квадратурного детектора.

На цій схемі пристрій BSRU6 є РЧ-блоком і демодулятором приймача, а буквами I і Q позначені прямий та квадратурний канали приймача. Точки

підключення до каналів I і Q на платі BSRU6 були визначені за технічним описом мікросхеми демодулятора STV0299, яка входить до складу BSRU6 [76]. З точок на платі сигнали In і Qu подаються на вільні зовнішні контакти BSRU6 і далі – на вхід емітерних повторювачів. У збільшеному масштабі плата BSRU6 та принципова електрична схема емітерного повторювача наведені на рис. 3.3.

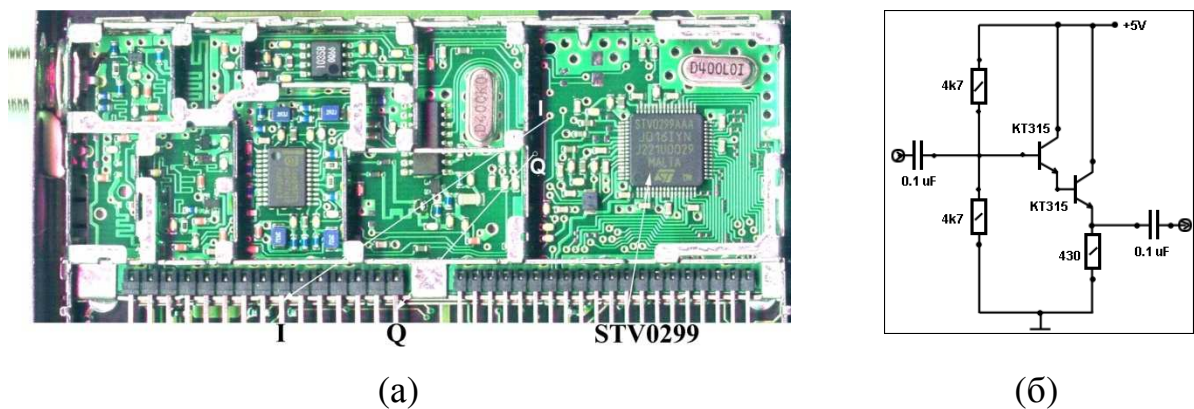


Рисунок 3.3 – Схема доопрацювання BSRU6 в частині виводу сигналів квадратурного детектора (а) та принципова електрична схема емітерного повторювача (б).

Приймач SkyStar2 відрізняється від SkyStar1 тим, що сигнали квадратурного детектора штатно подаються на зовнішні контакти РЧ-блока [77]. На рис. 3.4 наведено зображення плати SkyStar2 з зазначенням контактів, на які подаються сигнали In і Qu.

Для зчитування у внутрішню пам'ять осцилографа вибірок In і Qu заданої тривалості  $T_s$  використовується сигнал PPS, який надходить від GPS-приймача на роз'єм зовнішнього запуску осцилографа (Ext). В персональний комп'ютер через порт RS232 від GPS-приймача, синхронно з сигналом PPS, надходить пакет даних з поточними значеннями дати, часу, координат та з іншою інформацією. Після прочитання цього пакету, спеціальна програма [78], розроблена автором, формує системне повідомлення про початок

зчитування реалізацій у часі (IQ) сигналів  $I_n$  і  $Q_n$  із внутрішньої пам'яті осцилографа і збереженню їх на жорсткому диску ПК.



Рисунок 3.4 – Приймач цифрового супутникового телебачення SkyStar2.

$I$  і  $Q$  – прямий та квадратурний канали приймача.

Для прикладу на рис. 3.5 наведено зображення комп'ютера харківської станції з платою приймача SkyStar1 та з блоком емітерних повторювачів.

На блок-схемі GPS-приймача, наведеній на рис. 3.1, функція формування сигналу PPS для наочності виділена в окремий блок («Блок PPS»). Відповідно до блок-схеми, сигнали, випромінені GPS-супутниками і прийняті антеною, надходять в радіочастотний блок («РЧ-блок»), де вони підсилюються і переносяться на низьку частоту. В процесорному блоці («CPU») відбувається оцифровка і обробка сигналів. В результаті обробки визначаються псевдодальності, покази годинників супутників, їхні навігаційні повідомлення [50]. За навігаційними повідомленнями визначаються координати супутників, а за відомими координатами супутників і псевдодальностями обчислюються координати користувача [53]. Покази годинника користувача, як і його координати, також визначаються в GPS-приймачі. Знайдене значення поточного часу надходить в блок формування секундного синхроімпульса («Блок PPS»).

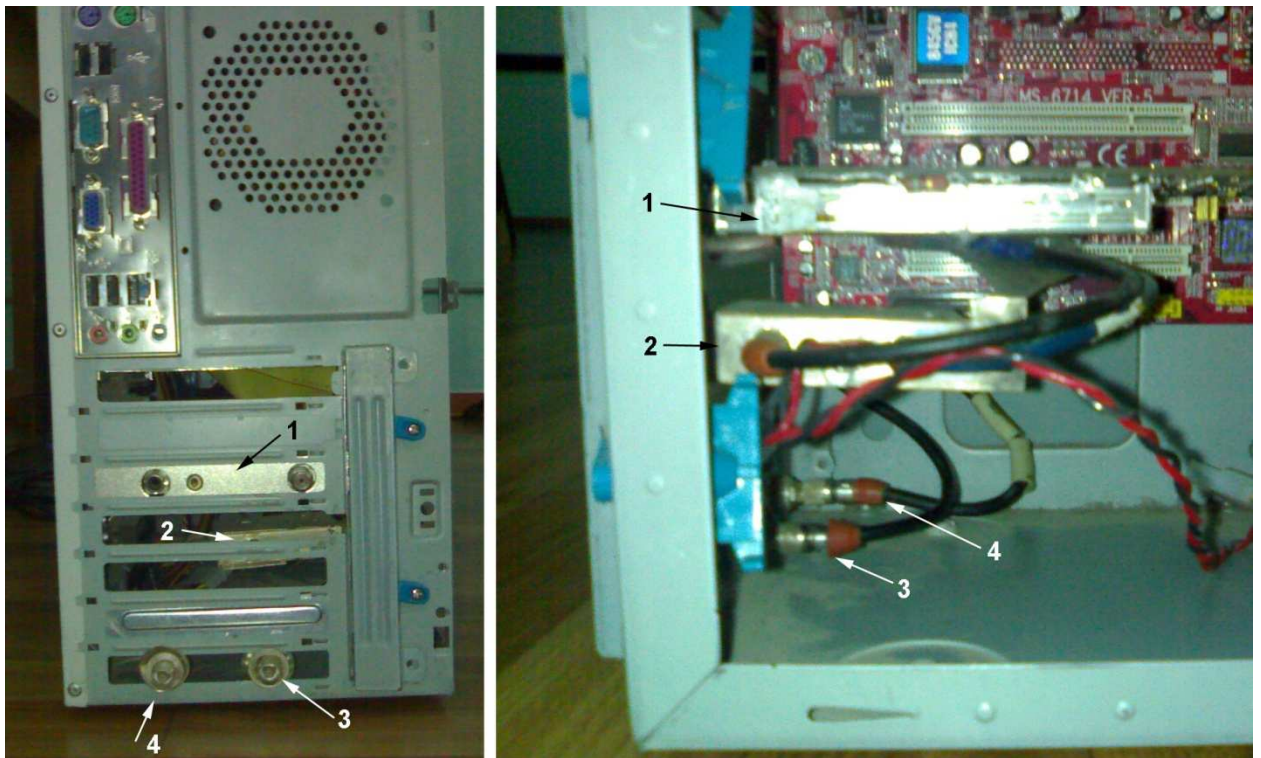


Рисунок 3.5 – Комп'ютер харківської станції з платою SkyStar1 (1) та з блоком емітерних повторювачів (2), де 3 – прямий, а 4 – квадратурний канали приймача.

За умовчуванням передній фронт сигналу PPS збігається з початком секунди. У приймачі може передбачатися установлення необхідної затримки сигналу PPS відносно початку секунди ( $\tau_{PPS}$ ). В цьому випадку для зміни затримки використовується відповідна команда протоколу обміну між GPS-приймачем і ПК. Наприклад, в приймачах ThunderBolt-E використовується протокол обміну TSIP (Trimble Standard Interface Protocol) [79], в якому є команда 0x8E-4A (параметр «PPS offset») для змінювання  $\tau_{PPS}$ .

Блок «Генератор» формує спільний синусоїдальний опорний сигнал для всього GPS-приймача, що забезпечує синхронізацію процесів обробки і обчислень.

На рис. 3.6 (а) показано загальний вигляд антени GPS і антени супутникового телебачення станції в Вентспілсі. Зображення ПК та іншого обладнання станції наведено на рис. 3.6 (б). На передньому плані цього рисунку зліва знаходиться блок, в якому для зручності експлуатації

розміщується цифровий USB-осцилограф і GPS-приймач ThunderBolt-E станції.



(а)



(б)

Рисунок 3.6 – Загальний вигляд обладнання вентспільської станції: (а) – антена супутникового телебачення (на передньому плані) та антена GPS; (б) – ПК та інше обладнання станції.

**3.1.2 Програмне забезпечення комп'ютерів станцій.** Станції мережі мають ідентичне програмне забезпечення, до якого входить:

- ПЗ приймача цифрового супутникового телебачення;
- ПЗ цифрового USB-осцилографа;
- ПЗ GPS-приймача;
- програма TSIP\_SYN синхронізації по GPS користувальницьких програм та часу ПК;
- програма DSO5200A-SYN синхронного по GPS щосекундного читання з внутрішньої пам'яті осцилографа даних IQ, їх первинної обробки, архівації і збереження на жорсткому диску комп'ютера;
- ПЗ віддаленого доступу до комп'ютера станції;
- програма скачування даних спостережень.



ПЗ станцій працює під управлінням операційної системи Windows XP Service Pack 2 або 3.

Штатне програмне забезпечення приймачів SkyStar1 і SkyStar2 складається з драйверів обладнання, програми переглядача та програми налаштування на потрібний транспондер. У приймача SkyStar1 програма HighendDVB використовується, як для переглядання телевізійних програм, так і для налаштування. Для переходу в режим налаштування потрібно натиснути відповідну кнопку на головній формі програми HighendDVB. Для налаштування приймача SkyStar2 використовується програма Setup4PC. Програма налаштування є важливим елементом контролю функціонування станцій, так як містить інформацію про рівень сигналу, який приймається приймачем, а саме, про величину відношення сигнал/шум. Нормальним вважається рівень сигналу, коли відношення сигнал/шум дорівнює не менше 3 Дб.

Програмне забезпечення цифрового USB-осцилографа складається з драйверів обладнання і штатної програми відображення осцилограм DSO-5200AUSB [80]. Штатна програма осцилографа використовується для контролю функціонування обладнання і програмного забезпечення.

GPS-приймачі ThnderBolt-E, які входять до складу станцій мережі, не потребують додаткових драйверів обладнання, так як для зв'язку з ПК використовується стандартний інтерфейс RS232. Для контролю функціонування приймача слугує програма DSPMonitor – безкоштовний програмний продукт фірми-виробника ThnderBolt-E.

Програма TSIP\_SYN розроблена автором [78] і є доопрацьованим варіантом програми з відкритим сирцевим кодом TSIPDemo, яка надається фірмою-виробником GPS-приймача [81]. Програма призначена для прийому щосекундних повідомлень GPS приймача ThunderBolt-E про поточний час, про координати об'єкта та інше, які синхронні з моментом видачі приймачем щосекундних імпульсів точного часу PPS. В програмі TSIP\_SYN отримана інформація упаковується і видається всім програмам персонального

комп'ютера за допомогою спеціально зареєстрованих системних повідомлень Windows. В програмі TSIP\_SYN проводиться корекція системного часу комп'ютера, якщо обчислене протягом хвилини середнє значення різниці часу комп'ютера та часу, що надійшов від GPS приймача, було більшим за середньоквадратичне відхилення. Програма також встановлює необхідне значення затримки сигналу PPS відносно початку секунди, яке задається користувачем за допомогою ini-файлу програми (параметр PPS\_Delay\_us). Встановлене значення затримки є одним із параметрів, які надсилаються користувачам ПК за допомогою системних повідомлень. Програма написана на мові програмування VisualC.

Програма DSO5200A-SYN розроблена автором і є доопрацьованим варіантом вільно розповсюджуваної програми з відкритим сирцевим кодом VCProject, яка надається розробником цифрового USB-осцилографа [80]. Читання комплексної вибірки сигналу DVB-S з внутрішньої пам'яті осцилографа здійснюється програмою по приходу системних повідомлень Windows, які видаються програмою TSIP\_SYN синхронно з надходженням інформації від GPS-приймача. Отримавши комплексну вибірку сигналу DVB-S, програма DSO5200A-SYN обчислює згідно виразу (2.4) вибірку (g) округлених нормованих значень дійсної функції  $F$ . Залежність  $F$  від амплітуди і фази комплексного сигналу задається формулою (2.1). Щосекундні масиви (g) стискається без втрат за допомогою архіватора zip і зберігається на жорсткому диску ПК. Для стискування використовується вільно розповсюджувана бібліотека LiteZip [82]. При цьому в одному zip-архіві міститься інформація, отримана протягом години спостережень. Одночасно з масивом (g) архівуються також дата і час отримання масиву, середнє значення ( $\bar{F}$ ) і СКП ( $\sigma_F$ )  $F$ , коефіцієнт округлення  $k_{round}$ , поточні значення координат станції та кількість спостережуваних супутників GPS, за даними яких ці координати отримані. В програмі передбачено встановлення шкали осцилографа  $T_s$ , джерела синхронізуючого імпульсу (зовнішній імпульс (EXT), з 1-го каналу, з 2-го каналу, або внутрішній), порогу

синхронізації, нульового рівня амплітуди для кожного каналу осцилографа та інших параметрів. Основним способом установлення або зміни параметрів вважається використання ini-файлу програми. Програма написана на VisualC.

На рис. 3.7 показані образи екранів програм TSIP\_SYN (а) і DSO5200A-SYN (б). Наведені на рисунку образи екранів отримані з ПК рівненської станції.

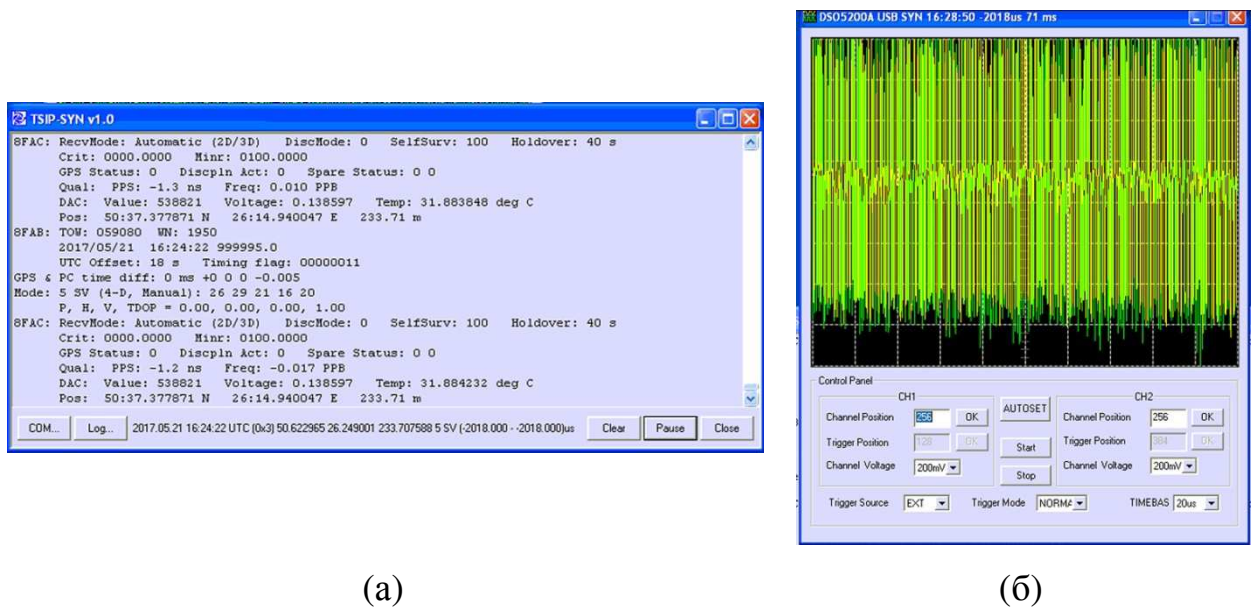


Рисунок 3.7 – Образи екранів програмам TSIP\_SYN (а) і DSO5200A-SYN (б).

Із даних, наведених на рис. 3.7, витікає, що осцилограми першого і другого каналів накладені одна на одну. Дані обставини є наслідком технічних обмежень і обумовлені установленням для обох каналів одного і того ж значення нульового рівня амплітуди, який відповідає середині області виведення осцилограм. При цьому забезпечується максимальний динамічний діапазон амплітуди комплексного сигналу.

Звернемо увагу також на наступну інформацію, яка міститься на рисунку. На рис. 3.7 (а) це рядок з даними між кнопками «Log» і «Clear». В цьому рядку зліва направо виводяться поточні значення дати і часу UTC, службової інформації (в даному випадку 0x3), координат станції (широта і довгота в градусах, висота в метрах), кількості спостережуваних супутників

GPS (в даному випадку 5 SV або 5 Space Vehicles), значення заданої і виконаної затримок сигналу PPS відносно початку секунди ( $\tau_{PPS}$ ) та розмірність  $\tau_{PPS}$ . В даному випадку обидва значення  $\tau_{PPS}$  співпадають і дорівнюють  $-2018$  мкс. Виконане значення  $\tau_{PPS}$  виводиться також на головну форму програми DSO5200A-SYN в область назви програми – це верхній рядок на рис. 3.7 (б).

Для віддаленого доступу до комп'ютера станції використовується локальна мережа, якщо станція суміщена з пунктом обчислення орбітальних параметрів. Доступ до комп'ютерів інших станцій здійснюється за допомогою Internet і безкоштовної версії програми AnyDesk [83].

Для оперативної передачі даних спостережень з віддалених станцій в пункт обчислення орбітальних параметрів використовується вільно розповсюджувана програма з відкритими сирцевими кодами FTP-клієнт FileZilla [71].

### **3.2 Апаратне і програмне забезпечення пункту обчислення орбітальних параметрів**

До складу пункту обчислення орбітальних параметрів входить персональний комп'ютер та швидкісна лінія Internet. Нижче наведені їхні основні характеристики.

#### ***Персональний комп'ютер.***

- Тактова частота процесора 3 ГГц; 64-х бітний процесор з 4-ма ядрами; оперативна пам'ять 4 Гбайт; жорсткий диск 3 Тбайта; операційна система Windows 7.

***Швидкісна лінія Internet.*** Швидкість 7.5 МБ/с. Добовий об'єм інформації, що закачується зі станцій мережі не перевищує 4 ГБайта.

Наведені параметри комп'ютера дозволяють протягом, приблизно 0.7 доби, обробляти добовий масив даних спостережень мережі із 5 станцій. При цьому, у випадку мережі із 5 станцій значення TDOA обчислюються для 10

базових ліній або пар, а у випадку 4 станцій – для 6 базових ліній. Час необхідний для обробки добових даних спостережень 4 станцій становить 0.3 доби.

До складу програмного забезпечення пункту обчислення орбітальних параметрів входять наступні програми:

- програма `corr2fileszip_Few24h_parallel.py` кореляційної обробки даних спостережень мережі і оцінки TDOA, розроблена автором [84];
- програма `GSO_OTD` обчислення параметрів орбіти контрольованого ТК ГСС за даними вимірювань TDOA, розроблена в НДІ «АО» ОНУ [65];
- програма згладжування секундних вибірок TDOA (`gss_tdoa_1s_obs.py`);
- допоміжні програми, розроблені автором для пост-кореляційної обробки та візуалізації отриманих значень TDOA і орбітального положення супутника.

Всі зазначені вище програми написані на мові програмування Python. Сирцевий код програми `corr2fileszip_Few24h_parallel.py` розміщено в Додатку А.

Вхідною інформацією програми `corr2fileszip_Few24h_parallel.py` є:

- інтервал часу, для якого потрібно провести обчислення TDOA;
- умовні номери станцій, за спостереженнями яких потрібно визначити TDOA, а саме, 0 – Миколаїв, 1 – Харків, 2 – Мукачеве, 3 – Київ, 4 – Вентспілс та 5 - Рівне;
- шляхи до кореневих каталогів кожної з станцій, в яких по рокам, місяцям і дням розміщені годинникові zip-архіви їхніх спостережень.

Програма автоматично знаходить потрібні zip-архіви, розпаковує їх, відновлює масиви ( $\hat{F}$ ) нормованих значень функції  $F$  (п. 2.1) та за допомогою швидкого перетворення Фур'є розраховує кореляційні функції вибірок  $\hat{F}$ , отриманих для всіх заданих пар станцій з різними базовими лініями. Знаходяться максимуми кореляційних функцій та обчислюються

відповідні значення TDOA. Алгоритм визначення TDOA по кореляційній функції детально викладено в пп. 2.1.2 і 2.1.3.

Для зменшення часу обчислень в програмі використовується багатопроцесорна обробка даних. При цьому мінімальний інтервал часу, який обробляється одним процесом, дорівнює добі. Кількість діб (процесів), які одночасно обробляються, є параметром програми (параметр `Nprocesses` в `ini`-файлі програми, дивись п. А.8 в Додаток А).

Зазначимо, що апаратурні затримки  $\Delta\tau_{hik}$  для всіх пар станцій та значення коефіцієнта пропорційності між діючою і номінальною частотами дискретизації АЦП ( $k_{sr}$ ) є константами програми, розміщеними в файлі `stations.py` (п. А.2 в Додатку А).

На виході програми отримуємо щосекундні значення відносної затримки (TDOA) сигналів DVB-S, прийнятих станціями мережі. Час спостереження і відповідні відносні затримки записуються в текстові файли окремо для кожної пари станцій та для кожної доби спостережень. Крім TDOA в ці текстові файли записуються щосекундні значення відношення сигнал/шум в максимумі кореляційної функції (Q), середні значення коефіцієнта кореляції, обчислені без урахування максимуму, а також кількості спостережуваних супутників GPS-приймачами кожної станцій пари.

Вхідною інформацією програми `gss_tdoa_1s_obs.py` згладжування секундних вибірок TDOA є:

- час усереднення;
- шлях до кореневого каталогу де по рокам, місяцям і дням, окремо для кожної пари станцій з різними базовими лініями, розміщені добові текстові файли з щосекундними значеннями TDOA;
- початкові і кінцеві значення дати і часу інтервалу, для якого проводиться усереднення.

На виході програми з кроком, рівним часу усереднення, маємо наступні три статистичні характеристики TDOA: середні значення, СКП і значення максимального модуля відхилення TDOA від середнього значення на інтервалі усереднення. Одночасно середні значення і СКП обчислюються для відношення сигнал/шум в максимумі кореляційної функції і для кількості спостережуваних GPS-супутників. Час спостереження та всі названі статистичні характеристики записуються в файли окремо для кожної пари станцій з різними базовими лініями.

Зазначимо, що при формуванні вибірок названих параметрів, виконується відбраковування грубих помилок за двома порогоми, а саме: якщо для даної секунди відношення сигнал/шум  $Q$  менше деякого порогу  $Q_{min}$ , то дана секунда виключається із вибірки для усереднення, а також усереднення не проводиться, якщо об'єм вибірки менше  $n_{min}$ . Пороги  $Q_{min}$  і  $n_{min}$  є параметрами програми.

Вхідною інформацією програми GSO\_OTD обчислення параметрів орбіти контрольованого ТК ГСС є шлях до кореневого каталогу, в якому розміщені текстові файли з середніми значеннями TDOA, сформовані програмою `gss_tdoa_1s_obs.py`.

При обчисленні елементів орбіти виконується відбраковування грубих помилок за одним порогом, а саме: значення TDOA не враховується при обчисленні елементів орбіти, якщо СКП TDOA перевищує деяке максимальне значення  $\sigma_{max}$ , яке є параметром програми.

Обчислення елементів орбіти виконується для кожної доби, для якої в файлах із заданого каталогу є виміряні значення TDOA. Епохою обчислення елементів орбіти вважається момент часу 12:00:00 UTC відповідної доби. Алгоритм обчислення елементів орбіти детально викладено в п. 2.4.2.

Отримані елементи орбіти для двох моделей руху супутника (аналітичної моделі SGP4/SDP4 і чисельної моделі інтегрування рівнянь руху супутника) записуються в окремі текстові файли, формуючи каталог елементів орбіти контрольованого супутника. Зазначимо, що результатом

визначення орбіти за допомогою аналітичної моделі SGP4/SDP4 є елементи орбіти в TLE-форматі [85]. Результатом обчислення орбіти за допомогою чисельної моделі є координати і швидкості супутника в системі координат EME2000 на епоху обчислення орбіти.

### 3.3 Створення мережі

Перший успішний експеримент по спостереженню ТК ГСС радіоінтерферометричним методом був виконаний в серпні 2011 року двома пунктами (станціями), розташованими в с. Маяки на території філії НДІ «АО ОНУ» і в Миколаєві на території НДІ «МАО» [46, 86, 87, 88]. Відстань між станціями була приблизно 150 км. Під час експерименту синхронізація станцій здійснювалась за допомогою одночастотних GPS-приймачів Resolution-T, а цифрові USB-осцилографи DSO5200A і DSO2090 використовувалися в якості АЦП. Осцилограф DSO2090 на відміну від DSO5200A має меншу смугу пропускання (40 МГц) і меншу розрядність АЦП (8 біт). Осцилограф DSO5200A має смугу пропускання 200 МГц і 9-ти бітне АЦП. Сигнали цифрового супутникового телебачення (стандарт передачі інформації DVB-S, частота транспондера 11179 МГц, поляризація горизонтальна, символна частота 27500 кГц, або скорочено, DVB-S/11179/H/27500) приймалися з використанням стандартних антенно-фідерних трактів (діаметри антен 0.9 м (с. Маяки) і 1.9 м (Миколаїв)) і приймачів SkyStar1, виготовлених у вигляді PCI-плат. Протягом двох діб (з 25 по 27 серпня) спостерігався ТК ГСС «HotBird-9» або «Eutelsat-13C» [89], який розміщується в точці стояння  $13^\circ$  сд. Спостереження проводилися при нульових значеннях затримок  $\tau_{PPS}$  секундних синхроімпульсів GPS приймачів станцій відносно початку секунди. Тому, з урахуванням відстані між станціями, для забезпечення прийому станціями одних і тих же фрагментів сигналу DVB-S, номінальна частота дискретизації була взята 25.6 МГц. Враховуючи ширину спектра сигналу DVB-S, яка у даному випадку дорівнює



30 МГц [35], ця частота дискретизації приблизно в 2 рази менша частоти дискретизації Найквіста і згідно дослідження, проведеного в [46], є мінімально можливою для використаних типів осцилографів, при якій зберігаються прийнятні значення похибки визначення TDOA, близькі до похибки синхронізації сигналу PPS Resolution-T [69]. При цьому допустимі значення TDOA були меншими 353 мкс, тоді як виміряні значення знаходилися в інтервалі від 308 до 310 мкс [46].

Спостереження на регулярній основі почалися в 2013 році двома станціями, розташованими в Одесі на території НДІ «АО» ОНУ і в Миколаєві [51, 90]. Розміщення станцій радіоінтерферометра з позначенням напрямків на контрольовані супутники дано на рис. 3.8.

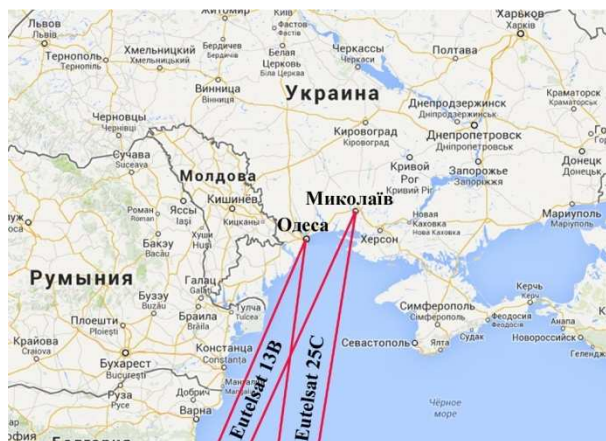


Рисунок 3.8 – Карта розміщення станцій радіоінтерферометра в період часу з квітня 2013 по липень 2014 рр.. Карта і напрямки на супутники взяті з сайту <http://www.satbeams.com/>.

Відстань між станціями була приблизно 100 км. До складу одеської станції ввійшло обладнання, яке під час першого експерименту знаходилося в с. Маяки, за одним виключенням, а саме цифровий осцилограф DSO2090 був замінений на більш досконалий DSO5200A.

В квітні (з 10 по 20 квітня) та в вересні-жовтні (з 20 вересня по 29 жовтня) 2013 року протягом 50 діб станціями радіоінтерферометра супроводжувався ТК ГСС «Eutelsat-25C» (точка стояння 25.5° сд). Під час

спостережень реєструвався сигнал транспондера з параметрами DVB-S/11585/V/27500. Протягом всього періоду спостережень супутника «Eutelsat-25C» затримка  $\tau_{PPS}$  обох станцій була нульовою, а задане значення номінальної частоти дискретизації дорівнювало 25.6 МГц. Спостереження закінчилися 29.10.2013 р. в 00:09:00 UTC в зв'язку зі зникненням сигналу супутника, обумовленим припиненням його експлуатації і заміною на супутник «Eutelsat-25B». За інформацією бюлетеня, розміщеного на сайті розробника супутника і присвяченого запуску «Eutelsat-25B», новий супутник веде мовлення на середній схід і північну Африку (промінь «Middle East, North Africa» або MENA) [91]. В розділі цього сайту, присвяченому зоні покриття «Eutelsat-25B» (Downlink Coverage), повідомляється, про наявність у нього ще променя EAST, спрямованого на Європу. Пошуки більш детальної інформації про параметри сигналів, випромінюваних в напрямку EAST, не дали результату. Тому було прийнято рішення про налаштування станцій на супровід іншого супутника, а саме, «Eutelsat-13B», який знаходиться в точці  $13^\circ$  сд. Супутник супроводжувався одеською та миколаївською станціями 224 доби з 05.12.2013 по 16.07.2014 року. Майже весь цей час значення  $\tau_{PPS}$  обох станцій були нульовими, а номінальна частота дискретизації дорівнювала 25.6 МГц. Починаючи з 16:00:34 UTC 22.06.2014 року і до закінчення спостережень значення  $f_n$ , а також значення  $\tau_{PPS}$  в Одесі були змінені, відповідно, на 51.2 МГц і  $-210$  мкс. Затримка сигналу PPS в Миколаєві не змінювалася і дорівнювала нулю. Збільшення частоти дискретизації привело до зменшення похибки обчислення TDOA за рахунок підвищення відношення сигнал/шум для максимуму кореляційної функції сигналів цифрового супутникового телебачення, що приймаються станціями мережі. При цьому також зменшилася тривалість вибірки реєстрованих сигналів з 400 мкс до 200 мкс при незмінному значенні об'єму  $N_s = 10240$ .

Спостереження супутника «Eutelsat-13B» були тимчасово зупинені 16.07.2014 року в зв'язку з розширенням мережі і перебазуванням апаратури

одеської станції в Харків. Починаючи з 22.10.2014 спостереження були поновлені вже мережею у складі із чотирьох станцій, розташованих в містах Київ, Мукачеве, Харків і Миколаїв [52, 92]. В Києві станція була розміщена на території державного підприємства «Укркосмос», в Мукачевому – на території Західного центру радіотехнічного спостереження, а в Харкові – на території Радіоастрономічного інституту Національної академії наук України. Копії Актів впровадження станцій в Харкові і Мукачеве наведені в Додатку Б.

Зазначимо, що з цього часу всі станції, крім миколаївської, були укомплектовані більш досконалим GPS-приймачем ThunderBolt-E замість Resolution-T. З 03.12.2014 миколаївська станція також була укомплектована GPS-приймачем ThunderBolt-E, що дозволило зменшити похибку визначення  $\Delta r$  з 4.5 м до 2.6 м. Відмінність похибок синхронізації станцій мережі за допомогою цих двох GPS приймачів ілюструється даними, наведеними на рис. 3.9.

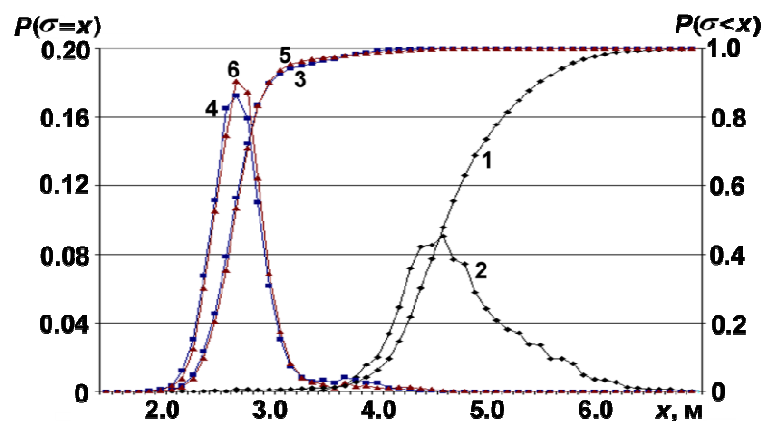


Рисунок 3.9 – Інтегральні (1, 3 і 5) і диференціальні (2, 4 і 6) вибіркові закони розподілу СКП  $\Delta r$  ( $\sigma$ ) для трьох пар станцій: Миколаїв-Київ (1 і 2), Харків-Київ (3 і 4) і Мукачево-Київ (5 і 6). Час спостережень з 22.10.2014 по 27.10.2014 рр.

На рисунку показані інтегральні  $P(\sigma < x)$  і диференціальні  $P(\sigma = x)$  вибіркові закони розподілу СКП  $\Delta r$  ( $\sigma$ ), отримані для пар станцій Миколаїв-

Київ, Харків-Київ і Мукачеве-Київ в період часу з 22.10.2014 по 27.10.2014 рр, коли станція в Миколаєві ще була укомплектована GPS приймачем Resolution-T. Значення  $P()$  дорівнює ймовірності події, вказаної в дужках.

Із наведених на рисунку даних видно, що функції розподілу  $\sigma$ , отримані для пари станцій Миколаїв-Київ зміщені в бік більших СКП приблизно на два метри.

Для забезпечення синхронізованого прийому всіма станціями мережі одних і тих же фрагментів сигналу цифрового супутникового телебачення були задані наступні значення  $\tau_{PPS}$ : в Києві – +888 мкс, в Мукачевому – –215 мкс, в Харкові – +1270 мкс і в Миколаєві – 0 мкс. На початку вересня 2015 року до складу мережі увійшла станція, розташована в Вентспілсі (Латвія) на території Вентспільської вищої школи (Ventspils University College). Значення  $\tau_{PPS}$  для цієї станції було задано рівним +2660 мкс. Перша доба безперервної роботи станції була отримана 05.09.2015. Сталі спостереження почали надходити з 03.12.2015 після заміни комп'ютера станції. Копія Договору про науково-технічне співробітництво (Memorandum of Understanding) між Вентспільською вищою школою і НДІ «МАО» наводиться в Додатку Б.

Регулярні спостереження п'ятьома станціями розпочалися 16.12.2015 після відновлення роботи станції в Києві, яка припинила спостереження 06.06.2015 у зв'язку з ремонтом будівлі, де вона розміщувалася. Однак, з 01.02.2016 року станція в Києві остаточно припинила роботу.

З 11:58:12 UTC 25.02.2016 року значення  $\tau_{PPS}$  для всіх станцій були змінені таким чином, що  $\tau_{PPS}=0$  мкс для станції в Вентспілсі. Відтак значення затримок  $\tau_{PPS}$  для станцій в містах Мукачеве, Харків і Миколаїв також відповідно змінилися на –2875 мкс, –1390 мкс і –2660 мкс.

В березні 2016 року почала регулярні спостереження станція в Рівному на території Рівненської Малої академії наук учнівської молоді, куди в повному складі була переміщена апаратура київської станції. Копія Акту

впровадження станції мережі в Рівному наведена в Додатку Б. Для рівненської станції  $\tau_{PPS} = -2018$  мкс.

Отже, на даний час станції мережі працюють в містах Рівне, Мукачеве, Харків, Вентспілс та Миколаїв [93]. Розміщення станцій мережі показано на карті рис. 3.10. Поряд з назвами міст дислокації на рисунку поміщені фотографії антен супутникового телебачення, які використовуються станціями. Найбільший діаметр 1.9 м має антена миколаївської станції. Всі інші станції мають антени з діаметром близько 0.9 м. Максимальна відстань між станціями по широті і довготі складає приблизно 1000 км.



Рисунок 3.10 – Розміщення станцій радіоінтерферометричної мережі спостереження ТК ГСС.

Слід зазначити, що протягом всього часу спостережень супутника «Eutelsat-13B» станціями мережі реєструється сигнал транспондера з параметрами DVB-S/11541/V/22000. Весь цей час пунктом обчислення орбітальних параметрів є НДІ «МАО».

Тривалість спостережень (в % за рік), виконаних кожною станцією радіоінтерферометричною мережею протягом 2014-2016 років, наведена на діаграмі рис. 3.11. Цифри від 1 до 7 на рис 3.11 відповідають наступним

станціям мережі: 1 - Одеса, 2 - Миколаїв, 3 - Харків, 4 - Мукачево, 5 - Київ, 6 - Вентспілс, 7 - Рівне. Із діаграми, представленої на рис. 3.11, витікає, що мінімальні втрати даних були в 2016 році, тоді як максимальні втрати, пов'язані з розширенням мережі, були в 2014 році.

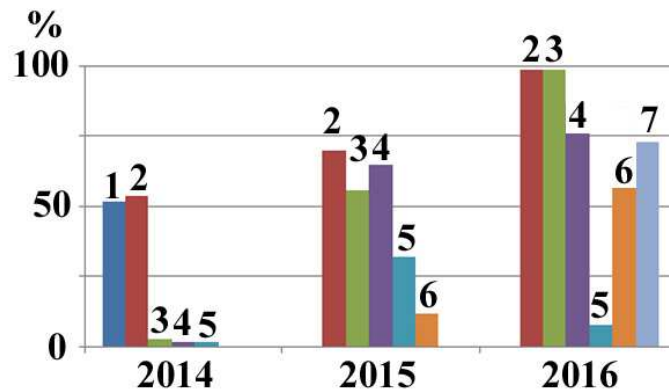


Рисунок 3.11 – Час спостереження (в % за рік) супутника «Eutelsat-13B» станціями мережі в 2014, 2015 і 2016 роках.

Статистика спостережень супутника «Eutelsat-13B» по рокам та в залежності від кількості станцій, які одночасно контролювали супутник, наведена на діаграмі рис. 3.12. Із даних, наведених на діаграмі 3.12, витікає, що в 2016 році більшу частину року (321 добу) супутник одночасно контролювався 4 або 5 станціями мережі.

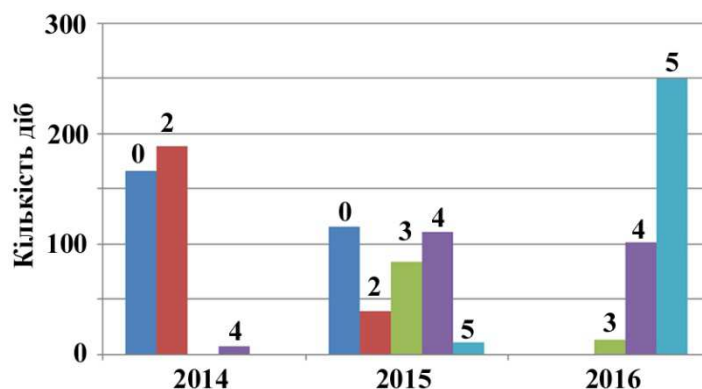


Рисунок 3.12 – Час спостережень контрольованого супутника одночасно двома (2), трьома (3), чотирма (4) та п'ятьма (5) станціями мережі. Нулем (0) позначені стовпці діаграми, яким відповідає час, коли супутник мережею не контролювався.

При цьому в 2014 рік супутник в основному контролювався двома станціями (189 діб), а в 2015 - трьома або чотирма станціях (196 діб). Із даних, наведених на рис. 3.12, також випливає, що в 2014-2016 роки час спостережень контрольований супутника становив 146, 307, 129 і 230 діб, відповідно, п'ятьома, чотирма, трьома і двома станціями мережі. Таким чином, сумарний час спостережень супутника склало 812 діб або 74% від загальної тривалості аналізованого періоду часу.

Отже, враховуючи час спостережень супутника «Eutelsat-25C» у 2013 році, загальна тривалість накопичених даних становить 862 доби.

### **Висновки по розділу 3**

1. Розроблено та виготовлено апаратно-програмне забезпечення станцій прийому та синхронної (по GPS) реєстрації фрагментів сигналу цифрового супутникового телебачення DVB-S, який є корисним навантаженням, випромінюваним ТК ГСС.

2. За ініціативою НДІ «МАО» створена радіоінтерферометрична мережа безперервного моніторингу ТК ГСС у складі з п'яти станцій, розташованих в містах Харків, Мукачеве, Рівне, Миколаїв (Україна) і Вентспілс (Латвія). НДІ «МАО» забезпечується контроль функціонування та обробка отриманих мережею результатів спостережень.

3. Автором розроблено програмне забезпечення станцій мережі, яке реєструє синхронні (по GPS) вибірки фрагментів сигналу цифрового супутникового телебачення, а також розроблено ПЗ кореляційної обробки цих вибірок та визначення TDOA.

4. Автором забезпечується контроль функціонування радіоінтерферометричної мережі, щодобове отримання вибірок цифрового супутникового телебачення, зареєстрованих станціями мережі, а також кореляційна обробка вибірок та обчислення параметрів орбіти контрольованого супутника за виміряними значеннями TDOA.

## РОЗДІЛ 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ МОНІТОРИНГУ ТК ГСС

#### 4.1 Випробування мережі в умовах з нульовою базою

**4.1.1** **Визначення додаткової затримки сигналу DVB-S та оцінка мінімальної похибки визначення TDOA.** На початковому етапі випробування проводилися в умовах розташування станцій мережі в одній точці («нульова» база) і використанням одного і того ж сигналу PPS для синхронізації запису вибірок у внутрішню пам'ять осцилографів [46]. При цьому, відстань між антенами супутникового телебачення дорівнювала приблизно 10 м. Метою випробувань було визначення додаткової затримки сигналу цифрового супутникового телебачення обумовленої включенням в один з прийомних трактів коаксіального кабелю довжиною 6.94 м. Ідея такого випробування була запозичена з роботи [27]. Під час випробувань приймався сигнал DVB-S з супутника, розміщеного на довготі  $13^\circ$  с.д. Символьна частота транспортного потоку DVB-S складала 27.5 МГц. Максимальна частота спектра цього сигналу дорівнює приблизно 30 МГц [30 DVB-S]. Вимірювання додаткової затримки проводилися з використанням двох значень номінальної частоти дискретизації ( $f_n$ ), одна з яких була вищою (102.4 МГц), а друга - нижче (25.6 МГц) частоти дискретизації Найквіста, яка дорівнює подвоєному значенню максимальної частоти спектру сигналу. Обчислювалося також відношення (Q) сигнал/шум піка кореляційної функції і відношення фізичної довжини кабелю до виміряної довжини, яка вважалася рівною добутку швидкості світла у вакуумі на отриману величину додаткової затримки. Результати випробувань наводяться в таблиці 4.1. Наведені в таблиці 4.1 відношення фізичної довжини кабелю до виміряної знаходяться для обох частот дискретизації в хорошій відповідності до величини



коефіцієнта укорочення довжини кабелю, обумовленої впливом діелектричної проникності матеріалу ізоляції кабелю.

Таблиця 4.1 – Результати вимірювань додаткової затримки.

$f_n$ , МГц	Об'єм корелятора	Q	Відношення (6.94/<Виміряна довжина>)	Додаткова затримка, Нс	СКП, нс
102.4	8192	11	0.92	25	±7
25.6	1192	5	0.96	24	±19

З огляду на умови випробувань, значення СКП ( $\pm 7$  нс) і відношення сигнал/шум (11), отримані для частоти дискретизації 102.4 МГц, можна вважати гранично можливими для мережі. Вважається, що мінімальна можлива похибка обчислення TDOA, обернено пропорційна ширині спектру сигналу, який використовується при обчисленні крос-кореляції та значенню відношення сигнал/шум [48]:

$$\sigma_{\text{TDOA}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{Q \cdot B} \quad (4.1)$$

де  $B$  – ширина спектру в Гц. В нашому випадку  $Q = 11$ , а  $B = 30$  МГц, отже, згідно виразу (4.1),  $\sigma_{\text{TDOA}} = 0.5$  нс. Якщо не враховувати коефіцієнт  $\frac{1}{2\pi}$  [47], будемо мати  $\sigma_{\text{TDOA}} = 3.0$  нс. Як зазначалося вище (п. 1.3), під час випробувань системи DARTS експериментально було отримано, що для сигналу DVB-S з шириною спектру 30 МГц значення  $\sigma_{\text{TDOA}} < 1$  нс [27]. Отримана мінімальна похибка  $\pm 7$  нс вільна від похибок синхронізації мережі по GPS і обумовлена в основному нестабільністю частоти опорних генераторів АЦП USB-осцилографів. Отже, для її зменшення потрібно використовувати в АЦП опорні генератори з більш стабільною частотою.

З даних, наведених в таблиці 4.1, витікає, що використання частоти дискретизації 25.6 МГц і мінімального об'єму вибірки для обчислення згортки (1192 відліків) призводить до збільшення похибки вимірювань і

зменшення відношення сигнал/шум. Однак, ці вимірювання дають стійкий результат, а похибка близька до точності сигналу PPS Resolution-T (СКП = 15 нс [69]). Отже, даний набір параметрів можна використовувати при проведенні вимірювань рознесеними у просторі станціями прийому сигналів цифрового супутникового телебачення.

**4.1.2 Визначення діючої частоти дискретизації.** Для визначення діючої частоти дискретизації за допомогою осцилографа, що досліджувався, проводилися виміри затримки сигналу PPS одного GPS-приймача відносно сигналу PPS другого GPS-приймача при умові, що задані значення затримок цих сигналів суттєво відрізняються (90 мкс і більше). Методика проведення вимірювань наводяться в п. 2.2, також в роботі [51]. Там же наводиться розрахункове співвідношення для коефіцієнта  $k_{sr}$  між діючою частотою дискретизації і номінальною в виразі (2.10). В результаті проведених вимірювань було отримана вибірка 747 значень  $k_{sr}$ . Середньоквадратичне відхилення  $k_{sr}$  по цій вибірці склало 0.00013, а середнє значення і медіана співпали і дорівнювали 0.97655. Виміри для інших осцилографів показали, що отримане значення  $k_{sr}$  можна вважати константою для даного типу осцилографа DSO5200A.

Вплив коефіцієнта  $k_{sr}$  на визначення TDOA демонструється на рис. 4.1 [51], де по вісі ординат відкладено значення відносної затримки  $\Delta\tau$ , отримані в інтервалі часу з 12:00:00 UTC до 20:00:00 UTC 22.06.2014 за даними спостережень ТК ГСС «Eutelsat 13B» двома станціями мережі, розташованими в Миколаєві і Одесі. Крива (1) відповідає значенням  $\Delta\tau$ , обчисленим за формулою (2.9), в якій коефіцієнт  $k_{sr}$  дорівнював одиниці, а крива (2) відповідає  $k_{sr} = 0.97655$ . Таким чином, крива (1) отримана для номінального значення частоти дискретизації  $f_n$ , а крива (2) – для діючого  $f_v$ .

Із даних, наведених на рис. 4.1, випливає, що використання  $f_n$  для обчислення  $\Delta\tau$  (крива (1)), приводить в момент зміни параметрів реєстрації

до стрибка затримки приблизно на 5 мкс, тоді як крива (2), отримана з використанням  $f_v$ , є гладкою кривою на всьому інтервалі аналізу.

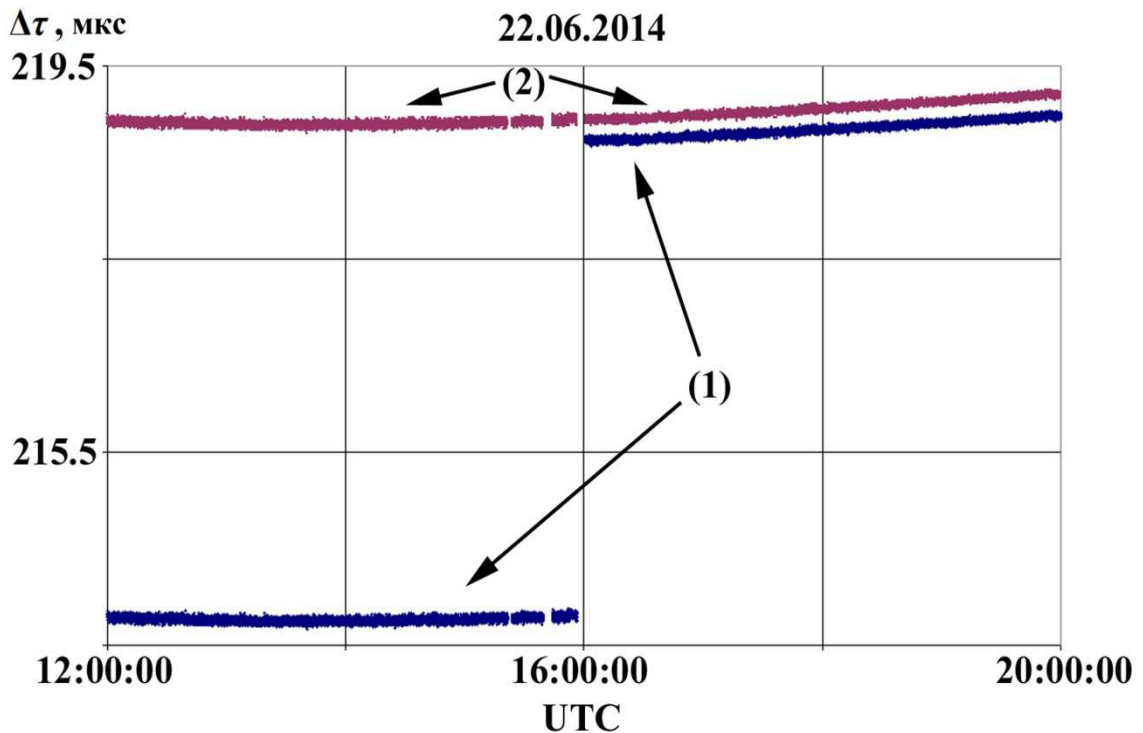


Рисунок 4.1 – Змінювання затримки  $\Delta\tau$  в інтервалі часу з 12:00:00 UTC до 20:00:00 UTC 22.06.2014. Крива (1) відповідає  $k_{sr} = 1$ , а крива (2) відповідає

$$k_{sr} = 0.97655.$$

Відмітимо наступне:

1) 22.06.2014 о 16:00:34 UTC на станції в Одесі були змінені наступні параметри реєстрації: шкала осцилографа була встановлена рівною 200 мкс замість 400 мкс, а затримка сигналу PPS була змінена з нульової на  $-210$  мкс, при тому що в Миколаєві була змінена лише шкала осцилографа, а затримка сигналу PPS не змінилася і була нульовою;

2) отриманий стрибок в п'ять разів більший варіацій затримки ( $\hat{\tau}$ ) відносно середнього значення за весь 224-добовий період спостережень супутника (дивись п. 2.1, а також далі п. 4.2).

**4.1.3 Визначення апаратурних затримок.** Визначення відносних апаратурних затримок  $\Delta\tau_{hik} = \tau_{hi} - \tau_{hk}$  для довільних станцій  $i$  і  $k$  проводилося в припущенні, що значення абсолютних апаратурних затримок станцій  $\tau_{hi}$  і  $\tau_{hk}$  є сталими для незмінного складу апаратно-програмного комплексу станцій. Враховуючи лінійну залежність  $\Delta\tau_{hik}$  від  $\tau_{hi}$  і  $\tau_{hk}$  достатньо провести вимірювання  $\Delta\tau_{hik}$  відносно однієї зі станцій. Такі вимірювання проводилися в Миколаєві перед відправкою кожної станції до місця постійної дислокації. Для визначення  $\Delta\tau_{hik}$  використовувалася процедура оцінки TDOA в результаті кореляційного аналізу сигналів супутникового телебачення, які приймалися досліджуваними станціями в умовах розташування в одній точці, коли відстань між їхніми антенами не перевищувала 20 м, а також в умовах нульових значень затримок сигналів PPS (дивись п. 2.2 та роботу [51]). В таблиці 4.2 наводяться помножені на швидкість світла значення апаратурної затримки  $\Delta\tau_{hik}$ , отримані відносно станції в Миколаєві ( $k=0$ ) і дійсні з 03.12.2014 р.. В таблиці також наведені серійні номери GPS приймачів ThunderBolt-E та осцилографів DSO5200A всіх станцій мережі, крім миколаївської. Відповідні серійні номери вказаних пристроїв миколаївської станції дорівнюють 12502771 і 510025048, відповідно. Значення  $c \cdot \Delta\tau_{hoi}$  для станцій в Києві і Рівному співпадають, так як після припинення роботи апаратура київської станції була повністю переміщена в Рівне.

Таблиця 4.2 – Значення апаратурної затримки  $\Delta\tau_{hki}$  відносно станції в Миколаєві ( $k=0$ ) помножені на швидкість світла. Актуальні з 03.12.2014.

Станція	Харків	Мукачеве	Київ	Вентспілс	Рівне
$i$	1	2	3	4	5
$c \cdot \Delta\tau_{hi0}$ , м	13.9	-36.8	-9.7	-6.0	-9.7
GPS приймач	81706863	12407322	81267600	12408910	81267600
Осцилограф	510025061	510025064	510024203	510025852	510024203

В таблиці 4.3 наведені значення апаратурної затримки для мережі із двох станцій, які були розташовані в Миколаєві і Одесі, і які працювали на регулярній основі з квітня 2013 року по липень 2014 року (п. 3.3). При цьому весь цей час склад апаратури станції в Одесі не змінювався. Станція працювала з GPS приймачем Resolution-T (85487518) і осцилографом DSO5200A (510025061), тоді як миколаївська станція використовувала як Resolution-T (85511372), так і ThunderBolt-E (81267600). З часом цей GPS приймач з серійним номером 81267600 ввійшов до складу київської, а згодом рівненської станцій.

Таблиця 4.3. – Значення апаратурної затримки  $\Delta\tau_{hki}$  відносно станції в Миколаєві ( $k=0$ ) помножені на швидкість світла. Актуальні в період часу з 10.04.2013 по 16.07.2014.

Початок дії	$c \cdot \Delta\tau_{h0i}$ м	Миколаїв		Одеса	
		GPS приймач	Осцилограф	GPS приймач	Осцилограф
10.04.2013	7.7	85511372	510025048	85487518	510025061
23.06.2014	-42.0	81267600	510025048	85487518	510025061

## 4.2 Результати вимірювання TDOA

**4.2.1 Випробування мережі у складі із двох станцій.** Випробування мережі у складі із двох станцій проводилися з метою оцінки добових варіацій TDOA в умовах з ненульовою базою [46, 86, 87, 88]. Для цього одна з станцій була розміщена в НДІ «МАО» (м. Миколаїв), а друга в НДІ «АО ОНУ» (с. Маяки, Одеська область) на відстані приблизно 150 км від першої. Під час випробувань приймався сигнал з параметрами DVB-S/11179/H/27500, випромінюваний супутником, розміщеним на довготі  $13^\circ$  с.д.. При цьому обидві станції працювали в умовах з нульовими значеннями  $\tau_{PPS}$ . Тому для забезпечення максимально можливого діапазону аналізу по затримці,

вимірювання проводилися з використанням значення номінальної частоти дискретизації 25.6 МГц та об'єму 2-ої вибірки (об'єму вибірки корелятора  $N_c$ ), який дорівнював 1192 відліків. Діапазон аналізованих затримок, при цьому, дорівнював приблизно 353 мкс, що відповідає 106 км. Випробування проводилися в період з 25.08.2011 по 27.08.2011 з максимальним темпом запису вибірок – один раз в секунду.

При визначенні кореляційної функції в якості першої бралась вибірка, записана в Миколаєві. Відповідно, другою була вибірка, отримана в Маяках. Коефіцієнт  $q$ , який задає крок інтерполяції спектрів, покладался рівним 1 (п. 2.1). На рис. 4.2 для ілюстрації наводиться кореляційна функція, отримана 25.08.2011 в 14:08:18 UTC.

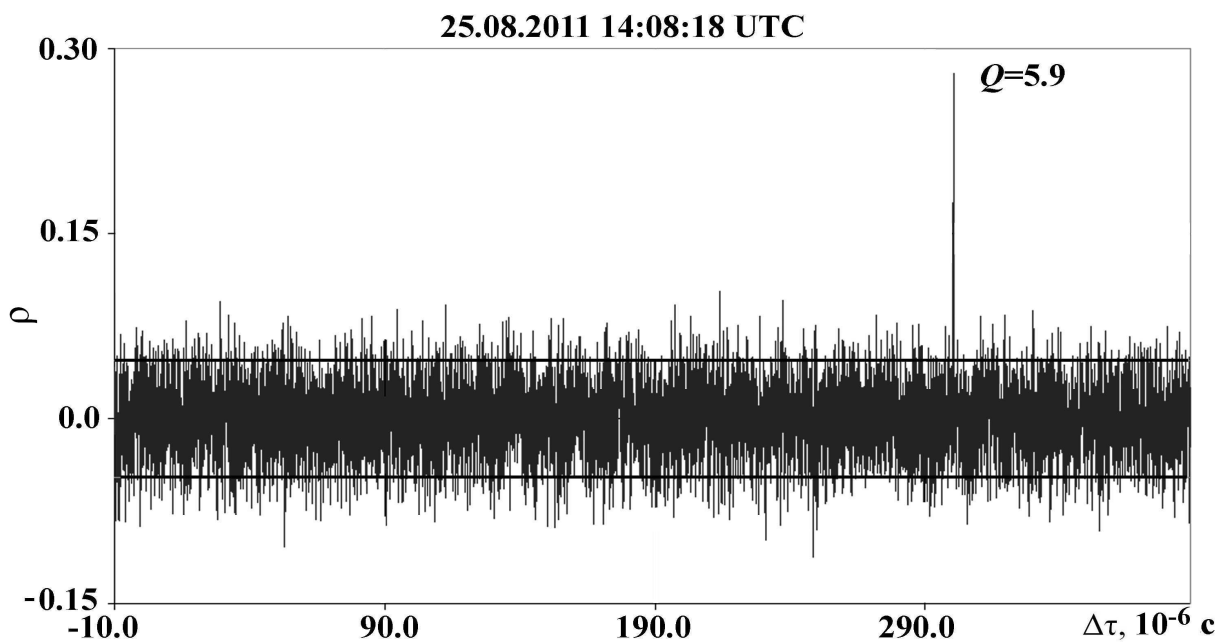


Рисунок 4.2 – Приклад кореляційної функції отриманий в результаті згортки сигналів DVB-S, одночасно прийнятих в Миколаєві і в Маяках.

На рисунку по вісі абсцис відкладено значення різниці затримок  $\Delta\tau = (\tau_1 - \tau_2)$ , а по вісі ординат – значення кореляційної функції  $\rho$ . В наведеній формулі для  $\Delta\tau$  значення  $\tau_1$  дорівнює часовому зсуву, який відраховується від початку першої вибірки, а  $\tau_2$  є постійний часовий зсув другої вибірки (п. 2.1). На рис. 4.2 суцільними лініями показані верхній та нижній рівні шумів:

$\rho_n = \bar{\rho} \pm 1.6 \cdot \sigma_\rho$ , де  $\bar{\rho}$  і  $\sigma_\rho$  – середнє значення і СКП величини  $\rho$ . При обчислення  $\bar{\rho}$  і  $\sigma_\rho$  мінімальне і максимальне значення  $\rho$  не враховуються.

Добові варіації різниці нахилених відстаней від станцій мережі до ТК ГСС, представлені на рис. 4.3. На рис. 4.3 по вісі абсцис відкладено час UTC, а по вісі ординат – різниця нахилених відстаней  $\overline{\Delta r}$  в км. Величина  $\overline{\Delta r}$  покладалась рівною середньому значенню  $\Delta r = c \cdot \Delta \tau$  на 10-ти секундному інтервалі ( $n_s = 10$ ), де  $c$  – швидкість світла, а  $\Delta \tau$  – значення TDOA, обчислене згідно виразу (2.9), в якій індекси  $i$  і  $k$  відповідають станціям, розташованим в Миколаєві і Маяках. Зазначимо, що в даному випадку, як і в роботі [46], при обчисленні TDOA значення  $\Delta \tau_h$  і  $k_{sr}$  не враховувалися, тобто, вважалися рівними 0 і 1 відповідно. Одночасно з середнім значенням визначалося також СКП ( $\sigma$ ) величини  $\Delta r$ .

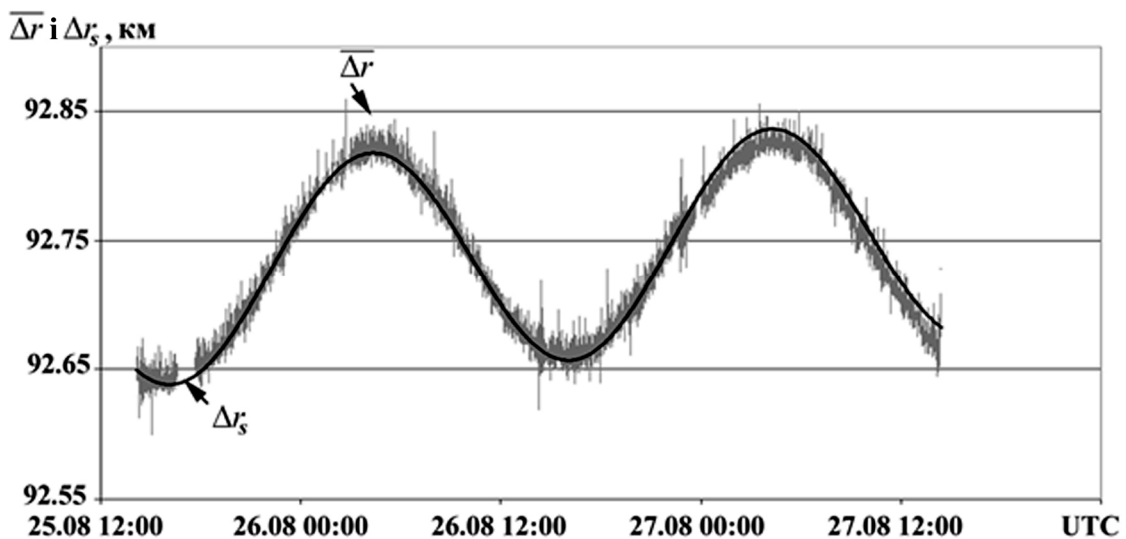


Рисунок 4.3 – Варіації різниці нахилених відстаней ( $\overline{\Delta r}$ ) за даними спостереження ТК ГСС двома станціями, розташованими в Миколаєві і Маяках, а також згладжені значення ( $\Delta r_s$ ).

При цьому, якщо відношення сигнал/шум в максимумі кореляційної функції було менше порогового, рівного  $Q_{\min} = 3.8$ , то відповідне вимірювання  $\Delta r$  із вибірки для визначення  $\overline{\Delta r}$  і  $\sigma$  викидалося. Зазначимо, що поріг  $Q_{\min}$

відповідає ймовірності  $P(Q < Q_{\min}) = 0.02$ , де  $P()$  – значення ймовірності події, вказаної в дужках [46]. Якщо об'єм вибірки був меншим 5 ( $n_{\min} = 5$ ), то оцінка  $\overline{\Delta r}$  і  $\sigma$  не проводилася.

Інтегральний розподіл  $\sigma$  ( $P(\sigma < \xi)$ ) показано на рис. 4.4. З вигляду розподілу  $P(\sigma < \xi)$  витікає, що, приблизно в 10% випадків, спостерігаються значення СКП, які істотно перевищують медіану. В цих умовах правомірно в якості оцінки для похибки одиничних вимірювань різниці нахилених відстаней використовувати, як більш стійке, медіанне значення  $\sigma$ , яке дорівнює 7,3 м або 24 нс.

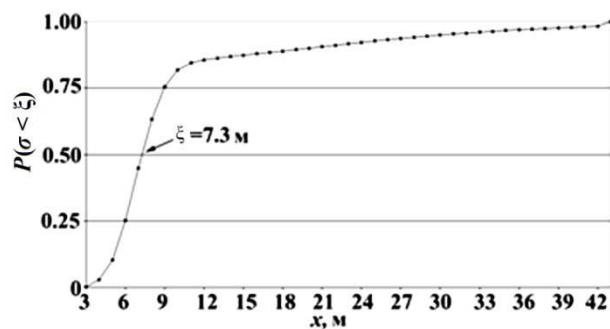


Рисунок 4.4. – Інтегральний розподіл величини СКП різниці нахилених відстаней  $P(\sigma < \xi)$ .

Відомо, що в умовах вільного руху ТК ГСС в полі сил тяжіння основною гармонічною складовою змінювання різниці нахилених відстаней є гармоніка з періодом, рівним зоряній добі. Експериментальне підтвердження даного факту можна знайти в роботі [29], де наводяться результати реєстрації за допомогою радіоінтерферометра різниці фаз сигналу випромінюваного ТК ГСС. Слід також зазначити, що за даними сайту <https://www.space-track.org> період обертання супутника HotBird 9 (номер 33459 в каталозі NORAD), сигнал якого реєструвався під час випробувань мережі, з точністю до шести десяткових знаків збігається з тривалістю зіркової доби. Тому для оцінки точності мережі графік змінювання у часі  $\overline{\Delta r}$  згладжувався методом найменших квадратів з урахуванням наявності лінійного тренда і однієї



гармонічної складової з періодом, що дорівнює зоряній добі. Параметри згладжування визначалися по частині масиву спостережень, яка відповідає інтервалу плавного змінювання  $\overline{\Delta r}$  з 25.08.2011 17:40:20 UTC по 26.08.2011 22:23:10 UTC. Остаточна оцінка параметрів згладжування проводилася після відкидання вимірювань, нев'язки яких перевищували три СКП. Таким способом була отримана оцінка СКП згладжування, яка дорівнювала 5.6 м, і згладжуюча залежність  $\Delta r_s$ , показана на рис. 4.3 суцільною лінією.

**4.2.2 Регулярні спостереження супутника «Eutelsat-25C» мережею у складі із двох станцій.** Супутник «Eutelsat-25C» спостерігався мережею із двох станцій, розташованих в Миколаєві і Одесі на відстані приблизно 100 км одна від одної, протягом 10 днів в квітні (з 10 по 20 квітня) і 40 днів – в вересні і жовтні 2013 року (з 20 вересня по 29 жовтня) [51, 90]. Як зазначалося в п. 3.3 спостереження супутника закінчилися 29.10.2013 р. в 00:09:00 UTC в зв'язку припиненням його експлуатації і заміною на супутник «Eutelsat-25B».

Під час спостережень реєструвався сигнал транспондера з параметрами DVB-S/11585/V/27500. Протягом всього періоду спостережень супутника «Eutelsat-25C» затримка  $\tau_{PPS}$  обох станцій була нульовою, а задане значення номінальної частоти дискретизації дорівнювало 25.6 МГц, що відповідає шкалі осцилографа  $T_s = 400$  мкс. Синхронізація станцій мережі здійснювалася за допомогою GPS приймачів Resolution-T.

Як і під час перших дводобових випробувань, для оцінки по кореляційній функції відносної затримки сигналів DVB-S і подальшого визначення  $\overline{\Delta r}$ , першою бралася вибірка, що реєструвалася в Миколаєві. Об'єм другої вибірки, яка реєструвалася в Одесі, для підвищення відношення сигнал/шум в піку кореляційної функції, об'єм вибірки корелятора  $N_c$  був збільшений з 1119 до 4768 відліків. Значення TDOA обчислювалося згідно виразу (2.9) з урахуванням як апаратної затримки (таблиці 4.3), так різниці

між діючою і номінальною частотами дискретизації АЦП осцилографів ( $k_{sr} = 0.97655$ ). Поріг  $Q_{\min}$  відбраковування значень  $\Delta r$  по величині відношення сигнал/шум не змінювався. Був збільшений інтервал оцінки  $\overline{\Delta r}$  з 10 секунд до 60 ( $n_s = 60$ ), а також була змінена методика відбраковування збійних оцінок  $\overline{\Delta r}$ . Якщо на 60-ти секундному інтервалі часу обсяг вибірки був меншим 10 ( $n_{\min} = 10$ ) або СКП ( $\sigma$ ) величини  $\Delta r$  було більше порогового, рівного  $\sigma_{\max} = 9.3$  м, то оцінка  $\overline{\Delta r}$  не проводилася. Для визначення  $\sigma_{\max}$  був побудований інтегральний розподіл СКП різниці нахилених відстаней  $P(\sigma < \xi)$ , аналогічне розподілу, наведеному на рис. 4.4. Була отримана медіанна оцінка  $\sigma$ , рівна 7.2 м або 24 нс, яка збіглася з найбільш імовірним значенням СКП і, як більш стійка величина, може бути взята в якості оцінки випадкової помилки одиничного вимірювання  $\Delta r$ . Як і під час перших випробувань, приблизно в 10% випадків, спостерігалися значення СКП, які більш ніж в 1.3 рази перевищують медіану. Значення СКП, яке відповідає ймовірності  $P(\sigma \leq \sigma_{\max}) = 0.9$ , було взято в якості порогового при відбракуванні збійних оцінок  $\overline{\Delta r}$ .

На рис. 4.5 наводиться графік регулярного змінювання  $\overline{\Delta r}$  протягом 40-добового інтервалу спостережень супутника «Eutelsat 25C» у вересні-жовтні 2013 року. Значення  $\overline{\Delta r}$ , показані на рисунку, були отримані зазначеним вище способом за одним виключенням: поріг по  $\sigma$  для відбракування  $\overline{\Delta r}$  не застосовувався.

**4.2.3 Регулярні спостереження супутника «Eutelsat-13B» мережею у складі із двох станцій.** Спостереження супутника проводилися станціями мережі, розташованими в Миколаєві і в Одесі, протягом інтервалу часу з 05.12.2013 по 16.07.2014. Синхронізація станцій мережі майже весь час здійснювалася за допомогою GPS-приймачів Resolution-T. Тільки за три тижні перед припиненням спостережень, GPS приймач Resolution-T в Миколаєві був замінений на ThunderBolt-E. Під час спостережень реєструвався сигнал транспондера з параметрами DVB-S/11541/V/22000.

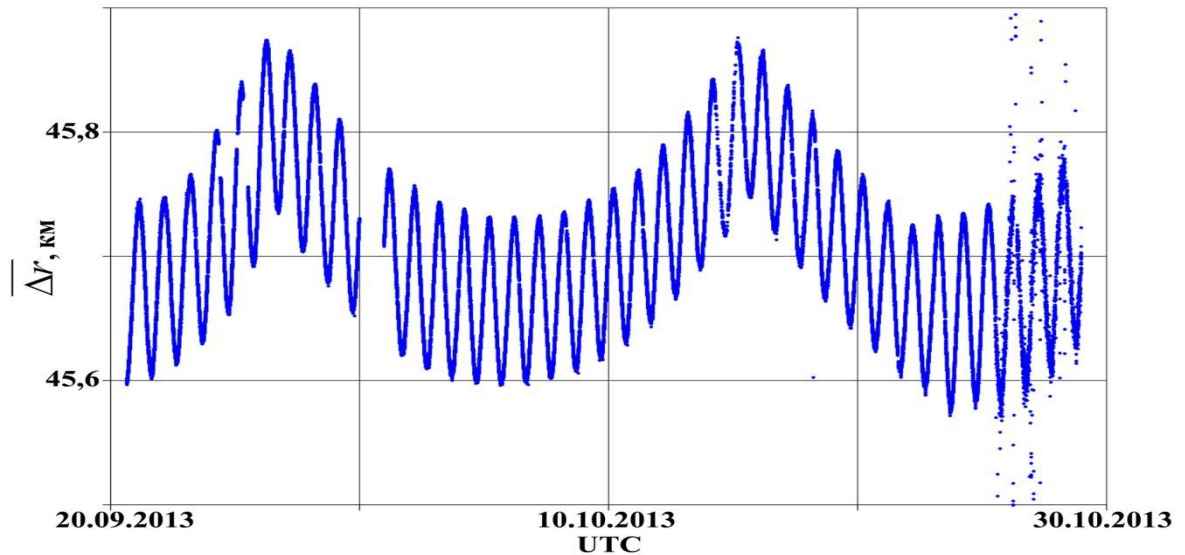


Рисунок 4.5 - Варіації різниці нахилених відстаней ( $\overline{\Delta r}$ ) за даними спостереження ТК ГСС «Eutelsat-25C» двома станціями мережі, розташованими в Миколаєві та Одесі. По осі абсцис відкладено час UTC.

До 16:00:34 UTC 22.06.2014 частота дискретизації була рівною 25.6 МГц, а затримка сигналів PPS відносно початку секунди була нульовою для обох станцій. Починаючи з зазначеного часу, і до закінчення спостережень 16.07.2014, частота дискретизації була рівною 51.2 МГц, тобто тривалість вибірки  $T_s$  була зменшена з 400 до 200 мкс, а затримка сигналу PPS в Одесі була змінена з нульовою на  $-210$  мкс.

На рис. 4.6 наводиться графік змінювання різниць нахилених відстаней  $\overline{\Delta r}$  від станцій мережі до ТК ГСС «Eutelsat-13B», отриманих для 224-добового інтервалу спостережень супутника в період часу з 05.12.2013 по 16.07.2014. Наведені на рис. 4.6 значення  $\overline{\Delta r}$  обчислювалися у відповідності з методикою, яка використовувалася при обробці даних спостережень супутника «Eutelsat-25C», представлених на рис. 4.5.

Зазначимо, що варіації затримки ( $\hat{\tau}$ , дивись п. 2.1) відносно середнього значення за весь 224-добовий період спостережень супутника становлять  $\pm 150$  м або 0.5 мкс, що в п'ять разів менше стрибка TDOA, обумовленого різницею номінальної і діючої частот дискретизації АЦП осцилографів і наведеного на рис. 4.1.

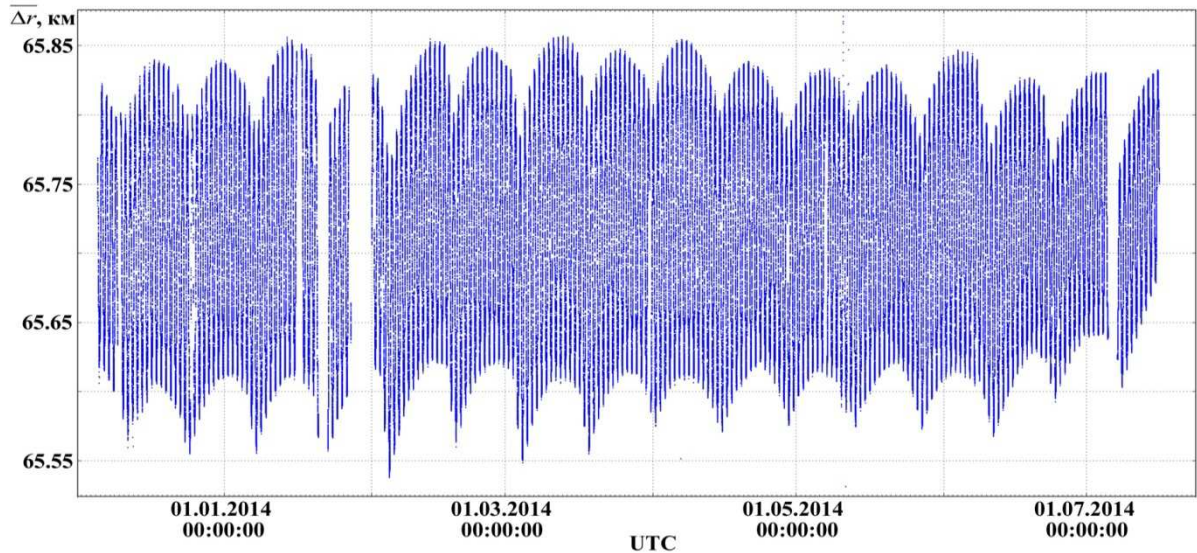


Рисунок 4.6 – Варіації різниці нахилених відстаней  $\overline{\Delta r}$ , отримані за даними спостереження ТК ГСС «Eutelsat-13B» двома станціями мережі, розташованими в Миколаєві та Одесі. По осі абсцис відкладено час UTC.

**4.2.4 Регулярні спостереження супутника «Eutelsat-13B» мережею у складі із чотирьох і п'яти станцій.** Як зазначалося в п. 3.3, з 22 жовтня 2014 року регулярні спостереження супутника «Eutelsat-13B» розпочалися радіоінтерферометричною мережею у складі із чотирьох станцій, розташованих в містах Київ, Харків, Мукачеве і Миколаїв. На початку вересня 2015 року до складу мережі увійшла п'ята станція, розташована в м. Вентспілс (Латвія). В березні 2016 року почала регулярні спостереження станція в Рівному, куди в повному складі була переміщена апаратура київської станції, так як з 01 лютого 2016 року станція в Києві припинила роботу. Під час спостережень реєструвався сигнал транспондера з параметрами DVB-S/11541/V/22000. Тривалість вибірок  $T_s$  сигналу DVB-S дорівнювала 200 мкс. Дане значення  $T_s$  відповідає номінальній частоті дискретизації 51.2 МГц, яка близька до частоти дискретизації Найквіста.

На рис. 4.7 наводяться графіки змінювання різниць нахилених відстаней  $\overline{\Delta r}$  від станцій мережі до ТК ГСС «Eutelsat-13B», отримані для трьох пар станцій Харків-Миколаїв, Мукачеве-Миколаїв і Київ-Миколаїв в період часу з 11 березня по 20 травня 2015 року [92, 94, 95].

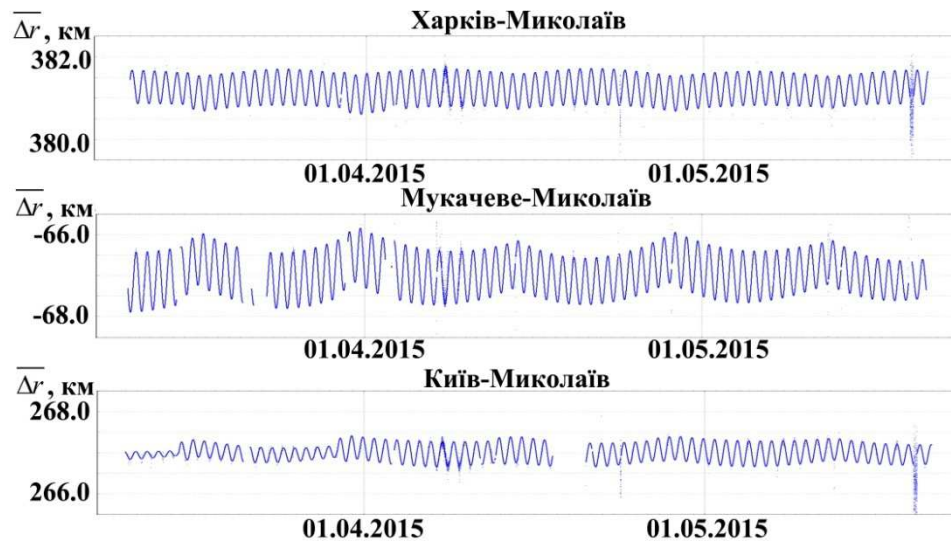


Рисунок 4.7 – Варіації різниці нахилених відстаней  $\overline{\Delta r}$  отримані за даними спостереження ТК ГСС «Eutelsat-13В» трьома парами станцій (зверху-вниз) Харків-Миколаїв, Мукачеве-Миколаїв і Київ-Миколаїв. Період спостережень з 11 березня по 20 травня 2015 року, час UTC.

На графіках по вісі ординат відкладені значення  $\overline{\Delta r}$ , отримані усередненням секундних відліків  $\Delta r = c \cdot \Delta t$  на інтервалі часу тривалістю 60 секунд. По вісі абсцис відкладено час UTC з 11.03.2015 по 20.05.2015. В зазначений період часу, затримки сигналу PPS для станцій в Києві, Харкові та Мукачеве були обрані таким чином, щоб зберегти нульову затримку для станції в Миколаєві, і дорівнювали, відповідно, 888 мкс, 1270 мкс і  $-215$  мкс. При обчислення TDOA ( $\Delta t$ ) згідно виразу (2.9), враховувалися як інструментальні затримки  $\Delta \tau_n$  (таблиця 4.2), так і діючі частоти дискретизації АЦП осцилографів ( $k_{sr} = 0.97655$ ). При цьому миколаївській станції відповідав індекс  $k$ , тобто, в результаті кореляційного аналізу визначалися затримки сигналів, прийнятих в Харкові, Мукачеве і Києві відносно затримки сигналу, прийнятого в Миколаєві. Для підвищення відношення сигнал/шум в піку кореляційної функції об'єм вибірки корелятора  $N_c$  був збільшений і дорівнював 8090 відліків. Також коефіцієнт  $q$ , який задає крок інтерполяції спектрів, покладался рівним 2. На графіках рис. 4.7 показані значення  $\overline{\Delta r}$ , при обчисленні яких враховувалися наступні параметри усереднення та

відбраковування грубих похибок:  $Q_{\min} = 3.0$ ,  $n_s = 60$ ,  $n_{\min} = 10$ , поріг  $\sigma_{\max}$  не застосовувався.

Слід зазначити, що на графіку  $\overline{\Delta r}$ , отриманому для пари станцій Київ-Миколаїв (базова лінія вздовж широти), спостерігаються кілька характерних ділянок різкої зміни амплітуди добових варіацій  $\Delta r$ . Особливо яскраво ці зміни проявилися на ділянках з 00:00 UTC 11 березня по 16:28 UTC 15 березня, а також з 16:28 UTC 15 березня по 17:31 UTC 29 березня. Можливо, в моменти часу 16:28 UTC 15 березня і 17:31 UTC 29 березня проводилася корекція орбіти супутника.

На рис. 4.8 наводяться вибіркові закони розподілу (диференціальні  $P(\sigma = \xi)$  і інтегральні  $P(\sigma < \xi)$ ) значення середньоквадратичного відхилення, отримані на 60-ти секундних інтервалах часу по кожній з вибірок, представлених на рис. 4.7.

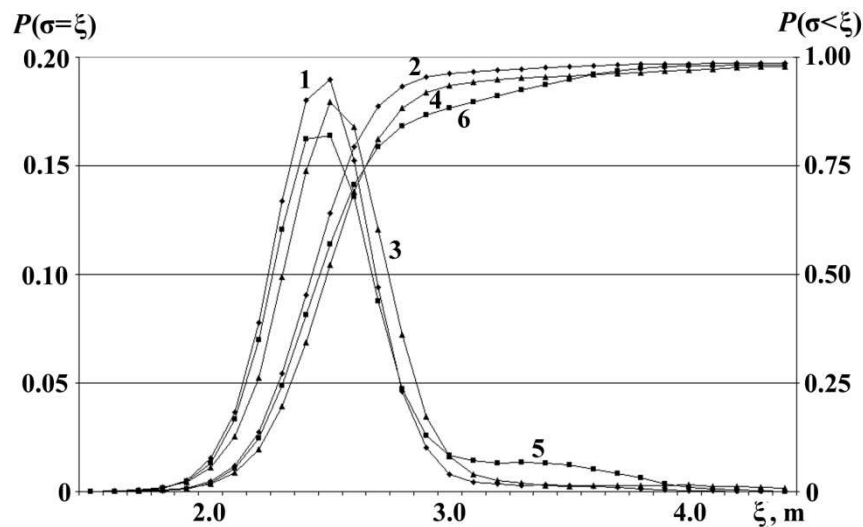


Рисунок 4.8 – Диференційні (1, 3 і 5) і інтегральні (2, 4 і 6) вибіркові закони розподілу СКП  $\Delta r$  для трьох пар станцій: Харків-Миколаїв (1 і 2), Мукачеве-Миколаїв (3 і 4) та Київ-Миколаїв (5 і 6). Період спостережень з 11 березня по 20 травня 2015 року, час UTC.

Згідно даних, наведених на рис. 4.8, впливає, що медіанне значення СКП  $\Delta r$  становить 2.5 м для пари станцій Харків-Миколаїв і 2.6 м для двох

інших пар станцій. Слід зазначити, що отримані вибіркові розподіли несиметричні щодо медіанного значення. Всі три графіка  $P(\sigma = \xi)$  більш повільно спадають в інтервалі значень ( $\xi > 3.0$ ) в порівнянні з інтервалом ( $\xi < 2.2$ ). При цьому графік 2, отриманий для пари станцій Київ-Миколаїв, має в інтервалі ( $\xi > 3.0$ ) явно виражений локальний максимум.

В якості ілюстрації на рис. 4.9 наводяться графіки змінювання різниці нахилених відстаней  $\overline{\Delta r}$  від станцій мережі до ТК ГСС «Eutelsat-13В», отримані за спостереженнями чотирьох пар станцій Харків-Миколаїв, Мукачеве-Миколаїв, Рівне-Миколаїв і Вентспілс-Миколаїв в період часу з 18 травня по 16 серпня 2016 року [93, 96, 97].

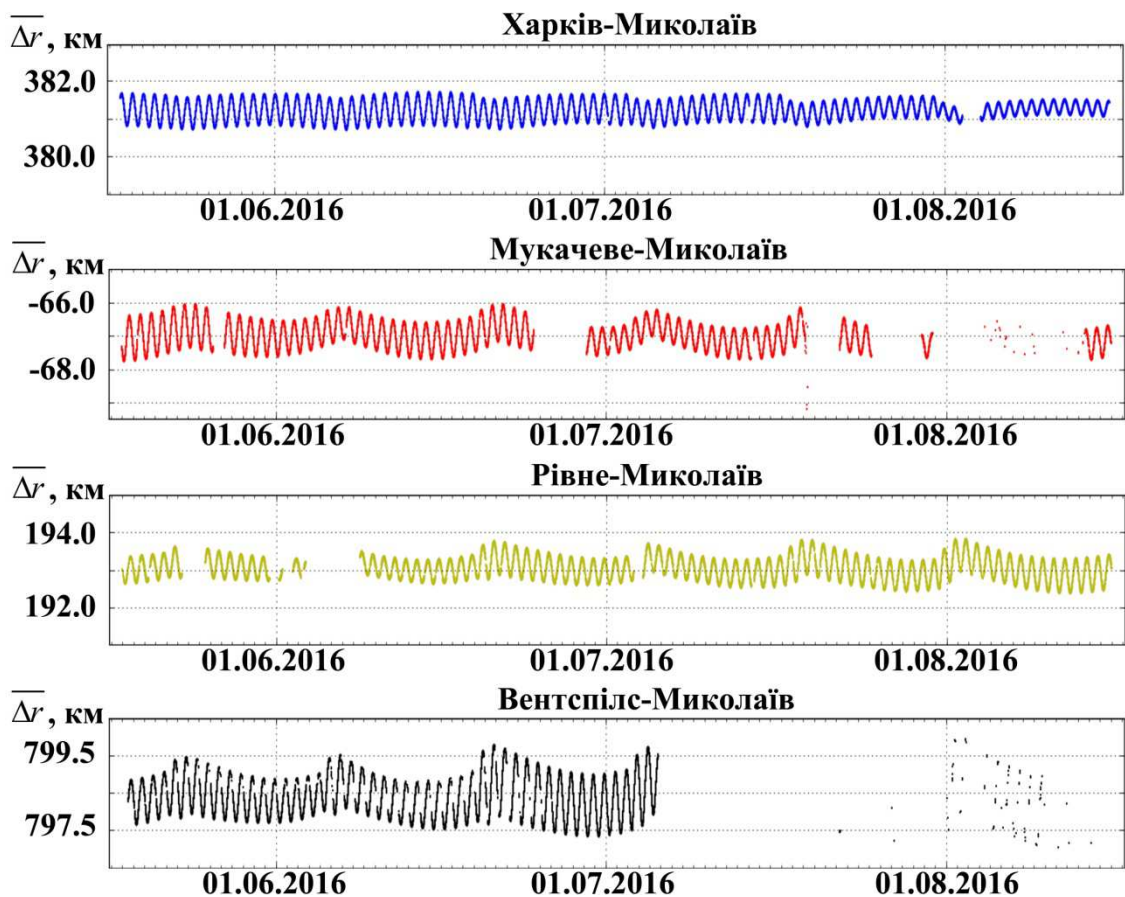


Рисунок 4.9 – Графіки змінювання у часі різниць нахилених відстаней  $\overline{\Delta r}$ , отриманих за спостереженнями чотирьох пар станцій (зверху вниз): Харків-Миколаїв, Мукачеве-Миколаїв, Рівне-Миколаїв та Вентспілс-Миколаїв.

Період спостережень з 18 травня по 16 серпня 2016 року, час UTC.

Наведені на рис. 4.9 значення  $\overline{\Delta r}$  обчислювалися у відповідність з методикою, яка використовувалася при обробці даних спостережень супутника «Eutelsat-13B», представлених на рис. 4.7. Із даних, наведених на рисунку, видно, що в серпні 2016 парама станцій Мукачеве-Миколаїв і Вентспілс-Миколаїв значення  $\overline{\Delta r}$  отримані лише в окремих точках. В зазначений період часу станціями в Мукачеве і в Вентспілсі, в зв'язку з відхиленням антен від напрямку на супутник «Eutelsat-13B», сигнал цифрового супутникового телебачення, випромінюваний контрольованим супутником, не приймався. На жаль, через вказані обставини та через недосконалий контроль працездатності станцій, було втрачено близько півмісяця спостережень мукачівською станцією і більше 40 днів (з 07.07.2016 по 18.08.2016) – вентспільською.

Статистичний аналіз похибки обчислення  $\Delta r$ , аналогічний наведеному вище (рис. 4.8), показав, що значення СКП величини  $\Delta r$  не залежить від орієнтації базових ліній і приблизно становить  $\pm 2.6$  метри, що відповідає похибці TDOA рівній  $\pm 8.7$  нс. Отримана похибка (СКП одиничного вимірювання) обчислення TDOA, повністю визначається похибкою формування сигналу PPS GPS-приймачем ThunderBolt-E [68] і є близькою до мінімальної для даного складу апаратури мережі, яка дорівнює  $\pm 7$  нс і яка обумовлена нестабільністю частоти опорних генераторів АЦП цифрових USB-осцилографів (п. 4.1.1). Таким чином, подальше зменшення похибки визначення TDOA можливе при збільшенні як точності синхронізації, так і стабільності опорних генераторів АЦП. Наприклад, можна замінити GPS-приймачі ThunderBolt-E на рубідієвий стандарт частоти GPS10RBN, синхронізований з GPS [98]. Сигнал PPS рубідієвого стандарту прив'язаний до UTC і має випадкові відхилення порядку  $\pm 0.3$  нс. Атомний стандарт частоти GPS10RBN може також використовуватися в якості опорного генератора для АЦП. Зазначимо, що гранична помилка визначення TDOA обумовлена шириною спектра сигналу, який використовується для



обчислення крос-кореляції і для сигналу DVB-S з шириною спектра близько 30 МГц становить менше 1 нс (п. 4.1.1).

### 4.3 Результати визначення орбітального положення контрольованого супутника

**4.3.1 Визначення декартових координат супутника методом мультилатерації.** Для періоду спостережень з 11 березня по 20 травня 2015 року за трьома щосекундними значеннями  $\Delta r = c \cdot \Delta \tau$ , де  $\Delta \tau$  величини TDOA, виміряні радіоінтерферометричною мережею із 4-х станцій, в результаті рішення нелінійної системи рівнянь (2.15) були обчислені значення декартових координат ( $X$ ,  $Y$  і  $Z$ ) супутника «Eutelsat-13B» в системі координат WGS84 [92, 94, 95]. В зазначений період часу супутник контролювався чотирма станціями, розташованими в містах Харків, Мукачеве, Київ і Миколаїв, а варіації середніх значень різниці нахилених відстаней  $\overline{\Delta r}$  для трьох пар станцій Харків-Миколаїв, Мукачеве-Миколаїв і Київ-Миколаїв наведені на рис. 4.7.

Для зменшення похибки обчислення  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  початкові щосекундні виміряні значення  $\Delta r$  були ковзаючи згладжені на 60-ти секундних інтервалах часу. При цьому враховувалися наступні параметри усереднення та відбраковування грубих похибок:  $Q_{\min} = 3.0$ ,  $n_s = 60$ ,  $n_{\min} = 10$ ,  $\sigma_{\max} = 3$  м, на відміну від даних рис. 4.7, при отриманні яких відбраковування по  $\sigma_{\max}$  не застосовувалося.

Визначені таким чином щосекундні значення  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  були ще раз усереднені на інтервалі часу 60 секунд. Отже, з кроком одна хвилина були отримані середні значення координат  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$  і  $\bar{Z}$ , графіки яких представлені на рис. 4.10. Враховуючи вищенаведене, можна стверджувати, що результуюча похибка  $\Delta r$  при обчисленні  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$  і  $\bar{Z}$  була зменшена в  $\sqrt{60}$  раз і становила приблизно 0.34 метри (або 1.13 нс для TDOA). На жаль, в роботі [92] помилково не згадується попереднє ковзаюче згладжування TDOA перед

обчисленням секундних значень  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  і тому стверджується, що похибка  $\Delta r$  при обчисленні  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$  і  $\bar{Z}$  дорівнювала 2.6 м.

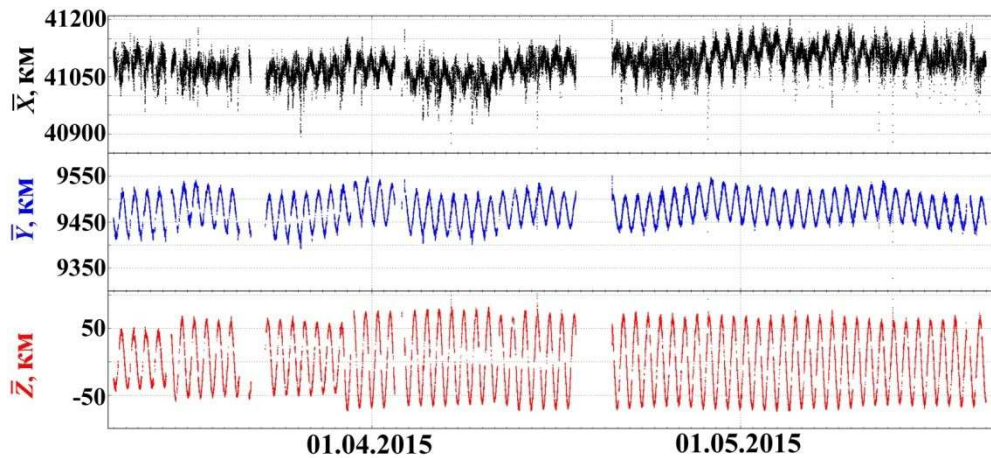


Рисунок 4.10 – Декартові координати супутника «Eutelsat-13B» в системі координат WGS-84. Період спостережень з 11 березня по 20 травня 2015 року, час UTC.

Слід зазначити, що на графіку  $\bar{Z}$  в моменти часу 16:28 UTC 15 березня і в 17:31 UTC 29 березня, також як і на графіку  $\bar{\Delta r}$ , отриманому для пари станцій Київ-Миколаїв і наведеному на рис. 4.7, чітко видно різкі зміни амплітуди добових коливань координати  $Z$ , які, можливо, пов'язані з корекцією орбіти супутника.

За даними, представленими на рис. 4.10, було побудована 3-х мірне зображення положень контрольованого супутника, яке наводиться на рис. 4.11.

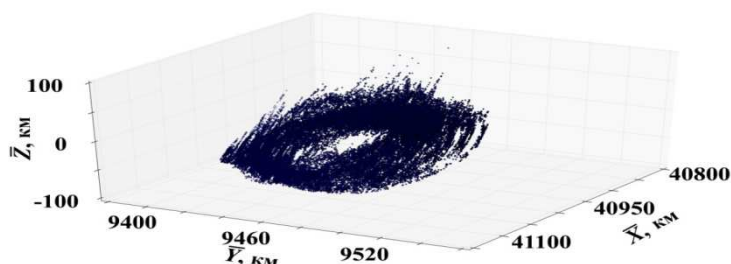


Рисунок 4.11 – Просторові положення супутника «Eutelsat-13B» отримані в період часу з 11 березня по 20 травня 2015 року, час UTC.

На рис. 4.12 наводяться графіки законів розподілу (диференціальні і інтегральні) значень середньоквадратичного відхилення  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  ( $\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$  і  $\sigma_Z$ , відповідно), отримані на 60-ти секундних інтервалах часу за всіма вибірками, наведеними на рис. 4.10.

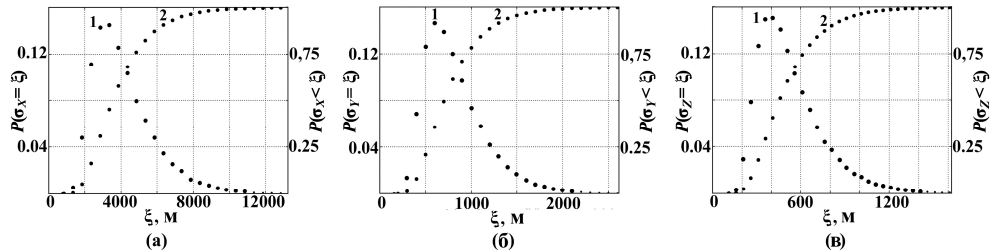


Рисунок 4.12 – Диференційні (1) і інтегральні (2) вибіркові закони розподілу СКП декартових координат супутника «Eutelsat-13B» в системі координат WGS84:  $X$  – (а),  $Y$  – (б) і  $Z$  – (в). Період спостережень з 11 березня по 20 травня 2015 року, час UTC.

З даних, наведених на рис. 4.12, випливає, що максимальну похибку має координата  $X$ . Для кожної з координат  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  медіанне значення СКП дорівнюють 3540 м, 705 м і 455 м, відповідно.

Можливими шляхами зменшення похибки визначення декартових координат контрольованого супутника є наступне [46, 93]:

- зменшення похибки обчислення TDOA;
- збільшення довжини базових ліній мережі.

На даний час основними складовими, які обумовлюють похибку обчислення TDOA, є похибка синхронізації станцій за допомогою GPS та нестабільність частоти опорного генератора АЦП USB-осцилографів станцій мережі (п. 4.2.4). Для зменшення цих похибок пропонується використовувати рубідієвий стандарт частоти як для синхронізації, так і в якості опорного генератора для АЦП. В першому наближенні можна вважати, що похибка обчислення координат методом мультилатерації пропорційна похибці обчислення TDOA [26]. Цей факт підтверджується спостереженнями, виконаними радіоінтерферометричною мережею. Так мережею у складі із 4-х

станцій перші спостереження супутника «Eutelsat-13B» були виконані з 22 по 27 жовтня 2014 року. В той час вимірювання в Миколаєві синхронізувалися за допомогою менш точного GPS приймача «Resolution-T», що обумовило величину СКП TDOA рівну 15 нс (або 4.5 м для  $\Delta r$ ) для пари станцій Миколаїв-Київ, тоді як для інших пар станцій значення СКП дорівнювало 8.7 нс (або 2.6 м для  $\Delta r$ ). Вибіркові закони розподілу СКП  $\Delta r$ , отримані для трьох пар станцій мережі наведені на рис. 3.9. Обчислення декартових координат супутника в цих умовах показали, що максимальну похибку 39400 м має координата X. Порівнявши максимальні похибки обчислення координат (39400 м і 3540 м) та відповідні максимальні похибки TDOA (15 нс і 1.13 нс) бачимо, що їхні відношення дорівнюють 11 і 13, відповідно. Тобто, враховуючи ковзаюче згладжування на інтервалі часу 60 секунд, використання рубідієвого стандарту частоти дозволить зменшити похибку обчислення TDOA з 1.13 нс до  $\frac{0.3}{\sqrt{60}} \approx 0.04$  нс або в 28 разів. Отже, можна очікувати, що максимальна похибка обчислення координат зменшиться при цьому до величини, приблизно, 150 м. Зазначимо, що зменшення похибки одиночного вимірювання TDOA до величин порядку 0.3 нс обумовить необхідність врахування тропосферної та іоносферної затримок (п. 2.1.4), особливо у випадках локальних збурень за рахунок, наприклад, змінювань вологості складової тропосферної затримки або змін іоносферної затримки при проходженні лінії термінатора.

Слід зазначити, що для зменшення похибки визначення TDOA, можна, також, збільшити інтервал усереднення, наприклад, з однієї хвилини до однієї години. При цьому, звичайно, потрібно враховувати характер регулярного змінювання затримки на інтервалі усереднення, як це було зроблено, наприклад, при отриманні згладжуючої кривої  $\Delta r_s$  на рис. 4.3.

Досвід спостережень, виконаних радіоінтерферометричною мережею, говорить, що збільшення довжини мінімальної базової лінії мережі може не привести до пропорційного зменшення похибки визначення координат

контрольованого супутника. Так, з кінця 2015 року мінімальна довжина базових ліній зросла приблизно вдвічі, в зв'язку з входженням до складу мережі станції, розташованої в м. Вентспілс (Латвія). Проведені оцінки показують, що похибки визначення декартових координат при цьому пропорційно не зменшилися. В роботі [26], наприклад, зазначається, що для зменшення похибок обчислення координат, станції радіоінтерферометричної мережі повинні буди розташовані оптимальним чином. Ілюстрацією оптимального розташування станцій може слугувати приклад, наведений в [5]. В цій роботі розглядаються дві мережі (по три станції в кожній) обчислення методом трилатерації координат супутника, розташованого в геостационарній комірці на довготі  $0^\circ$ . Метод трилатерації схожий з методом мультилатерації і відрізняється тим, що вимірюваним параметром є відстань до об'єкта спостереження. Одна мережа була повністю розташована в Європі і мала базові лінії довжиною приблизно 1000 км, тоді як станції другої мережі були розташовані в Європі, Латинській Америці і на островах в Індійському океані таким чином, що відстань між ними становила приблизно 10000 км. При цьому дві станції другої мережі знаходилися в північній півкулі, а одна станція – в південній. В [5] повідомляється, що похибка обчислення координат супутника другою мережею була в 11 разів меншою, ніж першою.

#### **4.3.2 Визначення елементів орбіти контрольованого супутника.**

Елементи орбіти визначалися за добовими масивами вимірювань значень TDOA з використанням двох моделей руху супутника: аналітичної моделі SGP4/SDP4 і чисельної моделі інтегрування рівнянь руху супутника (п. 2.3 і [93]). Обчислені для двох моделей руху щодобові елементи орбіти контрольованого супутника «Eutelsat-13B» наведені в Додатку В. Всього додаток містить 441 набір елементів орбіти, отриманий за даними спостережень супутника радіоінтерферометричною мережею протягом

більше ніж два роки – з лютого 2015 по лютий 2017 року. В цей час до складу мережі входило чотири і п'ять станцій.

Результати обчислення орбіти за допомогою аналітичної моделі SGP4/SDP4 наводяться в TLE-форматі, який було запропоновано NORAD і в даний час є розповсюдженим способом опису руху штучних супутників Землі. Детальний опис даного формату можна знайти на сайті [85]. Результати обчислення орбіти за допомогою чисельної моделі представляються вектором стану – координатами і швидкістю супутника на епоху обчислення орбіти.

Елементи орбіти визначалися по середнім значенням TDOA:  $\Delta\tau^{obs} = \overline{\Delta\tau}$ , де  $\Delta\tau^{obs}$  – виміряні значення TDOA в виразі 2.18, а  $\overline{\Delta\tau}$  – середні значення TDOA на 60-ти секундних інтервалах, тобто, об'єм вибірки  $n_s = 60$ . Інші параметри усереднення та відбраковування грубих похибок визначення TDOA дорівнювали:  $Q_{min} = 3.0$ ,  $n_{min} = 10$ ,  $\sigma_{max} = 10$  нс. В даному випадку  $\sigma_{max}$  відповідає значенню СКП  $\Delta\tau$  і вимірюється в наносекундах. При цьому елементи орбіти не визначалися, якщо протягом доби інтервал спостережень супутника не менше ніж трьома станціями був коротший 18 годин або кількість відліків  $\overline{\Delta\tau}$  на добовому інтервалі спостережень, отриманих одночасно трьома і більше станціями мережі, була меншою 720. При обчисленні елементів орбіти враховувалися значення TDOA, отримані для всіх орієнтацій базових ліній мережі (п. 2.1). Так, при наявності одночасних спостережень супутника 3, 4 і 5 станціями мережі, маємо 3, 6 і 10 варіантів орієнтації базових ліній і, відповідно, значень TDOA.

Отримані за допомогою двох моделей параметри орбіти використовувалися для обчислення модельних значень TDOA. Визначалися різниці  $\Delta$  між модельними і вимірюваними значеннями TDOA та обчислювалися середнє значення ( $\overline{\Delta}$ ) і СКП ( $\sigma_{\Delta}$ ) різниці  $\Delta$  на інтервалі підгонки.

Характер змінювання  $\Delta$  в залежності від відстані до епохи  $t_0$  визначення елементів орбіти ілюструється на рис. 4.13 [93, 96, 97]. Тут для

двох пар станцій Харків-Миколаїв та Мукачеве-Миколаїв наводяться графіки зміни значень  $\Delta$  в інтервалі часу  $\pm 2.0$  добу від епохи  $t_0$  31.10.2015 3:00 UTC. Різниці  $\Delta_{SDP4}$ , отримані з використанням моделі SGP4/SDP4, показані на рисунку ліворуч (рис. 4.13 (а)), а отримані з використанням чисельної моделі ( $\Delta_{Num}$ ) – праворуч (рис. 4.13 (б)). Інтервал підгонки параметрів моделі дорівнював добі. Згідно даних, наведених на рис. 4.13 (а), впливає, що на інтервалі підгонки різниця  $\Delta_{SDP4}$  має значні періодичні флуктуації внаслідок неточності моделі. Значення  $\Delta_{Num}$  не мають помітних періодичних флуктуацій на інтервалі підгонки (рис. 4.13 (б)). Поза інтервалу підгонки спостерігаються значні флуктуації різниці  $\Delta$  для обох моделей.

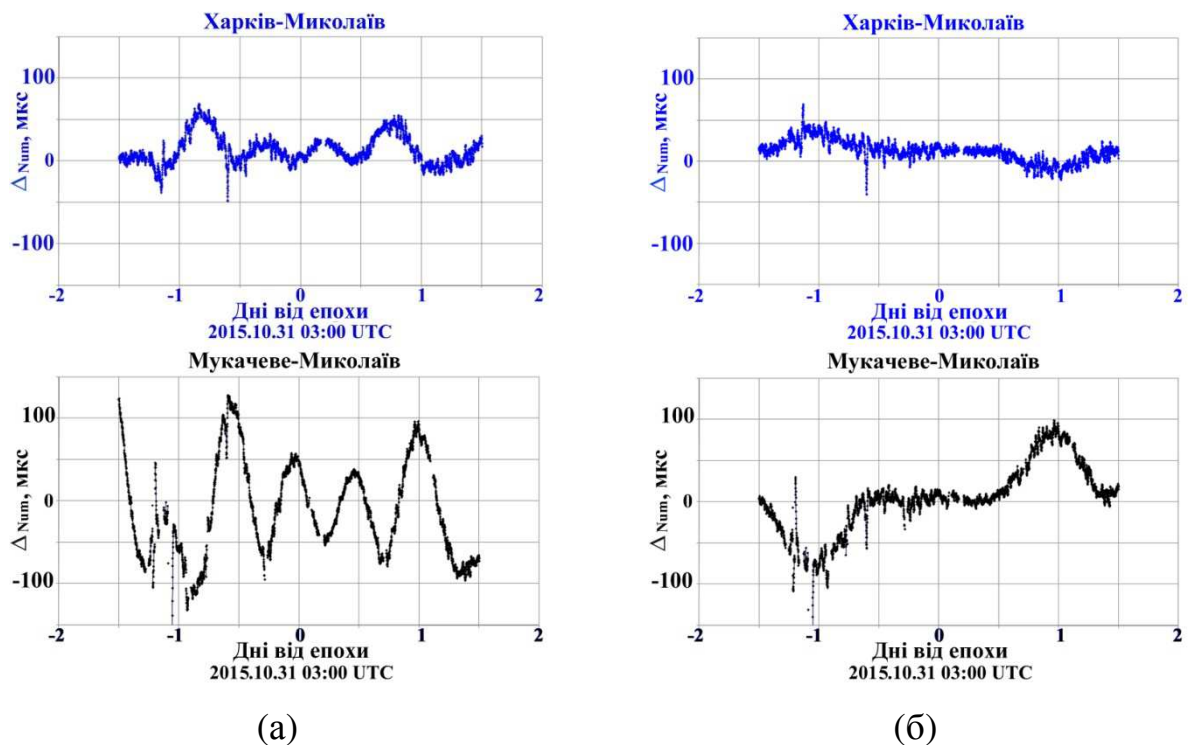


Рисунок 4.13 – Різниці між модельними і вимірюваними значеннями TDOA для двох пар станцій (зверху вниз) Харків-Миколаїв та Мукачево-Миколаїв та для двох моделей: (а) - SGP4/SDP4, (б) - чисельна модель. Інтервал підгонки дорівнює добі.

Одночасно з визначенням елементів орбіти, які містяться в Додатку В, обчислювалися також значення  $\bar{\Delta}$  і  $\sigma_{\Delta}$  для кожного добового інтервалу

підгонки та для кожної пари станцій (базової лінії), спостереження яких враховувались при визначенні цих елементів орбіти. По отриманим масивам значень  $\bar{\Delta}$  і  $\sigma_{\Delta}$  були знайдені їхні медіани  $\hat{\Delta}$  і  $\hat{\sigma}_{\Delta}$  окремо для кожної моделі руху супутника та для кожної базової лінії. Значення  $\hat{\Delta}$  і  $\hat{\sigma}_{\Delta}$ , а також об'єми вибірок, за яким вони визначалися, наведені в таблиці 4.4. Із наведених в таблиці даних витікає наступне. Випадкова складова  $\hat{\sigma}_{\Delta}$  різниці модельних та вимірних значень TDOA для чисельної моделі знаходиться в інтервалі від 3.9 нс до 13.2 нс і в середньому в 5.4 рази менша, ніж для моделі SGP4/SDP4, тоді як регулярні складові  $\hat{\Delta}$  для обох моделей практично співпадають.

Таблиця 4.4 – Значення  $\hat{\Delta}$  і  $\hat{\sigma}_{\Delta}$  отримані при визначенні елементів орбіти за даними спостережень супутника «Eutelsat-13B» протягом більше ніж двох років з лютого 2015 по лютий 2017 року, всього 441 добовий інтервал спостережень.

Назва базової лінії	Об'єм вибірки	SGP4/SDP4		Чисельна модель	
		$\hat{\Delta}$ , нс	$\hat{\sigma}_{\Delta}$ , нс	$\hat{\Delta}$ , нс	$\hat{\sigma}_{\Delta}$ , нс
Харків-Миколаїв	440	13.9	17.8	15.3	10.6
Київ-Харків	134	4.6	25.9	4.4	4.3
Київ-Мукачеве	131	0.6	34.8	2.4	7.0
Київ-Миколаїв	134	9.4	16.1	11.0	5.9
Мукачеве-Харків	332	22.7	56.5	24.7	6.7
Мукачеве-Миколаїв	333	35.6	46.2	34.8	12.2
Рівне-Харків	270	11.2	41.9	12.4	3.9
Рівне-Мукачеве	169	-15.2	15.0	-13.7	6.4
Рівне-Миколаїв	271	25.4	32.7	26.3	13.2
Рівне-Вентспілс	213	45.9	25.4	44.8	4.2
Вентспілс-Харків	290	-29.9	66.3	-26.3	5.0
Вентспілс-Мукачеве	200	-62.3	16.6	-59.3	6.8
Вентспілс-Миколаїв	295	-16.4	57.9	-16.5	11.7

Значення  $\hat{\Delta}$  для чисельної моделі зміщені в середньому на +1.1 нс по відношенню до відповідних величин отриманих за допомогою моделі SGP4/SDP4. При цьому для більшості базових ліній величини  $\hat{\Delta}$  по модулю



перевищують 10 нс і за даними, отриманими з використанням чисельної моделі, знаходяться в інтервалі від  $-59.3$  нс до  $+44.8$  нс.

Отже, із наведених даних витікає, що чисельна модель є більш точною, ніж модель SGP4/SDP4.

**4.3.3 Оцінка похибки визначення координат супутника при використанні елементів орбіти, які отримані за вимірними значеннями TDOA.** В роботі [33] наводяться похибки обчислення мережею RaCoRa радіальної (R), тангенціальної (T) і нормальної (N) координат супутника. Похибки були отримані в результаті моделювання в допущенні, що на інтервалі аналізу корекція орбіти супутника не проводилася. При цьому вважалось, що чотири станції мережі розташовані в Бецдорфі (Люксембург), Мадриді (Іспанія), Римі (Італія) і в Агеста (Швеція). Інших параметрів моделювання в роботі [33] не наводиться.

З метою оцінки похибок визначення координат супутника при використанні елементів орбіти, отриманих за вимірними значенням TDOA і з метою порівняння з похибками мережі RaCoRa, був реалізований наступний спосіб їхньої оцінки. Елементи орбіти пропонується визначати на двох трьохдобових інтервалах часу, зсунутих відносно один одного на одну добу. Епохи визначення елементів орбіти  $t_0$  і  $t_1$  пропонується задавати рівними серединам відповідних трьохдобових інтервалів часу. Далі, на інтервалах підгонки за отриманими елементами орбіти обчислюються значення координат супутника в системі координат WGS84 і в локальній системі координат R, T і N (п. 2.4). Так як інтервали підгонки перекриваються на дводобовому інтервалі, то для цього спільного інтервалу маємо два набори координат, які можна порівняти, обчисливши середні значення і СКП їхньої різниці. Отримані таким чином середні значення і СКП пропонується розглядати в якості шуканих оцінок регулярної та випадкової похибок визначення координат супутника. Зазначимо, що точкою на поверхні Землі, для якої обчислюються координати R, T і N, пропонується взяти місце

дислокації рівненської станції. В роботі [33] не говориться, відносно якої точки розраховувались координати R, T і N супутника, контрольованого мережею РаСоРа. Повідомляється, що під час моделювання мережею РаСоРа та однопозиційним тоновим радаром дистанціювання контролювався супутник, розташований на довготі  $19.2^\circ$  с.д.. Ймовірно, що саме для однопозиційного радара в Бецдорфі обчислювалися координати R, T і N. Тоді рівненська станція розташована відносно супутника «Eutelsat1B» ( $13^\circ$  с.д.) так, як і однопозиційним радаром тонового дистанціювання відносно супутника, розташованого на довготі  $19.2^\circ$  с.д.. А саме, вони знаходяться приблизно на одній широті ( $50^\circ$  п.ш.) і зміщені по довготі відносно контрольованих супутників на  $13^\circ$ , рівненська станція, однак, на схід, а радар – на захід.

Для оцінки похибок визначення координат супутника був обраний 4-х добовий інтервал часу з 00:00:00 UTC 11 червня по 23:59:59 UTC 14 червня 2016 року, протягом якого супутник спостерігався п'ятьма станціями мережі, розташованими в Харкові, Мукачеві, Вентспілсі, Рівному і Миколаєві (рис. 4.9). Згідно даних, наведених на рис. 4.9, на обраному інтервалі часу значення  $\overline{\Delta r}$  і, відповідно, TDOA змінюються плавно, тобто, ймовірність корекції орбіти була мінімальною. Епохами визначення елементів орбіти  $t_0$  і  $t_1$  були моменти часу 12:00:00 UTC 12 і 13 червня 2016 року, відповідно. Оцінка похибок визначення координат проводилася з використанням чисельної моделі інтегрування рівнянь руху супутника за даними спостережень контрольованого супутника 2, 3 та 4 станціями, а саме: 2 станції – Вентспілс і Миколаїв, 3 станції – Харків, Мукачеве і Рівне, 4 станції – Харків, Вентспілс, Рівне і Миколаїв. При обчисленні елементів орбіти враховувалися значення TDOA, отримані для всіх орієнтацій базових ліній мережі, відповідно, із 3 і 4 станцій. Відмітимо, що в радіоінтерферометричній мережі станції Вентспілс і Миколаїв знаходяться на найбільшій відстані одна від одної, а названі вище 3 і 4 станції створюють, відповідно, трикутник і чотирикутник з найменшими можливими площами. При цьому геодезична,

яка з'єднує Вентспілс і Миколаїв, є діагоналлю сферичного квадрата зі сторонами  $10^\circ$ .

Отримані оцінки похибок визначення координат наведені в таблиці 4.5. Для порівняння в крайній справа колонці таблиці приводяться похибки мережі PaCoRa, взяті з [33].

Таблиця 4.5 – Результати оцінки похибок визначення координат супутника «Eutelsat-13B» при використанні елементів орбіти, які отримані за вимірними значенням TDOA та похибки мережі PaCoRa взяті з [33].

Координати		2 станції		3 станції		4 станції		PaCoRa. м
		Середнє. м	СКП. м	Середнє. м	СКП. м	Середнє. м	СКП. м	
LOF	R	+27	±7530	-3	±214	+3	±223	±4
	T	-21	±7020	-1	±194	0	±203	±119
	N	-7	±1830	0	±6	0	±2	±10
WGS84	X	+13	±6930	-9	±216	-2	±213	-
	Y	-259	±12640	+36	±396	+4	±402	-
	Z	+27	±19000	0	±60	0	±19	-

Із даних, наведених в таблиці 4.5, випливає:

- оцінки як регулярних (середнє), так і випадкових (СКП) похибок обчислення координат контрольованого супутника радіоінтерферометричною мережею у складі з мінімальною кількістю станцій (дві) значно більші за похибки, отримані мережею із трьох і більше станцій і по СКП знаходяться в інтервалі від  $\pm 1830$  м до  $\pm 19000$  м;

- максимальна оцінка похибки обчислення координат супутника в локальній системі координат R, T і N мережею у складі з 3 і більше станцій становить  $\pm 223$  м, що в 1.9 рази більше похибка мережі PaCoRa, яка складає  $\pm 119$  м і була отримана моделюванням [51 PaCoRa];

- максимальна оцінка похибки обчислення координат супутника в системі координат WGS84 мережею у складі з 3 і більше станцій становить  $\pm 402$  м.

- максимальне значення оцінки регулярної похибки обчислення координат супутника для мережі із 3-х станцій становить +36 м, а для мережі із 4-х станцій – +4 м.

#### 4.4 Результати зовнішнього порівняння

**4.4.1 Результати порівняння оцінок TDOA, отриманих за даними вимірювань радіоінтерферометричною мережею та за даними відкритого каталогу КО [www.space-track.org](http://www.space-track.org).** Результати зовнішнього порівняння вимірних різниць нахилених відстаней  $\Delta r_{Obs}$  (оцінок TDOA помножених на швидкість світла) з відповідними розрахунковими значеннями  $\Delta r_{Calc}$ , обчисленими для контрольованого супутника за даними відкритого каталогу космічних об'єктів, який ведеться США і розміщений на сайті [www.space-track.org](http://www.space-track.org). приводяться на рис. 4.14 [51].

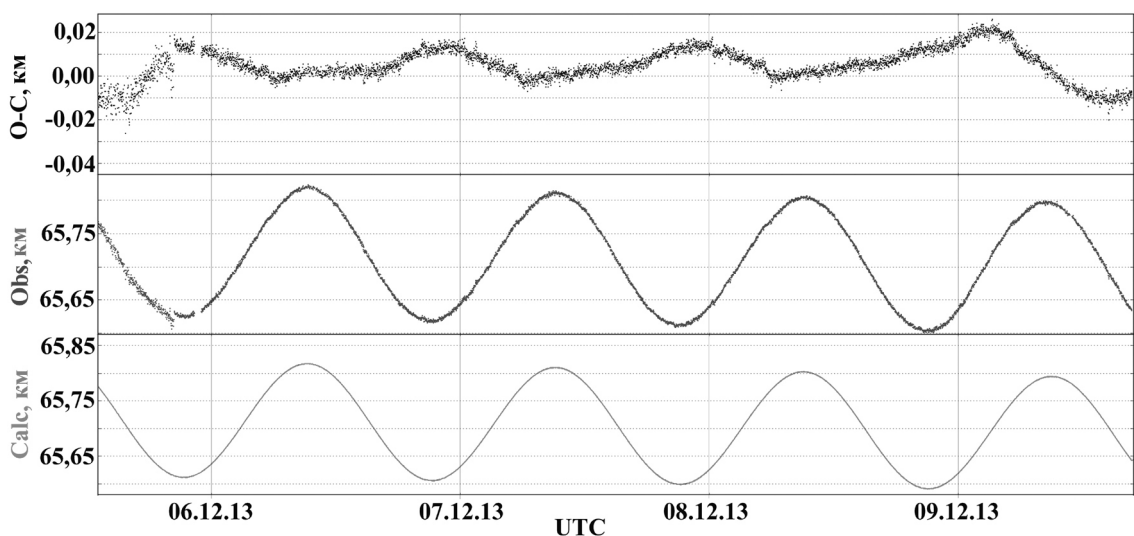


Рисунок 4.14 – Порівняння вимірних  $\Delta r_{Obs}$  і обчислених  $\Delta r_{Calc}$  (за даними сайту [www.space-track.org](http://www.space-track.org)) значень різниці нахилених відстаней. По осі абсцис відкладено час UTC.

Значення  $\Delta r_{Obs}$  були обчислені з врахуванням наступних параметрів усереднення та відбраковування грубих похибок:  $Q_{min} = 3.0$ .  $n_s = 60$ .  $n_{min} = 10$ .  $\sigma_{max} = 3$  м. Графік змінювання  $\Delta r_{Obs}$  показано на середній панелі рисунку. Він побудований за даними, отриманими з 05.12.2013 по 09.12.2013 під час супроводу супутника «Eutelsat-13В» станціями розташованими в Одесі і Миколаєві. На нижній панелі приводиться графік  $\Delta r_{Calc}$ , а на верхній — графік різниці ( $\Delta r_{Obs} - \Delta r_{Calc}$ ). Графік змінювання у часі усереднених значень  $\Delta r_{Obs}$  для всього інтервалу спостережень супутника цими двома станціями наводиться на рис. 4.6.

Із даних, наведених на рис. 4.14, випливає, що систематична складова ( $\Delta r_{Obs} - \Delta r_{Calc}$ ) змінюється в межах  $\pm 20$  м, тоді як випадкова складова знаходиться в діапазоні, що не перевищує 10 м. Вибіркова перевірка для інших інтервалів часу і для іншого супутника «Eutelsat-25С» показала, що регулярна складова різниці ( $\Delta r_{Obs} - \Delta r_{Calc}$ ) не виходить за межі  $\pm 40$  м, а випадкова складова остається на рівні 10 м. Супутник «Eutelsat-25С» контролювався одеською і миколаївською станціям з 10.04.2013 по 20.04.2013 і з 20.09.2013 по 29.10.2013 (п. 3.3). Графік змінювання у часі усереднених значень  $\Delta r_{Obs}$  для останнього інтервалу спостережень супутника наводиться на рис. 4.5.

**4.4.2 Результати порівняння оцінок TDOA, отриманих за даними вимірювань радіоінтерферометричною мережею та за даними оптичних спостережень.** Одночасні спостереження супутника «Eutelsat-13В» оптичними та радіотехнічними засобами були проведені 31.10.2015 року з 01:40 по 03:17 UTC. В цей час супутник контролювався трьома станціями радіоінтерферометричної мережі, розташованими в Харкові, Мукачевому та Миколаєві. За даними оптичних спостережень, виконаних миколаївською станцією Української мережі оптичних станцій (УМОС), були визначені елементи орбіти супутника, за якими обчислили різниці нахилених відстаней

$\Delta r_{Optic}$  для двох пар станцій Харків-Миколаїв і Мукачеве-Миколаїв. Порівняння  $\Delta r_{Optic}$  і  $\Delta r_{Obs}$  показали, що в інтервалі часу оптичних спостережень різниця ( $\Delta r_{Obs} - \Delta r_{Optic}$ ) мінімальна і становить для пар станцій Харків-Миколаїв і Мукачеве-Миколаїв +3.0 м і -31.7 м за середніми значеннями та  $\pm 2.8$  м і  $\pm 3.0$  м – за СКП [97]. При цьому значення  $\Delta r_{Obs}$  були обчислені з врахуванням наступних параметрів усереднення та відбраковування грубих похибок:  $Q_{min} = 3.0$ ,  $n_s = 57$ ,  $n_{min} = 10$ ,  $\sigma_{max} = 3$  м. Графіки змінювання різниць ( $\Delta r_{Obs} - \Delta r_{Optic}$ ) на інтервалі часу оптичних спостережень наведені на рис. 4.15.

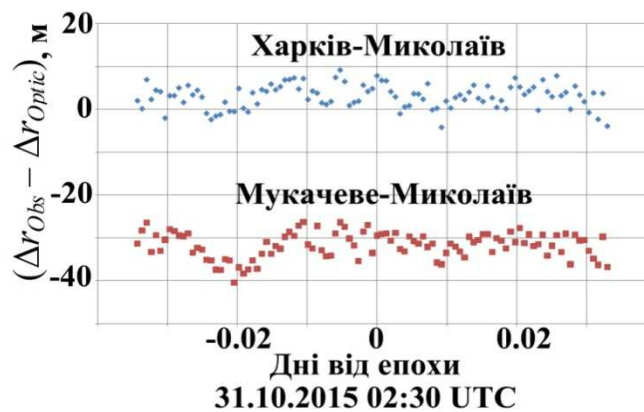


Рисунок 4.15 – Залежності різниць ( $\Delta r_{Obs} - \Delta r_{Optic}$ ) від відстані до епохи  $t_0$  31.10.2015 02:30 UTC визначення елементів орбіти за даними оптичних вимірювань.

#### Висновки по розділу 4

1. В умовах з нульовою базою проведено калібрування станцій мережі та отримані значення апаратних затримок сигналу цифрового супутникового телебачення в приймальних трактах станцій і значення коефіцієнта пропорційності між діючою і номінальною частотами дискретизації АЦП USB-осцилографів станцій, а також отримана мінімальна похибка визначення TDOA даним складом апаратно-програмного комплексу станцій мережі, яка склала  $\pm 7$  нс.

2. В режимі контролю обраного супутника за допомогою мережі із двох, чотирьох та п'яти станцій отримані масиви вимірних значень TDOA, загальна тривалість яких на початок 2017 року була більшою 800 діб. Визначено похибку вимірювання TDOA, яка становить  $\pm 8.7$  нс і обумовлена похибками синхронізації станцій мережі за допомогою GPS.

3. Проведено порівняння значень TDOA ( $\Delta r_{Obs}$ ), вимірних радіоінтерферометричною мережею, з обчисленими по елементам орбіти, визначеній за оптичними спостереженнями ( $\Delta r_{Optic}$ ) та за даними відкритого каталогу КО [www.space-track.org](http://www.space-track.org) ( $\Delta r_{Calc}$ ). На інтервалі оптичних спостережень середнє значення різниці ( $\Delta r_{Obs} - \Delta r_{Optic}$ ) не перевищує по модулю 32 м, а СКП –  $\pm 3$  м. Регулярна складова різниці ( $\Delta r_{Obs} - \Delta r_{Calc}$ ) не виходить за межі  $\pm 40$  м, а випадкова складова знаходиться на рівні  $\pm 10$  м.

4. З використанням аналітичної моделі SGP4/SDP4 та чисельної моделі інтегрування рівнянь руху супутника обчислені елементи орбіти контрольованого супутника за добовими масивами вимірних значень TDOA, отриманими одночасно не менше ніж трьома станціями радіоінтерферометричної мережі в період часу з лютого 2015 року по лютий 2017. Всього елементи орбіти обчислені для 441 доби. Отримані регулярна (середнє) і випадкова (СКП) складові різниці модельних та вимірних значень TDOA. Для чисельної моделі випадкова складова в середньому в 5.4 рази менша, ніж для моделі SGP4/SDP4 і не перевищує 13.2 нс, тоді як регулярна складова для обох моделей практично співпадає і знаходиться в інтервалі від  $-59.3$  нс до  $+44.8$  нс в залежності від базової лінії мережі.

5. Отримані похибки обчислення методом мультилатерації декартових координат супутника в системі координат WGS84 за даними одночасних вимірювань TDOA радіоінтерферометричною мережею із чотирьох станцій, які становлять 3540 м, 705 м і 455 м, відповідно, по X, Y і Z.

6. Отримані оцінки похибок визначення координат супутника в LOF і в WGS84 при використанні елементів орбіти, які були визначені за даними вимірювань TDOA радіоінтерферометричною мережею із двох, трьох і

чотирьох станцій. Для мережі із чотирьох станцій випадкові похибки визначення координат LOF R, T і N становлять, відповідно,  $\pm 223$  м,  $\pm 203$  м і  $\pm 2$  м, тоді як випадкові похибки визначення координат WGS84 X, Y і Z дорівнюють, відповідно,  $\pm 213$  м,  $\pm 402$  м і  $\pm 19$  м. При цьому регулярні похибки для всіх координат знаходяться в межах  $\pm 4$  м. Для мережі із трьох станцій випадкові похибки відрізняються від отриманих для чотирьох станцій в межах від  $-9$  м до  $+41$  м, а регулярна похибка для всіх координат знаходиться в межах від  $-9$  м до  $+36$  м. Для мережі із двох станцій як регулярні, так і випадкові похибки значно перевищують похибки, отримані для мереж з трьома і чотирма станціями: регулярна похибка знаходиться в межах від  $-259$  м до  $+27$  м, а випадкова – в межах від  $\pm 1830$  м до  $\pm 19000$  м.



## ВИСНОВКИ

Метою досліджень був безперервний контроль орбітальних параметрів телекомунікаційних геостаціонарних супутників за результатами координатних спостережень супутника, отриманих з використанням радіоінтерферометричних вимірювань.

За 2011-2016 роки була розроблена і впроваджена експериментальна мережа в складі із п'яти станцій прийому цифрового супутникового телебачення, призначена для радіоінтерферометричних координатних спостережень ТК ГСС. В процесі дослідження було вирішено ряд задач, пов'язаних з методами отримання і обробки даних, починаючи з проблеми реєстрації первинних цифрових фрагментів сигналів DVB-S, які приймаються станціями мережі, і закінчуючи вибором способу оцінки орбітальних параметрів контрольованого ТК ГСС.

Як найбільш важливі результати проведених досліджень можна виділити наступні:

1. Створено каталог елементів орбіти ТК ГСС «Eutelsat-13B» за результатами спостережень в 2015-2016 роках. Елементи орбіти визначаються щодобово в форматі TLE та як значення координат і швидкостей супутника в системі координат EME2000.

2. Вперше розроблено радіоінтерферометричний метод визначення різниці нахилених відстаней до контрольованого ТК ГСС, заснований на кореляційному аналізі сигналів DVB-S, які приймаються географічно рознесеними приймачами супутникового телебачення і які є корисним навантаженням транспортного потоку, випромінюваного супутником. На основі методу організовано і забезпечено функціонування мережі у складі із п'яти станцій розташованих по всій території України (Харків, Мукачеве, Рівне, Миколаїв) і в Латвії (м. Вентспілс).

3. Розроблено і впроваджено оригінальне програмне забезпечення для синхронної (по GPS) реєстрації географічно рознесеними станціями

радіоінтерферометричної мережі фрагментів сигналів DVB-S та їх подальшої кореляційної обробки з метою оцінки TDOA.

4. Впроваджено оригінальне програмне забезпечення для обчислення елементів орбіти ТК ГСС за даними вимірювань відносної затримки сигналів цифрового супутникового телебачення DVB-S, які є корисним навантаженням транспортного потоку, випромінюваного супутником та проводиться безперервне визначення орбітальних параметрів контрольованого ТК ГСС. СКП визначення координат супутника в локальній системі координат не перевищує 225 м на епоху обчислення елементів орбіти. ПЗ визначення елементів орбіти розроблене в НДІ «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету при участі автора, який розробив технічне завдання на ПЗ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Flury W. Geostationary ring. / Flury W., Kessler D. // Space Debris. – 2001. – V. 1. – P. 219-220.
2. Кантор Л.Я., Тимофеев В.В. Спутниковая связь и проблема геостационарной орбиты. М.: Радио и связь. – 1988. – 168 с.
3. Intelsat I. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Intelsat\\_I](https://en.wikipedia.org/wiki/Intelsat_I). – Назва з екрану.
4. A guide to communications satellites. EUTELSAT COMMUNICATIONS. – Режим доступу: [http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media\\_library/brochures/guide-to-satellites.pdf](http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/media_library/brochures/guide-to-satellites.pdf). – Назва з екрану.
5. Soop E.M. Handbook of geostationary orbits. Springer-Science+Business Media, B.V.. – 1994. – 309 p.
6. Scott Robert (Lauchie). Small Aperture Telescope Observations of Co-located Geostationary Satellites. / Scott Robert (Lauchie), Wallace Brad // Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, held in Wailea, Maui, Hawaii, September 1-4, 2009 – P.E88.
7. Commercial Communications Satellites Geosynchronous Orbit. – Режим доступу: [http://www.boeing.com/assets/pdf/defense-space/space/bss/launch/980031\\_002k.pdf](http://www.boeing.com/assets/pdf/defense-space/space/bss/launch/980031_002k.pdf). – Назва з екрану.
8. Groß Markus A localization System Using Geostationary Collocated Satellites For Location Based Services In Interactive TV. / Groß Markus, Harles Guy, Krier Georges, Nicolay Tomas // Position, Location, And Navigation Symposium, 2006 IEEE/ION. Luxemburg, Germany.
9. Dealing with Galaxy 15: Zombiesats and on-orbit servicing by Brian Weeden. Monday, May 24, 2010. – Режим доступу: <http://thespacereview.com/article/1634/1>. – Назва з екрану.
10. SCIENTIFIC AMERICAN. Global Conflict Could Threaten Geostationary Satellites. China, Russia and the U.S. have the ability to destroy one another's

- eyes in the sky. By Jeremy Hsu. March 31, 2014. – Режим доступа: <https://www.scientificamerican.com/article/global-conflict-could-threaten-geostationary-satellites/>. – Назва з екрану.
11. Gron Oyvind. The gravitational Doppler effect explored by means of a geostationary satellite. / Gron Oyvind // *Foundations of Physics*. – 1980. – V. 10. – № 7-8. – P. 567-579.
  12. Chugree Yu.V. Ranging of a Geostationary Satellite and Nongeodesic Motion of the Earth's Center of Mass. / Chugree Yu.V. // *Theoretical and Mathematical Physics*. – 1986. – V. 69. – № 3. – P. 1193-1202.
  13. Montenbruck Oliver, Gill Eberhard. *Satellite orbits: models, methods, and applications*. Berlin: Springer. – 2005. – 380 p.
  14. Application note SLR. Austrian Academy of Science, Space Research Institute, SLR station Graz. – Режим доступа: <http://www.highq-us.com/>. – Назва з екрану.
  15. Guo Rui Orbit determination for geostationary satellites with the combination of transfer ranging and pseudorange data. / Guo Rui, Hu XiaoGong, Liu Li, Wu XiaoLi and Huang Yong, et al. // *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*. – 2010. – V. 53. – № 9. – P. 1746-1754.
  16. Zhou, Shanshi Orbit determination and time synchronization for a GEO/IGSO satellite navigation constellation with regional tracking network. / Zhou, Shanshi; Hu, Xiaogong; Wu, Bin; Liu, Li; Qu, Weijing; Guo, Rui; He, Feng; Cao, Yueling; Wu, Xiaoli; Zhu, Lingfeng; Shi, Xin; Tan, Hongli // *Science China Physics, Mechanics and Astronomy*. – 2011. – V. 54. – № 6. – P. 1089-1097. <http://www.springerlink.com/>.
  17. Guo Rui Precise orbit determination for geostationary satellites with multiple tracking techniques. / Guo Rui, Hu XiaoGong, Tang Bo, Huang Yong and Liu Li, et al. // *Chinese Science Bulletin*. – 2010. – V. 55. – № 8. – P. 687-692.
  18. Молотов И. Современное состояние сети обсерваторий ISON. / Молотов И. // *Астрономия и телескопостроение*. 2012.

19. Wallace Brad The DRDC Ottawa Space Surveillance Observatory. / Wallace Brad, Scott Robert (Lauchie), Spaans Aaron. // AMOS Technical Conference 2007, September 2007. – P. 1-9.
20. Moratalla T.L. The PASAGE Project Astrometric Positioning Of Geostationary Satellite. / Moratalla T.L., Abad C., Belizon F., Coma J.C., Montojo F.J., Muinos J.L., Palacio J., Vallejo M. // 14th International Laser Ranging Workshop. San Fernando, Cadiz, Spain, 1-11 June 2004.
21. Montojoa F.J. Astrometric positioning and orbit determination of geostationary satellites. / Montojoa F.J., Moratalla T. Lopez, Abad C. // Advances in Space Research. – 2011. – V. 47. – Issue 6. – P. 1043–1053.
22. Сергеев А.В. Новые возможности Терскольской обсерватории для исследований «космического мусора» в околоземном пространстве. / Сергеев А.В., Тарадий В.К., Бахтигараев Н.С., Андреев Н.В., Карпов Н.В. // Сборник трудов конференции «Околоземная астрономия 2009. Казань, 22-26 августа 2009». Москва. ГЕОС. 2010. – С. 105-109.
23. Kara I. V. NAO Catalog of Geocentric State Vectors of Geosynchronous Space Objects. / Kara I. V., Kozyryev Y. S., Sybiryakova Y. S., Shulga O. V. // Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory. – 2011. –V. 107. – P. 98-102.
24. Experience Using GPS For Orbit Determination of a Geosynchronous Satellite. J. D. Kronman, TRW, Inc . – Режим доступа: [http://www.emergentspace.com/assets/1/7/kronman\\_ion2000.pdf](http://www.emergentspace.com/assets/1/7/kronman_ion2000.pdf). – Назва з екрану.
25. New techniques for orbit determination of geosynchronous, geosynchronous-transfer, and other high-altitude Earth orbiter. S. M. Lichten, S. C. Wu, L.E. Youngt, J. M. Srinivasan, B.J. Hairies, Peter Coulson. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.24.8877&rep=rep1&type=pdf>. – Назва з екрану.
26. Huang Yong Improvement of orbit determination for geostationary satellites with VLBI tracking. / Huang Yong, Hu XiaoGong, Zhang XiuZhong, Jiang

- DongRong, Guo Rui, Wang Hong & Shi ShanBin. // Chinese Science Bulletin. – 2011. – V.56. – No.26. – P. 2765-2772.
27. Harles G. A novel ranging method using DVB-S transport stream packets. / Harles G., Siebert P., Eberlein E., Nowotne H-J., Fritzsche B., Haiduk F., Knuchel U., Lindig M. // The Seventh International Workshop on Digital Signal Processing Techniques for Space Communications (DSP 2001). Sesimbra, Portugal. 01-03 October 2001.
28. Harles G. DARTS Operational Concepts of an innovative DVB-S based Satellite Ranging Tool. / Harles G., Wouters J., Fritzsche B., Haiduk F. // Space Ops 2004, 8th International Conference on Space Operations, Montreal, Canada, May 17-21, 2004.
29. Pedersen F.H. Interferometer for High Precision Orbit Determination. / Pedersen F.H. // Proceedings of DASIA 2003 (ESA SP-532). 2-6 June 2003, Prague, Czech Republic. Editor: R.A. Harris. Published on CDROM. – P. 39.1-39.10.
30. Keeping Track of Geostationary Satellite – a novel and less costly approach. – Режим доступа: [http://www.esa.int/esapub/bulletin/bulletin119/bul119\\_chap8.pdf](http://www.esa.int/esapub/bulletin/bulletin119/bul119_chap8.pdf). Назва з екрану.
31. PASSIVE CORRELATION RANGING (PACORA). – Режим доступа: <https://artes.esa.int/projects/passive-correlation-ranging-pacora>. – Назва з екрану.
32. A NEW WAY TO TRACK GEOSTATIONARY ORBITING SATELLITES. – Режим доступа: <https://artes.esa.int/news/new-way-track-geostationary-orbiting-satellites>. – Назва з екрану.
33. Passive Ranging for Geostationary Satellites: On a Novel System and Operational Benefits. – Режим доступа: <http://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/6.2014-1857>. – Назва з екрану.
34. Delivery of HMAM antennas for PaCoRa project in USA at the final stage. HILTRON Communications. September 2015. Newsletter. – Режим доступа:

- <http://www.hiltron.de/media/hiltron/HiltronNewsSeptember2015.pdf>. – Назва з екрану.
35. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services. European Standard (Telecommunications series). EN 300 421 V1.1.2 (1997-08). European Telecommunications Standards Institute. – 1997. – 24 p.
36. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2). European Standard (Telecommunications series). ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08). European Telecommunications Standards Institute. – 2009. – 78 p.
37. Витерби Э.Д. Принципы когерентной связи. М.: Советское радио. – 1970. – 392 с.
38. Прокис Дж. Цифровая связь. М.: Радио и связь. – 2000. – 800 с.
39. Johnson C. Richard, Jr., Sethares William A., Klein Andrew G. Software Receiver Design. Build Your Own Digital Communications System in Five Easy Steps. Cambridge: Cambridge University Press. – 2011. – 465 p.
40. Fischer W. Digital Video and Audio Broadcasting Technology. A Practical Engineering Guide. Second Edition. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. – 2008. – 580 p.
41. DVB-S2 Joshua Kline ECEN 4242 - Communication Standards Survey. – Режим доступу: [http://ecee.colorado.edu/~liue/teaching/comm\\_standards/2010F\\_dvb-s2/index.html](http://ecee.colorado.edu/~liue/teaching/comm_standards/2010F_dvb-s2/index.html). – Назва з екрану.
42. Пасивний кореляційний спосіб визначення положення космічного апарата / Калюжний М.П., Шульга О.В., Бушуєв Ф.І. // Заява про видачу патенту України на корисну модель UA04-ІК/567. Державна служба інтелектуальної власності Український інститут інтелектуальної власності. 23.03.2017.

43. Marple S.L., Jr. Estimating Group Delay and Phase Delay via Direct-Time “Analytic” Cross-Correlation. / Marple S.L., Jr. // IEEE Transaction on Signal Processing. – 1999. – V. 47. – No. 9. – P. 2604-2607.
44. Cabot Richard A Note on the Application of the Hilbert Transform to Time Delay Estimation. / Cabot Richard // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 1981. – V. 29. – No. 3. – P. 607-609.
45. Hilbert transform. – Режим доступу: <http://encyclopedia.thefreedictionary.com/Hilbert+transform>. – Назва з екрану.
46. Бушуев Ф.И. Определение дальности до телекоммуникационных геостационарных спутников с использованием сигналов спутникового телевидения/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сливинский А.П., Шульга А.В. // Радиофизика и радиоастрономия. – 2012. – Т.17, №3. – С. 282–290.
47. Vandenberg N. International VLBI Service for Geodesy and Astrometry: 1999 Annual Report. NASA/TP-1999-209243. 309 p.. – Режим доступу: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20000011312.pdf>. – Назва з екрану.
48. Plank Lucia. VLBI satellite tracking for the realization of frame ties. Dissertation for the purpose of obtaining the academic degree of a doctor of the technical sciences. Submitted to the Faculty of Mathematics and Geoinformation at the Technical University of Vienna. 2013. 158 p.. – Режим доступу: [https://geo.tuwien.ac.at/fileadmin/editors/GM/GM95\\_plank.pdf](https://geo.tuwien.ac.at/fileadmin/editors/GM/GM95_plank.pdf). – Назва з екрану.
49. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М.: Связь. –1972. – 336 с.
50. Гофманн-Велленгоф Б., Ліхтенеггер Г., Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): теорія і практика. Пер. з англ. третього вид. під ред. Я.С. Яцківа. – Київ: Наукова думка. – 1995. – 380 с.
51. Бушуев Ф.И. Метод и первые результаты определения разности наклонных дальностей до ТК ГСС/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сибирякова Е.С.,



- Шульга А.В.// Радиофизика и радиоастрономия. – 2015. – Т. 20, №3. – С. 238–246.
52. Бушуев Ф.И. Радиотехнический комплекс для определения координат телекоммуникационного геостационарного спутника/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сибирякова Е.С., Шульга А.В., Москаленко С.С., Балагура О.А., Кулишенко В.Ф.// Космічна наука і технологія. – 2016. – Т. 22, №3. – С. 50–59.
53. Tsui James Bao-Yen. Fundamentals of Global Positioning System Receivers. A Software Approach. Wiley-Interscience. – 2005. – 352 p.
54. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь. – 1993. – 416 с.
55. Multilateration. – Режим доступа: <http://encyclopedia.thefreedictionary.com/multilateration>. – Назва з екрану.
56. IERS Technical Note 36: 1. General definitions and numerical standards. Date 16 Dec 2010.. – Режим доступа: [https://www.iers.org/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Publications/tn/TechnNote36/tn36\\_015.html](https://www.iers.org/SharedDocs/Publikationen/EN/IERS/Publications/tn/TechnNote36/tn36_015.html). – Назва з екрану.
57. Marquardt D.W. An algorithm for least-squares estimations of nonlinear parameters. / Marquardt D.W. // Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics. – 1963. – V. 11. – No. 2. – P. 431–441.
58. Least-squares fitting in Python. – Режим доступа: [https://python4mpia.github.io/fitting\\_data/least-squares-fitting.html](https://python4mpia.github.io/fitting_data/least-squares-fitting.html). – Назва з екрану.
59. Class TLEPropagator. – Режим доступа: <https://www.orekit.org/static/apidocs/org/orekit/propagation/analytical/tle/TLEPropagator.html>. – Назва з екрану.
60. Hoots, Felix R.; Ronald L. Roehrich (31 December 1988). "Models for Propagation of NORAD Element Sets". United States Department of Defense Spacetrack Report (3). Retrieved 16 June 2010.

61. Class NumericalPropagator. – Режим доступу: <https://www.orekit.org/static/apidocs/org/orekit/propagation/numerical/NumericalPropagator.html>. – Назва з екрану.
62. Standish E.M. JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405. JPL Interoffice Memorandum 312.F-98-048. 1998.. – Режим доступу: <ftp://ssd.jpl.nasa.gov/pub/eph/planets/ioms/de405.iom.pdf>. – Назва з екрану.
63. Holmes S. A. A unified approach to the Clenshaw summation and the recursive computation of very high degree and order normalised associated Legendre functions. / Holmes S. A., Featherstone W. E. // Journal of Geodesy. 2002, Volume 76, Issue 5, pp 279–299.
64. org.orekit.forces.radiation. Class SolarRadiationPressure. – Режим доступу: <https://www.orekit.org/static/apidocs/org/orekit/forces/radiation/SolarRadiationPressure.html#SolarRadiationPressure-org.orekit.utils.PVCoordinatesProvider-double-org.orekit.forces.radiation.RadiationSensitive->. – Назва з екрану.
65. Shakun L.S. The precision orbit determination of geostationary satellite «Eutelsat 13B» by using observations of the signal's time difference of arrival. // The Abstract Book of the 16-th Odessa International Astronomical Gamow Conference-School “Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Cosmomicrophysics, Radio-astronomy and Astrobiology”. Odesa, Ukraine, 2016. — P. 45.
66. org.orekit.frames Class LocalOrbitalFrame. – Режим доступу: <https://www.orekit.org/static/apidocs/org/orekit/frames/LocalOrbitalFrame.htm>. – Назва з екрану.
67. Orekit Wiki Frames. – Режим доступу: <https://www.orekit.org/forgue/projects/orekit/wiki/FramesTutorial>. – Назва з екрану.
68. Trimble ThunderBolt E GPS Disciplined Clock. User Guide.. – Режим доступу: <http://www.trimble.com>. – Назва з екрану.

69. Resolution T. System Designer Reference Manual. Copyright 2005 Trimble Navigation, Inc. 2005. 138 p. – Режим доступу: <http://www.trimble.com>. – Назва з екрану.
70. Sourceforge Internet Speed Test.. – Режим доступу: <https://sourceforge.net/speedtest/>. – Назва з екрану.
71. FileZilla. The free FTP solution. – Режим доступу: <https://filezilla-project.org/>. – Назва з екрану.
72. Construction of a digital-TV receiver for the second-generation satellite broadcasting, DVB-S2. Anders Jonasson, Nedim Ramiz. 2006-07-20. – Режим доступу: <portal.org/smash/get/diva2:645450/FULLTEXT01.pdf>. – Назва з екрану.
73. ESA. Telecommunications & Integrated Applications. Satellite Frequency Bands. – Режим доступу: [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Telecommunications\\_Integrated\\_Applications/Satellite\\_frequency\\_bands](http://www.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_frequency_bands). – Назва з екрану.
74. SatCure Satellite & Digital TV. LNB mysteries explained - Part 1.. – Режим доступу: <http://www.satcure.co.uk/tech/lnb.htm#universal>. – Назва з екрану.
75. SatCritics Technicals. Understanding lnb specifications. – Режим доступу: [http://www.satcritics.com/sc\\_tech\\_lnb.pdf](http://www.satcritics.com/sc_tech_lnb.pdf). – Назва з екрану.
76. Electronic Components Datasheet Search STV0299B Datasheet (PDF) - STMicroelectronics. – Режим доступу: Available at <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/24828/STMICROELECTRONICS/STV0299B.html>. – Назва з екрану.
77. На что согдится плата SkyStar?. – Режим доступу: <http://www.radioscanner.ru/forum/topic13615-2.html>. – Назва з екрану.
78. Калюжний М.П. «Синхронізація по GPS користувальницьких програм та часу персонального комп'ютера під управлінням ОС Windows (SYNNAO)»/ Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №47746, від 11.02.2013.

- 79.A Trimble Standard Interface Protocol. – Режим доступу: <ftp://ftp.trimble.com/pub/sct/timing/palisade/pal-appa.pdf>. – Назва з екрану.
- 80.Hantek. Build First-class Products, First-class Brand. DSO5200A. 200MHz bandwidth, 50G sampling. – Режим доступу: [http://www.hantek.com/en/ProductDetail\\_124.html](http://www.hantek.com/en/ProductDetail_124.html). – Назва з екрану.
- 81.Trimble. Time & Frequency. Resolution T® GPS Timing Receiver. – Режим доступу: Available at <http://www.trimble.com/timing/resolution-t.aspx>. – Назва з екрану.
- 82.CODE PROJECT. LiteZip and LiteUnzip. Jeff Glatt, 7 Aug 2008. – Режим доступу: <https://www.codeproject.com/Articles/13370/LiteZip-and-LiteUnzip>. – Назва з екрану.
- 83.AnyDesk. – Режим доступу: <https://anydesk.com/remote-desktop>. – Назва з екрану.
- 84.Калюжний М.П. «Визначення відносної затримки сигналу по функції взаємної кореляції (DELNAO)». Авторське свідоцтво на програмний продукт/ Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №53285, від 24.01.2014.
- 85.Basic Description of the Two Line Element (TLE) Format. – Режим доступу: <https://www.space-track.org/documentation#/tle>. – Назва з екрану.
- 86.Bushuev F.I. Using signals of satellite television to determine the distance to telecommunications geostationary satellites/ Kalyuzhny N.A, Shulga A.V., Slivinsky A.P.// The Abstract Book of the International Conference “Astronomical Research: From Near-Earth Space to the Galaxy”. Mykolaiv, Ukraine, 2011. — P. 13-14.
- 87.Бушуев Ф.И. Контроль вариаций дальности телекоммуникационных геостационарных спутников по базисным наблюдениям станций приема спутникового телевидения/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Шульга А.В., Сливинский А.П.// Тезисы докладов на IV Международном

- специализированном симпозиуме «Космос и глобальная безопасность человечества». Евпатория, 2012. — С. 86-87.
88. Bushuev F.I. Interferometer for observation of geostationary telecommunication satellite/ Bushuev F.I., Kalyuzhny N.A., Shulga A.V., Kozyrev Ye.S.// Proceedings of the International conference «International meeting on variable stars research Kolos 2012». – Режим доступ: [http://www.astrokolonica.sk/uploads/files/kozyrev\\_interferometer.pdf](http://www.astrokolonica.sk/uploads/files/kozyrev_interferometer.pdf). – Назва з екрану.
89. Satbeams. Eutelsat Hot Bird 13C. – Режим доступу: <http://www.satbeams.com/satellites?norad=33459>. – Назва з екрану.
90. Бушуев Ф.И. Перспективы непрерывного контроля положения ТК ГСС методом базисного приема сигналов спутникового телевидения/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сибирякова Е.С., Халолей М.И., Шульга А.В.// Тези докладів конференції «Щорічна робоча нарада Української мережі лазерної локації та української мережі оптичних станцій (УМОС)». Миколаїв, 2013. — С. 14-15.
91. EUTELSAT 25B/Es'hail 1 satellite fired up at 25.5° East. – Режим доступу: <http://www.eutelsat.com/files/contributed/news/press/en/2013/PR8713-E25B-OSD.pdf>. – Назва з екрану.
92. Bushuev F. Results of the ongoing monitoring of the position of a geostationary telecommunication satellite by the method of spatially separated basis receiving of digital satellite television signals/ Bushuev F., Kaliuzhnyi M., Sybiryakova Ye., Shulga O., Moskalenko S., Balagura O., Kulishenko V.// Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2016. – V. 53. – No. 5. – P. 5–16.
93. Kaliuzhnyi M. International network of passive correlation ranging for orbit determination of a geostationary satellite/ Kaliuzhnyi M., Bushuev F., Shulga O., Sybiryakova Ye., Shakun L., Bezrukovs V., Moskalenko S., Kulishenko V., Malynovskyi Ye.// Odessa Astronomical Publications. – 2016. – V. 29. – P. 203–206.
94. Bushuev F. Results of the continuous monitoring of the position of a geostationary telecommunication satellite by the method of spatially separated receiving signals

- of digital satellite television/ Bushuev F., Kaliuzhnyi M., Shulga O.// The Abstract Book of the 4th International Scientific Conference “Baltic Applied Astrominformatics and Space Data Processing (BAASP)”. Ventspils, Latvia, 2015. — P. 15-16.
- 95.Бушуєв Ф.І. Визначення координат телекомунікаційних геостационарних супутників методом радіоінтерферометрії сигналів цифрового супутникового телебачення/ Бушуєв Ф.І., Калюжний М.П., Сибірякова Є.С., Шульга О.В., Москаленко С.С., Балагура О.А., Кулішенко В.Ф.// Тези доповідей конференції «15-а Українська конференція з космічних досліджень». Одеса, 2015. — С. 161.
- 96.Shakun L. Passive correlation ranging of a geostaionary satellite using DVB-S payload signals/ Shakun L., Bushuev F., Kaliuzhnyi M, Shulga O., Sybiryakova Ye., Bezrukovs V., Moskalenko S., Kulishenko V., Balagura O.// The Abstract Book of the 16-th Odessa International Astronomical Gamow Conference-School “Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Cosmomicrophysics, Radio-astronomy and Astrobiology”. Odesa, Ukraine, 2016. — P. 45.
- 97.Kaliuzhnyi M.P. Monitoring of the orbital position of geostationary satellite by the spatially separated reception of signals of digital satellite television/ Kaliuzhnyi M.P., Bushuev F.I., Sybiryakova Y.S., Shulga O.V., Shakun L.S., Bezrukovs V., Kulishenko V.F., Moskalenko S.S., Malynovskyi Ye.V., Balagura O.A.// The Abstract Book of the International Conference “Actual Questions of Ground-Based Observational Astronomy”. Mykolaiv, Ukraine, 2016. — P. 14-15.
- 98.GPS10RBN: 10 MHz, GPS Disciplined, Rubidium Frequency Standard.. – Режим доступу: <http://www.ptsyst.com/GPS10R-B.pdf>. – Назва з екрану.

## ДОДАТОК А

## Програма оцінки TDOA

## A.1 Файл “main” corr2fileszip\_Few24h\_parallel.py

```

"""
Compute the real function Asin(dPh) from Inphase and Quadrature (IQ) signals,
where  $A = \sqrt{I^2+Q^2}$ ,  $dPh = \arctan(I(i);Q(i))-\arctan(I(i-1);Q(i-1))$ ,
i - index of complex IQ-samples.
"""
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
import datetime as dt
import math
import os
import scipy.optimize as spo
import multiprocessing as mp
# Regular expression operations:
import re

# my own routines:
from readIniParameters import ReadIniParameters
from stations import Stations
from tdoa import TDOA_XYZ

speed_of_light_mPERs = 299792458.0
current_process_id = mp.current_process().pid
sample_rate_ratio = 0.97655
mCround = 1.0
dt_microsec = 100000

# -----

def write2log(mes):
    if mp.current_process().pid!=current_process_id:
        return
    now_moment = dt.datetime.now().timetuple()
    log_file_name = str(now_moment[0]) + "_" + str(now_moment[1]).zfill(2) + "_" + \
        str(now_moment[2]).zfill(2)+".log"
    # print('log:',now_moment)
    # print('log:',LogFileName)
    if os.path.isfile(log_file_name):
        log_file = open(log_file_name,"a")
        log_file.write(mes)
        log_file.close()
    else:
        log_file = open(log_file_name,"w")
        log_file.write(mes)
        log_file.close()

```

```

print(mes[:-1])

# -----

def write2txt(f_name,mes):
    now_moment = dt.datetime.now().timetuple()
    log_file_name = f_name + ".txt"
    message = mes + "\n"
    # print('log:',now_moment)
    # print('log:',LogFileName)
    if os.path.isfile(log_file_name):
        log_file = open(log_file_name,"a")
        log_file.write(message)
        log_file.close()
    else:
        log_file = open(log_file_name,"w")
        log_file.write(message)
        log_file.close()
    signMes = False
    if signMes:
        print(mes)

# -----

def initialize(ri):

    tNow = dt.datetime.now()
    sM = format("Start: %s" % tNow)
    sM = sM + "\n"
    write2log(sM)

    sM = format('Speed of light: %.11f m/s' % (speed_of_light_mPERs))
    sM = sM + "\n"
    write2log(sM)

    # sample_rate_ratio = 0.97655
    sM = format('Sample rate ratio: %.71f' % (sample_rate_ratio))
    sM = sM + "\n"
    write2log(sM)

    # mCround = 0.1
    mCroundFormat = "Rounding coefficient for complex samples: %.31f"
    sM = format(mCroundFormat % (mCround))
    sM = sM + "\n"
    write2log(sM)

    sM = format("Multiple Coefficient of Sample Rate: %d" % (ri.sr_mul_coef))
    sM = sM + "\n"
    write2log(sM)

    sM = format("Sample Size: %d" % (ri.Nsample))

```



```

sM = sM + "\n"
write2log(sM)
# Calculate the size of FFT:
n_fft = 2
while n_fft < ri.Nsample:
    n_fft = n_fft * 2
sM = format("FFT size: %d" % (n_fft))
sM = sM + "\n"
write2log(sM)

sM = format("Sample size of correlator: %d" % (ri.corr_size))
sM = sM + "\n"
write2log(sM)
sM = format("Offset of correlator sample: %d" % (ri.offset_min))
sM = sM + "\n"
write2log(sM)

sM = format("Start computation:")
sM = sM + "\n"
write2log(sM)
for n in range(ri.Nprocesses):
    sM = format("%d: %s" % (n, ri.dAtStart[n]))
    sM = sM + "\n"
    write2log(sM)
sM = format("Stop computation:")
sM = sM + "\n"
write2log(sM)
sM = format("%s" % (ri.dAtStop))
sM = sM + "\n"
write2log(sM)

sM = format("TDOA ROOT DIRECTORY:")
sM = sM + "\n"
write2log(sM)
sM = format("%s" % (ri.tdoa_root))
sM = sM + "\n"
write2log(sM)

# dt_microsec = 100000
st = Stations(dt_microsec, ri.dAtStop, mCround, ri.Nsample, n_fft, ri.corr_size, ri.offset_min)
# Save list of the processing stations:
sM = format('Stations:')
sM = sM + "\n"
write2log(sM)
for i in range(ri.Nstations):
    sM = format('%d. %d %s %s' % (i, ri.st_indexes[i], st.names[ri.st_indexes[i]], ri.st_roots[i]))
    sM = sM + "\n"
    write2log(sM)

if ri.specified_st_index < 0 or ri.specified_st_index >= len(st.names):
    sM = format('Specified station is not set (%d)' % ri.specified_st_index)
    ri.specified_st_index = -1

```

```

    sM = sM + "\n"
    write2log(sM)
else:
    sM = format('Specified station is %s' % st.names[ri.specified_st_index])
    sM = sM + "\n"
    write2log(sM)

return n_fft

# -----

def init_tdoa(start,n,dAt,ri,dt_microsec,speed_of_light_mPERs,\
             sample_rate_ratio,mCround,nFFT):
    one_day = dt.timedelta(days=1)
    one_second = dt.timedelta(seconds=1)
    if start:
        t_next = dt.datetime(dAt.year,dAt.month,dAt.day,0,0,0,0) + one_day
    else:
        t_next = dAt + one_day
    t_stop = t_next - one_second
    if t_stop>ri.dAtStop:
        t_stop = ri.dAtStop
# Debug:
# tDstop = dAt + dt.time
# print("N=",n,dAt,t_stop,tDstop)
# print("N=",n,dAt,t_stop)
# print("N=",n,dAt,t_stop)
tdoa = TDOA_XYZ(n,dAt,one_second,t_stop,\
               dt_microsec,speed_of_light_mPERs,sample_rate_ratio,ri.sr_mul_coef,mCround,\
               ri.Nstations,ri.st_indexes,ri.st_roots,\
               ri.Nsample, ri.corr_size, ri.offset_min,nFFT,ri.tdoa_root,ri.specified_st_index)
return (t_next,tdoa)

# -----

def init_processes(dAt,ri,dt_microsec,speed_of_light_mPERs,\
                  sample_rate_ratio,mCround,nFFT):
    pA = []
    readers = []
    for n in range(ri.Nprocesses):

        r, w = mp.Pipe(duplex=False)
        readers.append(r)

        dAt = ri.dAtStart[n]
        (t_next,tdoa)=init_tdoa(True,n,dAt,ri,dt_microsec,speed_of_light_mPERs,\
                               sample_rate_ratio,mCround,nFFT)

#     lock = mp.Lock()
#     p = mp.Process(target=f, args=(lock,dAt))
#     p= mp.Process(target=tdoa.est_tdoa_for_given_24h,args=(w,))
#     p= mp.Process(target=tdoa.est_tdoa_for_given_24h)

```

```

    p.daemon = True
    pA.append(p)
    p.start()
    w.close()

    dAt = t_next
    if dAt>ri.dAtStop:
        break
    return (dAt,pA,readers)

# -----

def init_process(n,dAt,ri,dt_microsec,speed_of_light_mPERs,\
                sample_rate_ratio,mCround,nFFT):

    r, w = mp.Pipe(duplex=False)

    (t_next,tdoa)=init_tdoa(False,n,dAt,ri,dt_microsec,speed_of_light_mPERs,\
                            sample_rate_ratio,mCround,nFFT)

    p= mp.Process(target=tdoa.est_tdoa_for_given_24h,args=(w,))
    p.daemon = True
    p.start()
    w.close()

    dAt = t_next
    return (dAt,p,r)

# -----

if __name__ == '__main__':

    ri = ReadIniParameters("corr2fileszip_Few24h_parallel.ini")

    if len(ri.ErrMsg)>0:
        sM = ri.ErrMsg
        sM = sM + "\n"
        write2log(sM)
        exit(1)

    nFFT=initialize(ri)

    print(speed_of_light_mPERs,current_process_id,sample_rate_ratio,mCround,\
          nFFT,dt_microsec)
    # exit(0)

# Debug:
    print('Start multi processing:',dt.datetime.now())
    (dAt,pA,readers) = init_processes(ri.dAtStart[0],ri,dt_microsec,speed_of_light_mPERs,\
                                     sample_rate_ratio,mCround,nFFT)

    while readers:

```



```

        [ 6.0, 19.9, -8.4, -3.7, 0.0, -3.7],\
        [ 9.7, 23.6, -4.7, 0.0, 3.7, 0.0]]]
# the beginnings of the time intervals of the valid values of the hardware delays:
t_hw_delays = [dt.datetime(2014,12,3,12,35,31)]
# and the number of sets of hardware delays:
hw_num_delays = 1

# Tracking Space Vehicles (SV):
sv_number = 1
sv_names = ['Eutelsat-13B']
sv_xyz_WGS84_m = [[41291988.0941676, 9533006.59927876, 0.0]]

# Receiving transponders:
transponders = ['DVB-S-13E11541V22000']

# Method which created a new instance of this class:
def __init__(self,microsec,dAtStop,mCround,Nsample,nFFT,corr_size,offset_min):
    self.sv_off = 0
    self.c2dt = Comparing2DateTime(microsec)
    self.t_stop = dAtStop
# Data processing parameters:
self.mCround = mCround
self.Nsample = Nsample
self.nFFT = nFFT
self.corr_size = corr_size
self.offset_min = offset_min
self.zc = getZipContents(mCround,Nsample,nFFT,corr_size,offset_min)
# List of of zip-files in the current folder:
N = len(Stations.names)
self.day_last = [dt.date(1900,1,1) for i in range(N)]
self.zip_list = ["" for i in range(N)]
self.zip_dAt = [] for i in range(N)]
# Indexes of zip-archives in the current folder for each stations:
self.zip_index = [0 for i in range(N)]
# Current zip-file contents:
self.n_err = [0 for i in range(N)]
self.tContents = [] for i in range(N)]
self.aContents = [] for i in range(N)]
self.n_space_vehicles = [] for i in range(N)]
self.pps_delay_us = [] for i in range(N)]
self.sr_Hz = [] for i in range(N)]
self.mean = [] for i in range(N)]
self.sd = [] for i in range(N)]
self.round = [] for i in range(N)]
# Indexes of txt-files with data contents in the current zip-archive for each stations:
self.txt_index = [0 for i in range(N)]
self.start = [True for i in range(N)]

# Methods:
# -----

def filefinder(self,topdir,ext):

```

```

    fn = []
    for root, dirs, files in os.walk(topdir):
# Debug:
#     print("ff 1:",files)
        for name in files:
# Debug:
#     print("ff 2:",name)
            if name[-len(ext):].lower() == ext.lower():
                fn.append(os.path.join(root, name))
#     print(topdir)
#     print(fn)
    list.sort(fn)
    return fn

# -----

def get_datetime_from_filename(fname):

    tmp = fname.split('_')
    sbd = tmp[0]
    l = len(sbd)
    sbd = sbd[(l-8):l]
    Y = int(sbd[0:4])
    M = int(sbd[4:6])
    D = int(sbd[6:8])
    sdt = tmp[1]
    h = int(sdt[0:2])
    mi = int(sdt[2:4])
    se = int(sdt[4:6])
    t = dt.datetime(Y,M,D,h,mi,se)
    return t

# -----
# Find the list of daily zip-archives for given time:
def get_list(self,I,root,dAt):
    path = format('%s%s\\%4d\\%4d%02d%s-%s\\%4d%02d%02d%s-%s\\' %\
        (root,\
        Stations.names[I],dAt.year,\
        dAt.year,dAt.month,Stations.transponders[self.sv_off],Stations.aliases[I],\
        dAt.year,dAt.month,dAt.day,Stations.transponders[self.sv_off],Stations.aliases[I]))
    flist = Stations.filefinder(self,path,"zip")
# Debug:
#     print(flist)
    z_dAt = []
    for name in flist:
        fname = os.path.split(os.path.splitext(name)[0])[1]

```

### A.3 Файл tdoa.py

```

# Calculating Time Difference Of Arrival (TDOA) and XYZ using three range-differences
# for given time interval

```

```

import numpy as np
import datetime as dt
import math
import os
import multiprocessing as mp

from comparing2datetime import Comparing2DateTime
from convolution import Convolution
from stations import Stations
from xyz import XYZ

class TDOA_XYZ:

# Variables common for all instances of a this class:

# Method which creates a new instance of this class:
def __init__(self,proc_index,dAtStart,dAtStep,dAtStop,\
             dt_microsec,speed_of_light_mPERs,sample_rate_ratio,sr_mul_coef,mCround,\
             Nstations,st_indexes,st_roots,\
             Nsample,corr_size,offset_min,nFFT,tdoa_root,\
             specified_st_index):

    self.proc_index = proc_index
    self.t_start = dAtStart
    self.t_step = dAtStep
    self.t_stop = dAtStop
    self.speed_of_light_mPERs = speed_of_light_mPERs
    self.sample_rate_ratio = sample_rate_ratio
    self.sr_mul_coef = sr_mul_coef
    self.mCround = mCround
    self.Nstations = Nstations
    self.st_indexes = np.array(st_indexes)
    self.st_roots = np.array(st_roots)
    self.tdoa_root = tdoa_root
    self.specified_st_index = specified_st_index
    self.conv = Convolution(sr_mul_coef, Nsample, corr_size, offset_min)
    self.st = Stations(dt_microsec,dAtStop,mCround,Nsample,nFFT,corr_size,offset_min)
    self.c2dt = Comparing2DateTime(dt_microsec)
    self.est_xyz = XYZ(1e-3,20,len(self.st.names),self.st.xyz_WGS84_m,\

self.st.sv_xyz_WGS84_m[0][0],self.st.sv_xyz_WGS84_m[0][1],self.st.sv_xyz_WGS84_m[0][2]
)
    self.sTDOA = [["" for i in range(self.Nstations)] for k in range(self.Nstations)]
    self.fTDOA = [["" for i in range(self.Nstations)] for k in range(self.Nstations)]
    self.start = True
    self.last_hour = -1
#           s_result = str.format('%d %s Start: %s, step= %s, end: %s' %
(self.proc_index,dt.datetime.now(),\
#           self.t_start,self.t_step,self.t_stop))
#           TDOA_XYZ.write2log(self,s_result)

```

# Methods:

```
# -----
def write2log(self,mes):
    now_moment = dt.datetime.now().timetuple()
    log_file_name = str(now_moment[0]) + "_" + str(now_moment[1]).zfill(2) + "_" + \
        str(now_moment[2]).zfill(2) + str.format('_P%02d' % (self.proc_index)) + ".log"
    message = mes + "\n"
# print('log:',now_moment)
# print('log:',LogFileName)
    if os.path.isfile(log_file_name):
        log_file = open(log_file_name,"a")
        log_file.write(message)
        log_file.close()
    else:
        log_file = open(log_file_name,"w")
        log_file.write(message)
        log_file.close()
    signPrint = False
    if signPrint:
        print(mes)
```

```
# -----
def write2txt(self,f_name,mes):
    now_moment = dt.datetime.now().timetuple()
    log_file_name = f_name + ".txt"
    message = mes + "\n"
# print('log:',now_moment)
# print('log:',LogFileName)
    d = os.path.dirname(log_file_name)
    if len(d)>0 and (not os.path.exists(d)):
        os.makedirs(d)
    if os.path.isfile(log_file_name):
        log_file = open(log_file_name,"a")
        log_file.write(message)
        log_file.close()
    else:
        log_file = open(log_file_name,"w")
        log_file.write(message)
        log_file.close()
    signPrint = False
    if signPrint:
        print(mes)
```

```
# -----
# Estimating Time Difference Of Arrival (TDOA):
def est_tdoa(self,dAt):
```

```
    bSpc = [[] for n in range(self.Nstations-1)]
```



```

bSign = [[] for n in range(self.Nstations-1)]
Spc = [[] for n in range(self.Nstations-1)]
Sign = [[] for n in range(self.Nstations-1)]
Range_m = [[0.0 for i in range(self.Nstations)] for k in range(self.Nstations)]
bRange = [[False for i in range(self.Nstations)] for k in range(self.Nstations)]
self.sTDOA = ["" for i in range(self.Nstations)] for k in range(self.Nstations)]
self.fTDOA = ["" for i in range(self.Nstations)] for k in range(self.Nstations)]
# print('1',dt.datetime.now())
for nB in range(self.Nstations-1):
    (bSign[nB],bSpc[nB]) = self.st.get_base_fft(self.st_indexes[nB],self.st_roots[nB],dAt)
    if self.last_hour!=int(dAt.hour):
        s_result = str.format('B%d %s %s' % (self.proc_index,dt.datetime.now(),dAt)) +
str(bSign)
        TDOA_XYZ.write2log(self,s_result)
    for n in range(1,self.Nstations):
        (Sign[n-1],Spc[n-1]) = self.st.get_fft(self.st_indexes[n],self.st_roots[n],dAt)
        if self.last_hour!=int(dAt.hour):

```

#### A.4 Файл gssFilesZipContents.py

```

"""
Getting from zip-archive the contents of txt-file with initial DVB-S signal
(complex) or transformed into real signal: A*sin(Phase-LastPhase)
"""
import numpy as np
import datetime as dt
import math
import os
import zipfile
# Regular expression operations:
import re
from comparing2datetime import Comparing2DateTime

class getZipContents:

# Variables common for all instances of a this class:
# deltaX = 0

# Method which created a new instance of this class:
def __init__(self,mCround,Nsample,nFFT,corr_size,offset_min):
# getZipContents.deltaX = delta_x
self.mCround = mCround
self.Nsample = Nsample
self.nFFT = nFFT
self.corr_size = corr_size
self.offset_min = offset_min
self.c2dt = Comparing2DateTime(100000)

#Methods:

# -----

```

```

def write2log(self,mes):
    now_moment = dt.datetime.now().timetuple()
    log_file_name = str(now_moment[0]) + "_" + str(now_moment[1]).zfill(2) + "_" + \
        str(now_moment[2]).zfill(2) + "_zip.log"
    message = mes + "\n"
# print('log:',now_moment)
# print('log:',LogFileName)
    if os.path.isfile(log_file_name):
        log_file = open(log_file_name,"a")
        log_file.write(message)
        log_file.close()
    else:
        log_file = open(log_file_name,"w")
        log_file.write(message)
        log_file.close()
    signPrint = False
    if signPrint:
        print(mes)

# -----
# Make spectrum of the given part of the sample with size equal corr_size:
def GetBaseFFTContents(self,dAt,aT,mAround,contents):

#     deltaX = dt.timedelta(microseconds=100000)
#     aNorm = []
#     index = 0
#     sign = False
#     print(dAt)
#     for i in range(len(aT)):
# Debug:
#         print(i,aT[i])
#         if self.c2dt.compare(dAt,aT[i])==0:
#             sign=True
#             break
#         if dAt<aT[i]:
#             break
#         index = index + 1

if sign and index<len(aT):
    cont = contents[index].split()
    m_round = mAround[index]
    corr_size = self.corr_size
    if corr_size>=len(cont):
        corr_size=len(cont)/2
    offset_min = self.offset_min
    if offset_min<0:
        offset_min=0
    for n in range(self.nFFT):
        off = offset_min + n
        if off < len(cont) and n<corr_size:
            a = complex(float(cont[off])*m_round,0.0)
            aNorm.append(a)

```

```

        else:
            a = complex(0.0,0.0)
            aNorm.append(a)
#         aNorm = np.array(aNorm)
        S = np.fft.fft(aNorm)
    else:
        S = []

    return (sign,S,index)

# -----

def GetFFTCContents(self,dAt,aT,mAround,contents):
#     deltaX = dt.timedelta(microseconds=100000)
    aNorm = []
    index = 0
    sign =False
    for i in range(len(aT)):
        if self.c2dt.compare(dAt,aT[i])==0:
            sign=True
            break
        if dAt<aT[i]:
            break
        index = index + 1

# Debug:
#     print('in:',dt.datetime.now(),dAt,index,len(aT),sign)
    if sign and index<len(aT):
        cont = contents[index].split()
        m_round = mAround[index]
        for n in range(self.nFFT):
            if n < len(cont):
                a = complex(float(cont[n])*m_round,0.0)
                aNorm.append(a)
            else:
                a = complex(0.0,0.0)
                aNorm.append(a)
#         aNorm = np.array(aNorm)
        S = np.fft.fft(aNorm)
    else:
        S = []

# Debug:
#     print('out:',dt.datetime.now(),dAt,index,len(aT),sign)
    return (sign,S,index)

# -----

def Get2FFTCContents(self,dAt,aT,mAround,contents):
#     deltaX = dt.timedelta(microseconds=100000)
    aNorm = []
    aBNorm = []
    index = 0

```

```

sign =False
for i in range(len(aT)):
    if self.c2dt.compare(dAt,aT[i])==0:
        sign=True
        break
    if dAt<aT[i]:
        break
    index = index + 1

if sign and index<len(aT):
    cont = contents[index].split()
    m_round = mAround[index]
    corr_size = self.corr_size
    if corr_size>=len(cont):
        corr_size=len(cont)/2
    offset_min = self.offset_min
    if offset_min<0:
        offset_min=0
    for n in range(self.nFFT):
        if n < len(cont):
            a = complex(float(cont[n])*m_round,0.0)
            aNorm.append(a)
        else:
            a = complex(0.0,0.0)
            aNorm.append(a)
        off = offset_min + n
        if off < len(cont) and n<corr_size:
            a = complex(float(cont[off])*m_round,0.0)
            aBNorm.append(a)
        else:
            a = complex(0.0,0.0)
            aBNorm.append(a)
    # aNorm = np.array(aNorm)
    S = np.fft.fft(aNorm)
    # aBNorm = np.array(aBNorm)
    bS = np.fft.fft(aBNorm)
    else:
        S = []
        bS = []

    return (sign,S,bS,index)

# -----

def GetComplexContents(self,contents):

# Structure of 'contents' (the txt-file) in lines:
# 0 - Name of Oscilloscope, GPS information, PPS-delay
# 1 - Name of Oscilloscope
# 2 - size of sample (Ns), sample rate
# 3 - size of sample (Ns)
# 4 - the first values of I and Q

```

```

# ...
# Nsample+3 - the last values of I and Q.

# Here contents has a binary type:
iq = re.split("\r\n",contents.decode('ascii'),maxsplit=0)
#   print(iq[0])
#   print(iq[1])
e = str(iq[0])
el = e.split('_')
l = len(el)
nSV = int(float(el[l-4]))    # Number of GPS Space Vehicles
pps_delay = int(el[l-1])
fiLast = 0
me = 0 # me - average value (mean)
ds = 0 # ds - dispersion
n = 0
Are = []
for i in range(len(iq)):
    if i>1 and i!=3:
        if i<4:
            if i==2:
                e = str(iq[i])
                el = e.split()
                if len(el)!=5:
                    continue
                Ns = int(el[0])
                sr = float(el[4])
#                 print('3.1',len(e),e,el)
#                 print('3.2',Ns, sr)
            else:
# Debug:
#         print(iq[i])
            if len(iq[i])==0:
                continue
            iq0 = iq[i].split()
            if len(iq0)!=2:
                continue
            aIn = float(iq0[0])
            aQu = float(iq0[1])
            if aIn==0 and aQu==0:
                fi = 0
                A = 0
            else:
                A = math.sqrt(aIn*aIn + aQu*aQu)
                fi = math.atan2(aQu,aIn)
                Ar = A*math.sin(fi - fiLast)
            if i>4:
                Are.append(float(Ar))
# Calculate mean (me) and dispersion ds):
            n = n + 1
            D = Ar - me
            me = me + D/float(n)

```

```

        if n<=2:
            ds = D*D/float(n)
        else:
            ds = ds*float(n-2)/float(n-1) + D*D/float(n)
        fiLast = fi

# Debug:
#     print('i=',i)
#     Are = np.array(Are)
real_contents = ""
if i==(self.Nsample+4) and Ns==self.Nsample and (len(Are)+1)==self.Nsample:
    Nerr = 0
    if ds>1e-60:
        sd = math.sqrt(ds) # sd - standard deviation
        real_contents = "0\x20" # 0 - the unknown first sample
# Rough-up the amplitude ((Are-me)/sd):
    for i in range(len(Are)):
        aR = math.floor(((Are[i] - me)/sd)/self.mCround + 0.5)
        real_contents = real_contents + format("%d\x20" % aR)
    else:
        Nerr = 1
        sM = format("Complex contents: erroneous standard deviation %f" %\
                    (ds))
        getZipContents.write2log(self,sM)
    else:
        Nerr = 1
        sM = format("Complex contents: erroneous index %d" %\
                    (i))
        getZipContents.write2log(self,sM)

# Debug:
#     el = re.split('\x20',real_contents,maxsplit=3)
#         print('%d %d %lf %5d %lf %lf %lf %d %d %d' %
(Nerr,pps_delay,sr,Ns,me,sd,mCround,int(el[0]),int(el[1]),int(el[2])))
        return (Nerr,nSV,pps_delay,sr,me,sd,self.mCround,real_contents)

# -----

def GetRealContents(self,contents):

# Structure of 'contents' (the txt-file) in lines:
# 0 - Name of Oscilloscope, GPS information, PPS-delay
# 1 - size of sample (Nsample), sample rate, mean (me), standard deviation (sd), m_round
# 2 - the first values of real_value=Anorm*sin(atan2(Q,I)-atan2(Qlast,Ilast))
# ...
# Ns+1 - the last values of real_value=Anorm*sin(atan2(Q,I)-atan2(Qlast,Ilast)).
# Here Anorm = ((sqrt(I*I + Q*Q) - me)/sd)/m_round,
# me and sd - average value and standard deviation of the amplitude (sqrt(I*I + Q*Q))

# Here contents has a binary type:
cont = contents.decode('ascii')
rv = re.split('\r\n',cont,maxsplit=2)

```

```

# print(rv[0])
# print(rv[1])
e = str(rv[0])
el = e.split('_')
l = len(el)
nSV = int(float(el[l-4])) # Number of GPS Space Vehicles
pps_delay = int(el[l-1])
e = str(rv[1])
el = e.split()
l = len(el)
Ns = int(el[0])
if l==5 and Ns==self.Nsample:
    Nerr = 0
    sr = float(el[1])
    me = float(el[2])
    sd = float(el[3])
    m_round = float(el[4])
    real_contents = re.sub('\r\n','\x20',str(rv[2]))
else:
    Nerr = 1
    sr = 0
    me = 0
    sd = 0
    m_round = 0
    real_contents = ""

    el = re.split('\x20',real_contents,maxsplit=3)
# print("%d %d %lf %5d %lf %lf %lf %d %d %d" %
(Nerr,pps_delay,sr,Ns,me,sd,m_round,int(el[0]),int(el[1]),int(el[2])))
    return (Nerr,nSV,pps_delay,sr,me,sd,m_round,real_contents)

# -----

def get_datetime_from_filename(fname):

    tmp = fname.split('_')
    sbd = tmp[0]
    l = len(sbd)
    sbd = sbd[l-8:l]
    Y = int(sbd[0:4])
    M = int(sbd[4:6])
    D = int(sbd[6:8])
    sdt = tmp[1]
    h = int(sdt[0:2])
    mi = int(sdt[2:4])
    se = int(sdt[4:6])
    t = dt.datetime(Y,M,D,h,mi,se)
    return t

# -----

def GetZipContents(self,n,zList):

```

```

#     print(n,len(zList),Nsample)
Nerr = 0
dAt = []
aContents = []
nSpaceVehicles = []
PPSDelay_us = []
sample_rate_Hz = []
r_mean = []
r_sd = []
mAround = []
if n >= len(zList):
    sM = format("Erroneous index of zip list: %d >= %d" %\
        (n,len(zList)))
    getZipContents.write2log(self,sM)
    Nerr = -1
    return (Nerr,dAt,aContents,nSpaceVehicles,PPSDelay_us,\
        sample_rate_Hz,r_mean,r_sd,mAround)

#     Fpath = os.path.splitext(zList[n])[0]
#debug:
#     arch0name = os.path.split(Fpath)[1]

# Open zip file
try:
    z = zipfile.ZipFile(zList[n], 'r')
except Exception:
    Nerr = -2
    sM = format("Zip Exception: %s" % (zList[n]))
    getZipContents.write2log(self,sM)
    return (Nerr,dAt,aContents,nSpaceVehicles,PPSDelay_us,\
        sample_rate_Hz,r_mean,r_sd,mAround)
# ZipFile.read returns the bytes contained in named file
names = z.namelist()
list.sort(names)
for name in names:
#     print(name)

    try:
        f = z.open(name)
    except Exception:
        continue

    try:
        contents = f.read()
    except Exception:
        f.close()
        continue
    f.close()

    con = contents.decode('ascii')
    iq = re.split('\r\n',con,maxsplit=0)

```



```

#     print(name,len(iq))
#     if len(iq)== self.Nsample+5:
#         (nerr,nSV,pps_delay,sr,me,sd,m_round,cont) =
getZipContents.GetComplexContents(self,contents)
#     else:
#         if len(iq)== self.Nsample+3:
#             (nerr,nSV,pps_delay,sr,me,sd,m_round,cont) =
getZipContents.GetRealContents(self,contents)
#     else:
#         Nerr = Nerr + 1
#         sM = format("Erroneous number of lines %d in %s" %\
#             (len(iq),name))
#         getZipContents.write2log(self,sM)
#         continue
#     if nerr>0:
#         Nerr = Nerr + 1
#         continue
#     t = getZipContents.get_datetime_from_filename(name)
#     print(t)
#     dAt.append(t)
#     aContents.append(cont)
#     nSpaceVehicles.append(nSV)
#     PPSDelay_us.append(pps_delay)
#     sample_rate_Hz.append(sr)
#     r_mean.append(me)
#     r_sd.append(sd)
#     mAround.append(m_round)

#     dAt = np.array(dAt)
#     aContents = np.array(aContents)
#     PPSDelay_us = np.array(PPSDelay_us)
#     sample_rate_Hz = np.array(sample_rate_Hz)
#     r_mean = np.array(r_mean)
#     r_sd = np.array(r_sd)
#     mAround = np.array(mAround)

#     print(Nerr,len(dAt),len(aContents))

return (Nerr,dAt,aContents,nSpaceVehicles,\
        PPSDelay_us,sample_rate_Hz,r_mean,r_sd,mAround)

```

## A.5 Файл readIniParameters.py

```

"""
Reading ini-file of the program
"""
import numpy as np
import configparser
import datetime as dt
import math
import os

```

```
class ReadIniParameters:
```

```
# Variables common for all instances of a this class:
```

```
# Method which created a new instance of this class:
```

```
def __init__(self,ini_name):
```

```
    self.name = ini_name
```

```
    self.Parameters = { }
```

```
    config = configparser.ConfigParser()
```

```
    config.sections()
```

```
    config.read(self.name)
```

```
    self.Parameters["Nsample"] = config.get("Parameters", "Nsample")
```

```
    self.Parameters["corr_size"] = config.get("Parameters", "corr_size")
```

```
    self.Parameters["offset_min"] = config.get("Parameters", "offset_min")
```

```
    self.Parameters["sr_mul_coef"] = config.get("Parameters", "sr_mul_coef")
```

```
    self.Parameters["tdoa_root"] = config.get("Parameters", "tdoa_root")
```

```
    self.Nsample = int(self.Parameters.get("Nsample"))
```

```
    self.corr_size = int(self.Parameters.get("corr_size"))
```

```
    self.offset_min = int(self.Parameters.get("offset_min"))
```

```
    self.sr_mul_coef = int(self.Parameters.get("sr_mul_coef"))
```

```
    if self.sr_mul_coef<=0:
```

```
        self.sr_mul_coef = 1
```

```
    self.sr_mul_coef = math.pow(2,int(math.log2(float(self.sr_mul_coef))))
```

```
    self.tdoa_root = self.Parameters.get("tdoa_root")
```

```
# Debug:
```

```
#     print('tdoa_root:',self.tdoa_root)
```

```
    self.Parameters["specified_st_index"] = config.get("Parameters", "specified_st_index")
```

```
    self.specified_st_index = int(self.Parameters.get("specified_st_index"))
```

```
    self.Parameters["Nprocesses"] = config.get("Parameters", "Nprocesses")
```

```
    self.Nprocesses = int(self.Parameters.get("Nprocesses"))
```

```
    self.dAtStart = []
```

```
    for i in range(self.Nprocesses):
```

```
        sY = format("Y%dstart" % i)
```

```
        sM = format("M%dstart" % i)
```

```
        sD = format("D%dstart" % i)
```

```
        self.Parameters[sY] = config.get("Parameters", sY)
```

```
        Y = int(self.Parameters.get(sY))
```

```
        self.Parameters[sM] = config.get("Parameters", sM)
```

```
        M = int(self.Parameters.get(sM))
```

```
        self.Parameters[sD] = config.get("Parameters", sD)
```

```
        D = int(self.Parameters.get(sD))
```

```
        sH = format("h%dStart" % i)
```

```
        sMi = format("mi%dStart" % i)
```

```
        sSe = format("se%dStart" % i)
```

```
        self.Parameters[sH] = config.get("Parameters", sH)
```

```
        h = int(self.Parameters.get(sH))
```

```
        self.Parameters[sMi] = config.get("Parameters", sMi)
```

```
        mi = int(self.Parameters.get(sMi))
```

```

self.Parameters[sSe] = config.get("Parameters", sSe)
se = int(self.Parameters.get(sSe))
self.dAtStart.append(dt.datetime(Y,M,D,h,mi,se))

self.ErrMsg = ""
for n in range(1,self.Nprocesses):
    t_current = dt.datetime(self.dAtStart[n].year,self.dAtStart[n].\
        month,self.dAtStart[n].day,0,0,0)
    t_last = dt.datetime(self.dAtStart[n-1].year,self.dAtStart[n-1].month,\
        self.dAtStart[n-1].day,0,0,0)
    if t_current<=t_last:
        self.ErrMsg = format("The next start date %s should be greater than the last %s' %\
            (t_current,t_last))
        break

self.Parameters["Yend"] = config.get("Parameters", "Yend")
self.Parameters["Mend"] = config.get("Parameters", "Mend")
self.Parameters["Dend"] = config.get("Parameters", "Dend")
self.Parameters["hEnd"] = config.get("Parameters", "hEnd")
self.Parameters["miEnd"] = config.get("Parameters", "miEnd")
self.Parameters["seEnd"] = config.get("Parameters", "seEnd")
self.dAtStop = dt.datetime(int(self.Parameters.get("Yend")),\
    int(self.Parameters.get("Mend")),\
    int(self.Parameters.get("Dend")),\
    int(self.Parameters.get("hEnd")),int(self.Parameters.get("miEnd")),\
    int(self.Parameters.get("seEnd")))

self.Parameters["Nstations"] = config.get("Parameters", "Nstations")
self.Nstations = int(self.Parameters.get("Nstations"))

self.st_indexes = [0 for i in range(self.Nstations)]
self.st_roots = ["" for i in range(self.Nstations)]

for i in range(self.Nstations):
    name_of_index = format("I%d" % i)
    self.Parameters[name_of_index] = config.get("Parameters", name_of_index)
    self.st_indexes[i] = int(self.Parameters.get(name_of_index))
    name_of_root = format("root_%d_zip" % i)
    self.Parameters[name_of_root] = config.get("Parameters", name_of_root)
    self.st_roots[i] = self.Parameters[name_of_root]

```

## A.6 Файл convolution.py

```

"""
Computing Time Difference Of Arrival (TDOA) using convolution of two samples.
Interpolation of the sample by increasing sample rate in sr_mul_coef times
is used.
"""
import numpy as np
#import datetime as dt
import math
#import cmath

```

```

#import os
# Regular expression operations:
#import re

class Convolution:

# Variables common for all instances of a this class:
    min_dispertion = 1e-30
    noise_div_rmse = 1.618

# Method which created a new instance of this class:
# sr_mul_coef - should be power of 2.
# If sr_mul_coef>1 it is made sample interpolation by increasing sample rate
# in sr_mul_coef times.
    def __init__(self,sr_mul_coef,Nsample,base_len,offset_min):
        self.sr_mul_coef = sr_mul_coef
        self.Nsample = Nsample
        self.base_len = base_len
        self.offset_min = offset_min

# Methods:
# -----
# Here s0 - is the spectrum of the base sample
# sr_mul_coef - should be power of 2
    def Product(self,s0,s1):
        Nfft = len(s0)
        max_index_positive_freq = int(Nfft/2)
        if self.sr_mul_coef<=1:
            index_negative_freq = max_index_positive_freq + 1
        else:
            index_negative_freq = max_index_positive_freq
        ps = []
        hps = []
        N = int(math.floor(Nfft*self.sr_mul_coef + 0.5))
        for n in range(N):
            if n<=max_index_positive_freq:
                r = s0[n].real*float(self.sr_mul_coef)*s1[n].real*float(self.sr_mul_coef) +\
                    s0[n].imag*float(self.sr_mul_coef)*s1[n].imag*float(self.sr_mul_coef)
                i = -s0[n].imag*float(self.sr_mul_coef)*s1[n].real*float(self.sr_mul_coef) +\
                    s1[n].imag*float(self.sr_mul_coef)*s0[n].real*float(self.sr_mul_coef)
                ps.append(complex(r,i))
                if n==0:
                    hps.append(complex(0,0))
                else:
                    hps.append(complex(i,-r))
            else:
                if n<(N - max_index_positive_freq):
                    ps.append(complex(0.0,0.0))
                    hps.append(complex(0.0,0.0))
                else:
                    r = s0[index_negative_freq].real*float(self.sr_mul_coef)*\
                        s1[index_negative_freq].real*float(self.sr_mul_coef) +\

```

```

        s0[index_negative_freq].imag*float(self.sr_mul_coef)*\
        s1[index_negative_freq].imag*float(self.sr_mul_coef)
    i = -s0[index_negative_freq].imag*float(self.sr_mul_coef)*\
        s1[index_negative_freq].real*float(self.sr_mul_coef) +\
        s1[index_negative_freq].imag*\
        float(self.sr_mul_coef)*s0[index_negative_freq].real*\
        float(self.sr_mul_coef)
    ps.append(complex(r,i))
    hps.append(complex(-i,r))
    index_negative_freq = index_negative_freq + 1
ps = np.array(ps)
hps = np.array(hps)
# Make invers FFT:
ips = np.fft.ifft(ps)
ihps = np.fft.ifft(hps)

    return (ips,ihps)

# -----

def CalcMeanAndDispersion(self,N,V,vM,vD):
    D = (V - vM)
    if N<=2:
        vd = D*D/float(N)
    else:
        vd = vD*float(N-2)/float(N-1) + D*D/float(N)
    vm = vM + D/float(N)

    return (vm,vd)

# -----

def GetPrecisionOffset(self,n_extremum,ht,n_max):
    if n_extremum>=(n_max-1) or n_extremum<=0:
        return float(n_extremum)
# Looking for direction of searching:
    f0 = ht[n_extremum].real
# Go up:
    n_step = 1
    n = n_extremum+n_step
    while n<n_max:
        f1 = ht[n].real
        if f1!=f0:
            break
        n = n + n_step
# Checking the upper border and the wanted direction:
    if n>=n_max or (f0>0 and f1>f0) or (f0<0 and f1<f0):
# Go down:
        n_step = -1
        n = n_extremum+n_step
        while n>=0:
            f1 = ht[n].real

```

```

        if f1!=f0:
            break
        n = n + n_step
    if n<0:
        return float(n_extremum)
# Checking the wanted direction:
    if n_step<0 and ((f0>0 and f1>f0) or (f0<0 and f1<f0)):
        return float(n_extremum)
# Searching the point of passage through zero by going in the obtained direction:
    while n>=0 and n<n_max and (f1*f0)>0:
        f0 = f1
        f1 = ht[n].real
        n = n + n_step
# Chrcking the upper and the lower borders:
    if n<0 or n>=n_max:
        return float(n_extremum)
# Calculate the point of zero through line interpolation:
    n_precision = float(n-n_step) - f0*float(n_step)/(f1-f0)
    return n_precision

# -----
# Make convolution using spectra of two samples:
# S0 - spectrum of the base sample (zero sample)
# S1 - spectrum of the sample for which TDOA of the signal relatively to
# the zero sampe is computed: TDOA = t1 - t0
def GetTDOA(self,S0,S1,sr):

# Obtaining convolution (invers FFT of the product of the given spectra)
# and Hilbert transform of the convolution:
    (iPS,iHPS) = Convolution.Product(self,S0,S1)
# Search the maximum of correlation function:
    mRo = 0
    dRo = 0
    Nmax = 0
    roMax = iPS[0].real/float(self.base_len*self.sr_mul_coef - 1)
    Nmin = 0
    roMin = iPS[0].real/float(self.base_len*self.sr_mul_coef - 1)
    N = int(math.floor(self.Nsample*self.sr_mul_coef - self.base_len*self.sr_mul_coef + 1.5))
    for n in range(N):
# Calculate corelation coefficient:
        ro = iPS[n].real/float(self.base_len*self.sr_mul_coef - 1)
        if roMax<ro:
            Nmax = n
            roMax = ro
        if roMin>ro:
            Nmin = n
            roMin = ro
# Computating mean (mRo) and stadard deviation (dRo):
        (mRo,dRo) = Convolution.CalcMeanAndDispertion(self,(n+1),ro,mRo,dRo)

# Refine the mean and dispertion by throwing minimum and maximum:
        dRo = dRo - math.pow((roMax - mRo),2)/float(N-1)

```

```

mRo = mRo - roMax/float(N)
dRo = dRo - math.pow((roMin - mRo),2)/float(N-2)
mRo = mRo - roMin/float(N-1)
# Calculate signal / noise ratio:
if dRo<Convolution.min_dispersion:
    noise = 0.0
    Q = 0.0
    off = 0.0
else:
    noise = math.sqrt(dRo)*Convolution.noise_div_rmse
    sX = roMax - mRo
    Q = sX/noise
    tdoa = (Convolution.GetPrecisionOffset(self,Nmax,iHPS,N) - \
            (float(self.offset_min)*self.sr_mul_coef))* \
            1e6/float(sr)/self.sr_mul_coef

    return (tdoa,Q,noise)

# -----
# Make convolution using spectra of two samples:
# S0 - spectrum of the base sample (zero sample)
# S1 - spectrum of the sample for which TDOA of the signal relatively to
# the zero sample is computed: TDOA = t1 - t0
def GetTDOAmulproc(self,s0,s1,sr,tdoa_out,Q_out,noise_out):
    S0 = []
    S1 = []
    L = int(len(s0)/2)
    j = 0
    for l in range(L):
        S0.append(complex(s0[j],s0[j+1]))
        S1.append(complex(s1[j],s1[j+1]))
        j = j + 2
# print('GetTDOAmulproc',j,len(S0),len(S1),S0[0],S1[0],sr)
(tdoa,Q,noise) = Convolution.GetTDOA(self,S0,S1,sr)
tdoa_out.value = tdoa
Q_out.value = Q
noise_out.value = noise

```

### A.7 Файл comparing2datetime.py

```

"""
Comparing two values of the date_and_time type:
"""
import numpy as np
import datetime as dt

class Comparing2DateTime:

# def __init__(self):
#     self.delta = dt.datetime(microsecond=100000)

def __init__(self,microsec):

```

```

self.delta = dt.timedelta(microseconds=microsec)

def compare(self,t0,t1):
    if t0>t1:
        deltat = t0 - t1
        sign = 1
    else:
        if t0<t1:
            deltat = t1 - t0
            sign = -1
        else:
            sign = 0
    if sign!=0:
        if deltat<=self.delta:
            sign = 0
    return sign

```

## A.8      Приклад      файла      параметрів      програми

### corr2filesize\_Few24h\_parallel.ini

[Parameters]

```

Nsample        = 10240
corr_size      = 8090
offset_min     = 1066
sr_mul_coef    = 2

```

```
tdoa_root = D:\Kalyuzhny\Processing\SYN\TV\TV Correlation\ChIn&Qu\Eutelsat 13B\TDOA\
```

```
specified_st_index = -1
```

```
Nprocesses     = 1
```

```

Y0start        = 2017
M0start        = 4
D0start        = 10
h0Start        = 3
mi0Start       = 0
se0Start       = 0

```

```

Y1start        = 2016
M1start        = 11
D1start        = 4
h1Start        = 0
mi1Start       = 20
se1Start       = 8

```

```

Y2start        = 2016
M2start        = 11
D2start        = 4
h2Start        = 3

```



mi2Start = 30  
se2Start = 52

Y3start = 2016  
M3start = 5  
D3start = 8  
h3Start = 0  
mi3Start = 0  
se3Start = 0

Yend = 2017  
Mend = 4  
Dend = 10  
hEnd = 3  
miEnd = 1  
seEnd = 0

Nstations = 5  
I0 = 0  
root\_0\_zip = H:\TVS\  
I1 = 1  
root\_1\_zip = H:\TVS\  
I2 = 2  
root\_2\_zip = H:\TVS\  
I3 = 4  
root\_3\_zip = H:\TVS\  
I4 = 5  
root\_4\_zip = H:\TVS\  
I5 = 3  
root\_5\_zip = H:\TVS\

## ДОДАТОК Б

## Акти впровадження

## Б.1 Радіоастрономічний інститут НАНУ

“ЗАТВЕРДЖУЮ”  
Директор РІ НАНУ  
*Л.М. Литвиненко*  
“ 02 ” 01.2015 р.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”  
Директор НДІ “МАО” МОНУ  
*Г.І. Піннігін*  
2015 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ  
науково-технічної продукції

**Назва науково-технічної продукції:** станція синхронізованого прийому псевдощумових сигналів цифрового супутникового телебачення (ССП ПС СТБ).

**Призначення науково-технічної продукції:** станція синхронізованого прийому псевдощумових сигналів цифрового супутникового телебачення з складовою частиною радіотехнічного апаратно-програмного комплексу визначення положення телекомунікаційного геостационарного супутника (РТ АПК ТК ГСС). ССП ПС СТБ здійснює вимірювання часового інтервалу між синхросигналом комплексного сигналу DVB-S та сигналом 1 PPS, який отримується з GPS приймача. Виміри зберігаються на жорсткому диску персонального комп'ютера (ПК) та передаються для обробки в апаратно-програмний комплекс за його запитом разом з вимірами інших станцій прийому. В РТ АПК ТК ГСС визначаються координати активних телекомунікаційних геостационарних супутників (ТК ГСС) з використанням радіоінтерференційного методу шляхом вимірювання варіацій різностей нахилених віддалей від станцій приймання супутникового телебачення до ТК ГСС який контролюється, у тому числі уточнюються моделі руху космічних об'єктів на геостационарних орбітах для забезпечення контролю положення майбутнього Українського телекомунікаційного супутника «Либідь».

**Розробник науково-технічної продукції:** НДІ “Миколаївська астрономічна обсерваторія”.

**Склад апаратного обладнання станції:**

- 1) стандартна антено-фідерна система прийому сигналів супутникового телебачення (TV-S), діаметри антен 0,9 м;
- 2) телевізійний (TV) тюнер SkyStar1, дороблений в частині виводу синфазного (In) та квадратурного сигналів (Qu) до цифрової обробки їх мікропроцесором TV-тюнера;
- 3) одночастотний GPS-приймач Thunderbolt;
- 4) цифровий USB-осцилограф DSO5200A з полосною пропускання 200 МГц та 9 бітним ADC (Analog Digital Converter);

5) персональний комп'ютер (ПК) з USB та RS-232 під управлінням операційної системи Windows XP (тактова частота процесора 1 ГГц, оперативна пам'ять 1 Гбайт, не менш 80 Гбайт жорсткий диск);

6) програмний комплекс.

**Склад програмного комплексу станції:**

1) DigitalTV - програма управління телевізійним тюнером, розроблена фірмою-виробником тюнерів TechniSat;

2) TSIP\_SYN - програма синхронізації часу комп'ютера по GPS розроблена в НДІ МАО;

3) DSO5200\_SYN - програма читання даних цифрового USB-осцилографа, розроблена в НДІ МАО;

4) програма TeamViewer (безкоштовна ліцензія для некомерційного використання).

**Перелік виконаних робіт:**

1) Тестування та калібрування станції синхронізованого прийому псевдошумових сигналів;


2) Встановлення та налаштування апаратного обладнання станції;

3) Інсталяція та налаштування програмного комплексу станції.

**Використання науково-технічної продукції:**

Станція синхронізованого прийому псевдошумових сигналів цифрового супутникового телебачення (ССП ПС СТБ) встановлена в приміщенні №2 адміністративної будівлі Радіоастрономічного інституту НАНУ за адресою вул. Червонопрапорна 4 на підставі Договору про науково-технічне співробітництво між НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» і Радіоастрономічним інститутом НАНУ, підключена до мережі Інтернет і застосовується протягом 6 місяців в автоматичному режимі. Контроль за функціонуванням станції здійснюється дистанційно з центру обробки даних, який розташований в НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія».

Координатор робіт  
мережі станцій

 О.В. Шульга

Відповідальний за супровід  
станції від НДІ «МАО»

 М.П. Калюжний

Відповідальний за використання  
станції від РІ НАНУ

 В.Ф. Кулішенко

## Б.2 Західний центр радіотехнічного спостереження

ЗАТВЕРДЖЕНО

Начальник Західного центру  
радіотехнічного спостереження



М. С. Жураківський

« 02 » 01 2015 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Директор Науково дослідницького  
інституту «Миколаївська  
астрономічна обсерваторія»



Г.І. Пінігін

« 02 » 01 2015 р.

### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ науково-технічної продукції

**Назва науково-технічної продукції:** станція синхронізованого прийому псевдо шумових сигналів цифрового супутникового телебачення.

**Призначення науково-технічної продукції:** визначення координат активних телекомунікаційних геостационарних супутників (ТК ГСС) з використанням радіо інтерференційного методу шляхом вимірювання варіацій різностей нахилених віддалей від станцій приймання супутникового телебачення до ТК ГСС який контролюється.

**Розробник науково-технічної продукції:** НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія».

**Склад апаратного комплексу станції:**

1. Стандартна антено - фідерна система прийому сигналів супутникового телебачення (TV-S), діаметр антени 0.9 м.
2. Телевізійний (TV) тюнер SkyStar - 1, дороблений в частині виводу синфазного (In) та квадратурного сигналів (Qn) до цифрової обробки їх мікропроцесором TV-тюнера.
3. Одночастотний GPS - приймач Thunderbolt.
4. Цифровий USB-осцилограф DSO5200A з смугою пропускання 200 МГц та 9 бітним ADC (Analog Digital Converter).
5. Персональний комп'ютер (ПК) з USB та RS-232 під керуванням операційної системи Windows XP (тактова частота процесора 1 ГГц, оперативна пам'ять 1 Гбайт, жорсткий диск 80 Гбайт).

6. Програмний комплекс.

**Склад програмного комплексу:**

1. DigitalTV - програма управління телевізійним тюнером, розроблена фірмою-виробником тюнерів TechniSat.
2. TSIP\_SYN - програма синхронізації часу комп'ютера по GPS розроблена в НДІ МАО.
3. DSO5200\_SYN - програма читання даних цифрового USB-осцилографа, розроблена в НДІ МАО.
4. Програма TeamViewer (безкоштовна ліцензія для некомерційного використання).

**Перелік виконаних робіт:**


1. Тестування та калібрування станції синхронізованого прийому псевдо шумових сигналів.
2. Встановлення та налаштування апаратного комплексу.
3. Інсталяція та налаштування програмного комплексу.

**Використання науково-технічної продукції:**


Уточнення моделі руху космічних об'єктів на геостационарних орбітах, контроль положення майбутнього Українського телекомунікаційного супутника «Либідь».

**ПОГОДЖЕНО**


Координатор робіт мережі станцій,  
заступник директора НДІ «Миколаївська  
астрономічна обсерваторія» по науці,  
к.ф.м.н, с.н.с.

 О.В. Шульга  
« 02 » 01 2015 р.

Відповідальний за супровід  
станції від Науково дослідницького  
інституту «Миколаївська астрономічна  
обсерваторія»

 М.П. Калужний  
« 02 » 01 2015 р.

Відповідальний за використання  
станції від Західного центру радіотехнічного  
спостереження

 Є.І. Онищенко  
« 02 » 01 2015 р.

**Б.3 Вентспільська вища школа****MEMORANDUM OF UNDERSTANDING (MoU)**

12/03/2015

**BETWEEN**

Ventspils University College,  
Inženieru 101, LV-3601, Ventspils, Latvia  
hereinafter called "VUC"  
represented by rector, asoc.prof. Dr. Gita Revalde

**AND**

Research Institute: Nikolaev Astronomical Observatory  
Observatornaya 1, Nikolaev, Ukraine, 54030  
hereinafter called "RI NAO",  
represented by director, prof. Dr.Sc. G. I. Pinigin

Hereinafter referred to as "Party" or jointly as "Parties".

**Article 1: THE PURPOSE**

The purpose of this Memorandum of Understanding is to promote collaboration between the Parties in the field of natural and engineering sciences, data analysis and image processing and other mutually agreed areas and to define a framework under which the Parties shall

- a) combine the expertise to accomplish unique scientific goals,
- b) exchange research and teaching staff and students,
- c) increase cooperation and mutual support.

**Article 2: FORMS OF CO-OPERATION**

- 2.1 The Parties agree to implement the necessary means, within the limit of their financial resources and compatible with the status and the regulatory framework of each of the Parties, in order to
- organise scientific and technical meetings;
  - facilitate the exchange of personnel between the Parties;
  - identify specific subjects for joint research and development; each subject will be handled within its own special agreement with the consent of the two Parties;
  - consider the use of standardised materials and procedures.

Other forms of cooperation may be jointly defined.

### **Article 3: CONTRACTS FOR PROJECTS**

3.1 Each project is subject to an appropriate written contractual agreement, regulating the details for:

- a) funding of the project
- b) resources
- c) expected results
- d) specific services
- e) quality assessment
- f) intellectual property rights
- g) information exchange
- h) confidentiality
- i) liability
- j) publishing of results
- k) schedule
- l) law and regulations regarding process settling

The project Partners take all responsibilities for the projects.

3.2 Each Party shall provide funds for its own personnel involved in activities related to this collaboration except where special funding arrangements are made.

### **Article 4: APPLICABLE LAW AND DISPUTE RESOLUTION**

The terms of this MOU shall be interpreted in accordance with their true meaning and effect. Provided that if and insofar as this MOU does not stipulate, or any of its terms are ambiguous or unclear, then, the two Parties should consult with each other and conclude a mutually acceptable solution.

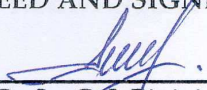
### **Article 5: DURATION AND AMENDMENT**

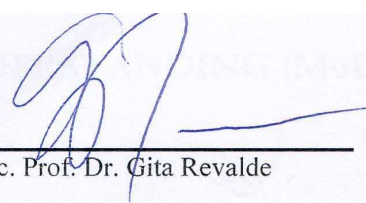
5.1 This MOU shall enter into effect on the date of its signature by the Parties and, shall remain in effect for a period of 5 (five) years.

5.2 Unless otherwise agreed in writing by both Parties, termination of the MOU shall not affect the specific agreements that are active at the time of notification under an appropriate written agreement.

5.3 Any amendment to this Agreement shall be made in writing only and shall be signed by the authorised representatives of the Parties.

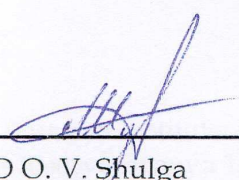
AGREED AND SIGNED:

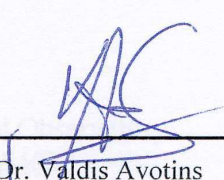
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr.Sc. G. I. Pinigin  
Director  
Research Institute: Nikolaev  
Astronomical Observatory

  
\_\_\_\_\_  
Asoc. Prof. Dr. Gita Revalde  
Rector  
Ventpils University College

Date:

Date:

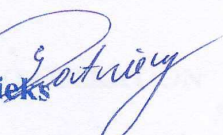
  
\_\_\_\_\_  
Ph.D O. V. Shulga  
Deputy director on science,  
senior researcher  
Research Institute: Nikolaev  
Astronomical Observatory

  
\_\_\_\_\_  
Asoc. Dr. Valdis Avotins  
Director, Engineering Research Institute,  
"Ventpils International Radio Astronomy  
Centre" of  
Ventpils University College

Date:

Date:



**VeA jurists**  
**Edvards Ratnieks**



*Sasrayots:*



09.08.2015.

  
21.08.2015 



## Б.4 Рівненська Мала академії наук учнівської молоді

"ЗАТВЕРДЖУЮ"  
 Директор Рівненської Малої академії  
 наук учнівської молоді  
 О.А. Апаресю  
 "12" 2016 р.

" ЗАТВЕРДЖУЮ"  
 Директор ІДП «МАО» МОНУ  
 О.В. Шукла  
 "12" 2016 р.

### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ науково-технічної продукції

**Назва науково-технічної продукції:** розроблені в НДІ «МАО» програмне забезпечення станції синхронізованого прийому невідомоюних сигналів цифрового супутникового телебачення.

**Призначення науково-технічної продукції:** визначення координат автономних телекомунікаційних геостационарних супутників (ТК ГСС) з використанням радіоінтерференційного методу шляхом вимірювання варіацій різниці нахилених дальностей від станцій приймання супутникового телебачення до ТК ГСС якої використовується.

**Розробник науково-технічної продукції:** НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія».

#### Склад програмного забезпечення станцій:

- 1) DVBViewer - програма управління прийомом супутникового телебачення, розроблена фірмою-виробником приймача TechSat;
- 2) TSIP\_SYN - програма синхронізації часу комп'ютера по GPS розроблена в НДІ «МАО»;
- 3) DSC8200\_SYN - програма читання даних цифрового USB-осцилографа, розроблена в «НДІ МАО»;
- 4) програма AлуDisk (безкоштовна ліцензія для некомерційного використання).

#### Перелік виконаних робіт:

- 1) Інсталяція та налаштування програмного забезпечення станцій.

**Використання науково-технічної продукції:**

Уточнення моделі руху космічних об'єктів на геостационарних орбітах, контроль положення майбутнього Українського телекомунікаційного супутника «Либідь».

Відповідальний за супровід  
станції від НДІ «МАО»



С.С. Сибірякова

Відповідальний за супровід  
станції від НДІ «МАО»



М.П. Каложин

Відповідальний за використання  
станції від Рівненської Малої академії  
наук учнівської молоді



С.В. Малиновський

## ДОДАТОК В

### Елементи орбіти супутника «Eutelsat-13B»

В таблицях В.1, В.2 і В.3 наводяться елементи орбіти супутника «Eutelsat-13B» обчислені з використанням аналітичної моделі руху супутника SGP4/SDP4 (ліва колонка) та чисельної моделі інтегрування рівнянь руху супутника (права колонка) для трьох періодів часу, відповідно, з 21.02.2015 по 05.06.2015, з 19.12.2015 по 30.01.2016 та з 31.01.2016 по 28.02.2016. В період часу з 21.02.2015 по 05.06.2015 до складу мережі входило 4 станції розташовані в містах Харків, Мукачеве, Київ і Миколаїв. З 19.12.2015 по 30.01.2016 крім названих станцій до мережі ввійшла станція розташована в м. Вентспілс (Латвія). З 31.01.2016 до складу мережі входить рівненська станція. Станція в Києві з цього часу не працює.

Елементи орбіти контрольованого супутника визначалися по добовим масивам виміряних значень TDOA. Елементи орбіти отримані для однієї доби містяться в трьох рядках, пронумерованих починаючи з 0.

В рядку з номером 0 міститься епоха обчислення елементів орбіти (дата і час UTC) та інформація про умови обчислення параметрів орбіти, а саме: кількість базових ліній (пар станцій) мережі та їхні умовні позначення, дані вимірювань TDOA яких використовувалися при обчисленні орбіти, а також кількість відліків часу з кроком одна хвилина, для яких значення TDOA отримані не менше ніж трьома парами станцій з різною орієнтацією базових ліній і які використовувалися при визначенні елементів орбіти. Умовні позначення базових ліній мережі містять два номери станцій розділених знаком «х». Станції мережі мають наступні умовні номери: 0 – Миколаїв, 1 – Харків, 2 – Мукачеве, 3 – Київ, 4 – Вентспілс і 5 – Рівне. Нехай  $i$  – номер станції, який міститься ліворуч від знака «х», а  $k$  – праворуч. Цій парі станцій відповідає значення TDOA, обчислене по наступній формулі:  $\Delta\tau = \tau_i - \tau_k$ , де  $\tau_i$  і  $\tau_k$  затримки сигналу цифрового супутникового телебачення, прийнятого станціями  $i$  і  $k$  відповідно.

Рядки з номером 0 містять одну і ту саму інформацію як в лівій, так і в правій колонці. Рядки з номерами 1 і 2, власне, містять елементи орбіти. В лівій колонці це елементи орбіти в так званому TLE форматі, опис якого можна знайти на сайті <https://www.space-track.org>. В правій колонці рядки з номерами 1 і 2 містять номер супутника в класифікації NORAD (29270 – для супутника «Eutelsat-13B») та вектор стану супутника: координати (рядок 1) і швидкості (рядок 2) в системі координат EME2000. Координати вимірюються в метрах, а швидкість – в м/с.

Таблиця В.1 – Елементи орбіти отримані в період часу з 21.02.2015 по 05.06.2015 мережею у складі з 4-х станцій, розташованих в містах Харків, Мукачеве, Київ і Миколаїв.

Аналітична модель руху супутника SGP4/SDP4	Чисельна модель інтегрування рівнянь руху супутника
0 2015.02.21 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1410	0 2015.02.21 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1410
1 29270U 06000A 15052.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 40491088.70158033 -11683724.15811003 -62031.19886095
2 29270 0.0709 330.2741 0005223 5.8717 7.9145 1.00267215 08	2 29270 853.01134794 2955.69682976 1.50180838
0 2015.02.25 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1287	0 2015.02.25 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1287
1 29270U 06000A 15056.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 41194983.27880512 -8887307.73978858 -65044.54450043
2 29270 0.0002 334.3945 0005334 0.6879 12.8907 1.00270220 01	2 29270 649.03196699 3007.02008145 1.86823178
0 2015.02.26 12:00:00 3 1x0 3x0 3x1 1116	0 2015.02.26 12:00:00 3 1x0 3x0 3x1 1116
1 29270U 06000A 15057.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 41341196.79227969 -8178234.10197180 -66684.06948632
2 29270 0.0684 340.9333 0005375 356.6738 11.3505 1.00272378 08	2 29270 597.32586860 3017.73866751 1.96742514
0 2015.02.27 12:00:00 3 1x0 3x0 3x1 1051	0 2015.02.27 12:00:00 3 1x0 3x0 3x1 1051
1 29270U 06000A 15058.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 41475531.71356925 -7465284.71980328 -68195.73718258
2 29270 0.0686 342.2580 0005418 356.2084 11.4767 1.00272839 00	2 29270 545.33542192 3027.59112766 2.02320205
0 2015.02.28 12:00:00 3 1x0 3x0 3x1 992	0 2015.02.28 12:00:00 3 1x0 3x0 3x1 992
1 29270U 06000A 15059.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 41597614.89504014 -6749363.53335893 -69828.71007818
2 29270 0.0691 343.7196 0005467 355.7505 11.4601 1.00273267 04	2 29270 493.11568155 3036.56729605 2.06442423
0 2015.03.01 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1376	0 2015.03.01 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1376
1 29270U 06000A 15060.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 41707408.94518334 -6030759.03346958 -61008.54479267
2 29270 0.0634 330.6167 0005371 9.4588 11.8438 1.00275921 03	2 29270 440.67197743 3044.64499377 1.69992401
0 2015.03.02 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1393	0 2015.03.02 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1393
1 29270U 06000A 15061.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 41807051.13273267 -5295280.90199981 -36585.48118382
2 29270 0.0863 317.7920 0005300 19.9392 15.1949 1.00277979 00	2 29270 387.08852642 3051.90818008 2.34098289
0 2015.03.03 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1281	0 2015.03.03 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1281
1 29270U 06000A 15062.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 41894564.87999189 -4561240.54470589 -36798.04741091
2 29270 0.0018 313.4314 0005611 21.2265 19.2701 1.00270621 00	2 29270 333.61905985 3058.21473142 2.26070207
0 2015.03.11 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1402	0 2015.03.11 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1402
1 29270U 06000A 15070.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 42124924.22841541 1193673.40316555 -35476.50586393
2 29270 0.0774 330.0376 0005462 17.4262 14.3273 1.00272607 06	2 29270 -86.78937490 3075.12624105 2.59289108
0 2015.03.12 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1405	0 2015.03.12 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1405
1 29270U 06000A 15071.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 42098516.07048006 1918952.54513752 -36090.07542333
2 29270 0.0004 332.4015 0005361 16.0018 14.3751 1.00273213 05	2 29270 -139.72708979 3073.13085576 2.68906670

## Продовження таблиці В.1

0 2015.03.13 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1408	0 2015.03.13 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1408
1 29270U 06000A 15072.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 42059512.73456788 2645086.44122465 -37463.18722711
2 29270 0.0004 332.8517 0005270 16.4723 14.4422 1.00273691 08	2 29270 -192.70329134 3070.22144474 2.76730706
0 2015.03.14 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1408	0 2015.03.14 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1408
1 29270U 06000A 15073.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 42007842.64813629 3371489.89504426 -38961.14686075
2 29270 0.0019 330.6944 0005206 19.2409 14.8195 1.00273918 08	2 29270 -245.68227594 3066.40239897 2.83243411
0 2015.03.15 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1167	0 2015.03.15 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1167
1 29270U 06000A 15074.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 41943613.33213986 4096917.82197682 -28598.55799136
2 29270 0.0002 322.3494 0005015 29.8418 13.5525 1.00275380 01	2 29270 -298.61004589 3061.66155575 2.21898317
0 2015.03.16 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1417	0 2015.03.16 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1417
1 29270U 06000A 15075.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 41865915.90063088 4834143.83096565 -8681.29697436
2 29270 0.1009 313.1941 0004785 34.7701 18.7822 1.00276828 02	2 29270 -352.26717834 3055.87656576 2.54332912
0 2015.03.17 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1411	0 2015.03.17 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1411
1 29270U 06000A 15076.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 41776250.82422696 5567254.37056396 -9639.46491864
2 29270 0.0989 314.2889 0005072 29.0874 24.3662 1.00269160 05	2 29270 -405.55761724 3049.24037454 2.45671804
0 2015.03.18 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1413	0 2015.03.18 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1413
1 29270U 06000A 15077.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 41674976.81571090 6278597.93557427 -10121.08348235
2 29270 0.0974 315.6270 0005146 28.2234 24.8671 1.00268182 09	2 29270 -457.45804405 3041.93469195 2.39248999
0 2015.03.19 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1415	0 2015.03.19 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1415
1 29270U 06000A 15078.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 41561679.30604686 6988729.60541776 -9887.11730987
2 29270 0.0002 323.7278 0005135 19.4971 26.4688 1.00268245 03	2 29270 -509.28963797 3033.71574233 2.35957693
0 2015.03.20 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1417	0 2015.03.20 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1417
1 29270U 06000A 15079.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 41436169.21592315 7697565.44725878 -9346.54559475
2 29270 0.0954 317.7014 0005197 25.2796 27.6899 1.00267809 00	2 29270 -561.05079044 3024.58963672 2.35435264
0 2015.03.21 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1422	0 2015.03.21 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1422
1 29270U 06000A 15080.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 41298486.00955304 8405012.97480742 -8667.85941574
2 29270 0.0944 318.4997 0005224 23.9877 29.1624 1.00268346 03	2 29270 -612.71881618 3014.54459409 2.40016539
0 2015.03.22 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1139	0 2015.03.22 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1139
1 29270U 06000A 15081.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 41148624.92705095 9111049.77507358 -8487.45098534
2 29270 0.0003 334.0836 0004817 9.4840 29.0626 1.00272274 07	2 29270 -664.27240905 3003.58002305 2.48092209
0 2015.03.23 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1355	0 2015.03.23 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1355
1 29270U 06000A 15082.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 40986161.48123720 9816429.93761013 -8079.70058038
2 29270 0.0031 334.2932 0005294 9.4127 29.9084 1.00268615 06	2 29270 -715.75025468 2991.69582006 2.60958894

## Продовження таблиці В.1

0 2015.03.24 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1422	0 2015.03.24 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1422
1 29270U 06000A 15083.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 40811452.20606918 10520117.97549292 -8636.17706526
2 29270 0.0898 321.1586 0005244 21.0450 32.3942 1.00271710 02	2 29270 -767.08935601 2978.90448823 2.70385571
0 2015.03.25 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1423	0 2015.03.25 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1423
1 29270U 06000A 15084.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 40624175.32879075 11222085.46114995 -9482.76369296
2 29270 0.0881 322.2843 0005239 20.3169 32.9832 1.00272803 03	2 29270 -818.28503056 2965.21767646 2.81168585
0 2015.03.26 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1428	0 2015.03.26 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1428
1 29270U 06000A 15085.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 40424389.48027396 11921977.26198994 -10543.77723000
2 29270 0.0011 339.4087 0005226 3.5593 33.6053 1.00273697 03	2 29270 -869.32333724 2950.63765573 2.89249253
0 2015.03.27 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1426	0 2015.03.27 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1426
1 29270U 06000A 15086.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 40212055.78351434 12619260.33461450 -11560.61049750
2 29270 0.0852 324.6534 0005256 19.2700 33.6402 1.00274406 03	2 29270 -920.17696650 2935.17592308 2.95242356
0 2015.03.28 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1426	0 2015.03.28 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1426
1 29270U 06000A 15087.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 39987396.25655346 13313488.05271885 -12558.62223224
2 29270 0.0841 326.0217 0005265 19.0350 33.4994 1.00274916 04	2 29270 -970.82455952 2918.82564468 2.98501087
0 2015.03.29 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1375	0 2015.03.29 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1375
1 29270U 06000A 15088.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 39750502.09074523 14004113.74226517 -5134.07052868
2 29270 0.0009 334.8584 0005097 11.4287 33.2639 1.00277316 03	2 29270 -1021.24361580 2901.57694374 2.47228127
0 2015.03.30 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1356	0 2015.03.30 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1356
1 29270U 06000A 15089.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 39499810.17563353 14697803.58541538 11712.87125370
2 29270 0.0005 334.5261 0004980 12.6256 33.4023 1.00277577 05	2 29270 -1071.81368842 2883.24340569 2.29331905
0 2015.03.31 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1422	0 2015.03.31 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1422
1 29270U 06000A 15090.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 39239197.48348065 15385114.11539636 11642.07102919
2 29270 0.0008 87.3414 0005269 255.5817 38.6280 1.00270573 04	2 29270 -1121.77606801 2864.11796474 2.24969328
0 2015.04.01 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1415	0 2015.04.01 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1415
1 29270U 06000A 15091.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 38971261.17075942 16050528.79006279 11617.29670148
2 29270 0.0011 334.7844 0005290 9.8488 37.8962 1.00270681 00	2 29270 -1170.38154009 2844.64251117 2.21589371
0 2015.04.02 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1410	0 2015.04.02 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1410
1 29270U 06000A 15092.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 38691844.35152710 16711862.05581359 12076.91950993
2 29270 0.0003 101.0908 0005243 245.2294 37.1893 1.00271346 01	2 29270 -1218.70530904 2824.31539018 2.19231434
0 2015.04.03 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1254	0 2015.04.03 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1254
1 29270U 06000A 15093.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 38400991.09736256 17368947.20780350 12247.80233400
2 29270 0.1037 312.1178 0005258 34.8180 37.5543 1.00271384 03	2 29270 -1266.72885131 2803.13602934 2.15197835

## Продовження таблиці В.1

0 2015.04.04 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1413	0 2015.04.04 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1413
1 29270U 06000A 15094.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 38098791.70431446 18021825.08770201 13106.21143855
2 29270 0.0018 107.9278 0005233 241.8831 35.6619 1.00271134 04	2 29270 -1314.44733164 2781.09430633 2.21962609
0 2015.04.05 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1414	0 2015.04.05 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1414
1 29270U 06000A 15095.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 37785109.70655793 18670385.66499003 13896.56471872
2 29270 0.0004 340.6730 0005140 11.0056 34.7775 1.00271305 04	2 29270 -1361.84578674 2758.19902433 2.27457473
0 2015.04.06 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1415	0 2015.04.06 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1415
1 29270U 06000A 15096.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 37460031.83105254 19314568.97867543 14463.43327023
2 29270 0.0042 112.5632 0005063 240.4598 34.4176 1.00271632 01	2 29270 -1408.91049708 2734.44290005 2.35359373
0 2015.04.07 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1407	0 2015.04.07 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1407
1 29270U 06000A 15097.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 37123480.12929019 19954246.79025713 14752.17315572
2 29270 0.0001 129.1517 0004946 225.2227 34.0515 1.00272341 02	2 29270 -1455.63087152 2709.83233054 2.46077293
0 2015.04.08 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1407	0 2015.04.08 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1407
1 29270U 06000A 15098.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 36775489.97692625 20589255.75263682 14739.21515303
2 29270 0.0010 127.8818 0004857 227.4628 34.0675 1.00272503 08	2 29270 -1501.98848203 2684.37059291 2.55665997
0 2015.04.09 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1408	0 2015.04.09 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1408
1 29270U 06000A 15099.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 36416059.52817436 21219420.55716120 14342.73400724
2 29270 0.0021 126.5432 0004747 229.3019 34.5539 1.00273042 04	2 29270 -1547.96597566 2658.06476738 2.67027233
0 2015.04.10 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1407	0 2015.04.10 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1407
1 29270U 06000A 15100.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 36045262.08071015 21844281.61278013 13556.47731272
2 29270 0.0006 263.4514 0004620 93.2419 34.6932 1.00273673 09	2 29270 -1593.53812776 2630.93466995 2.76412515
0 2015.04.11 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1372	0 2015.04.11 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1372
1 29270U 06000A 15101.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 35663099.29583871 22463724.82679121 12239.29197086
2 29270 0.0067 268.5869 0004537 88.4303 35.3578 1.00274115 06	2 29270 -1638.69146556 2602.98772077 2.83178546
0 2015.04.12 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1392	0 2015.04.12 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1392
1 29270U 06000A 15102.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 35269948.05305183 23077066.01236113 14681.46186175
2 29270 0.0936 316.3337 0004403 41.6396 35.3908 1.00274806 02	2 29270 -1683.38828799 2574.23537556 2.61406873
0 2015.04.13 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1406	0 2015.04.13 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1406
1 29270U 06000A 15103.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 34865331.65257115 23685486.09621742 19342.41654731
2 29270 0.0990 314.2311 0004241 43.6004 36.5242 1.00274561 01	2 29270 -1727.68663869 2544.63571281 2.43425077
0 2015.04.14 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1358	0 2015.04.14 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1358
1 29270U 06000A 15104.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 34449400.12437076 24287196.57474364 18623.11342096
2 29270 0.0009 347.7112 0004312 10.4669 37.1682 1.00272522 00	2 29270 -1771.49240847 2514.33108264 2.41979940

## Продовження таблиці В.1

0 2015.04.15 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1390	0 2015.04.15 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1390
1 29270U 06000A 15105.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 34030405.95374355 24870998.50754652 18459.39562631
2 29270 0.0001 275.8095 0004307 84.7509 35.7625 1.00270181 04	2 29270 -1814.10499553 2483.79657536 2.40329701
0 2015.04.16 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1391	0 2015.04.16 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1391
1 29270U 06000A 15106.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 33600623.72533888 25448660.79209786 18763.59912266
2 29270 0.0007 347.6459 0004327 12.3377 37.3164 1.00269552 00	2 29270 -1856.24540612 2452.48547883 2.40143906
0 2015.04.17 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1326	0 2015.04.17 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1326
1 29270U 06000A 15107.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 33160489.32483524 26019464.29602262 19570.93082643
2 29270 0.0938 317.4673 0004455 42.0189 38.7919 1.00268690 04	2 29270 -1897.91661017 2420.41279889 2.43319777
0 2015.04.18 12:00:00 3 1x0 2x0 2x1 1199	0 2015.04.18 12:00:00 3 1x0 2x0 2x1 1199
1 29270U 06000A 15108.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 32710167.42563058 26583246.75210277 20650.18763669
2 29270 0.0924 318.2674 0004452 40.7010 40.2897 1.00268976 04	2 29270 -1939.09945346 2387.57200468 2.48404238
0 2015.04.19 12:00:00 3 1x0 2x0 2x1 1213	0 2015.04.19 12:00:00 3 1x0 2x0 2x1 1213
1 29270U 06000A 15109.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 32249510.19087832 27140167.61086269 21469.33454716
2 29270 0.0907 319.3421 0004482 39.4841 41.4136 1.00269453 07	2 29270 -1979.78478549 2353.95334042 2.59518201
0 2015.04.20 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1296	0 2015.04.20 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1296
1 29270U 06000A 15110.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 31778541.50377386 27690255.59970846 22080.62961452
2 29270 0.0890 320.6189 0004499 38.0976 42.5070 1.00270284 09	2 29270 -2019.95182693 2319.55596961 2.72497492
0 2015.04.21 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1394	0 2015.04.21 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1394
1 29270U 06000A 15111.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 31297329.51624445 28233309.13747007 22491.85939284
2 29270 0.0878 321.7389 0004482 37.0999 43.3704 1.00271325 05	2 29270 -2059.57768556 2284.39867945 2.86940836
0 2015.04.22 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1407	0 2015.04.22 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1407
1 29270U 06000A 15112.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 30805849.22714397 28769130.57247039 22352.26955080
2 29270 0.0863 323.0415 0004459 35.9462 44.2093 1.00272424 02	2 29270 -2098.65222436 2248.49869242 3.00521312
0 2015.04.23 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1408	0 2015.04.23 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1408
1 29270U 06000A 15113.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 30304363.65163866 29297211.11014050 21790.64511652
2 29270 0.0848 324.2946 0004436 35.1930 44.6991 1.00273390 08	2 29270 -2137.15339514 2211.88608133 3.11537196
0 2015.04.24 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1413	0 2015.04.24 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1413
1 29270U 06000A 15114.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 29792911.59474004 29817333.61937491 21130.38059244
2 29270 0.0836 325.7314 0004426 34.3392 45.1077 1.00274293 06	2 29270 -2175.07395304 2174.57101683 3.21751369
0 2015.04.25 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1417	0 2015.04.25 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1417
1 29270U 06000A 15115.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 29271754.20644111 30329135.59289996 20463.50042197
2 29270 0.0103 132.4810 0004394 227.8656 45.8252 1.00275495 00	2 29270 -2212.39769754 2136.56855012 3.28170405



## Продовження таблиці В.1

0 2015.04.26 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1420	0 2015.04.26 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1420
1 29270U 06000A 15116.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 28741172.65967488 30832163.04816152 21877.77213788
2 29270 0.0833 325.0832 0004389 37.0547 45.0290 1.00276147 07	2 29270 -2249.10953694 2097.88951568 3.11089435
0 2015.04.27 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1432	0 2015.04.27 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1432
1 29270U 06000A 15117.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 28201551.01996153 31326562.49916779 24604.88738661
2 29270 0.0859 323.4819 0004363 40.1814 44.5006 1.00275878 05	2 29270 -2285.18452273 2058.53806410 2.95297027
0 2015.04.28 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1431	0 2015.04.28 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1431
1 29270U 06000A 15118.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 27652576.13578484 31812031.71585542 24394.72808430
2 29270 0.0001 161.1038 0004610 203.1354 44.9205 1.00273438 04	2 29270 -2320.60145565 2018.59934363 2.97338060
0 2015.04.29 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1428	0 2015.04.29 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1428
1 29270U 06000A 15119.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 27106608.00432552 32277667.16813955 24823.77008825
2 29270 0.0840 325.1251 0004751 43.9941 41.0199 1.00270910 04	2 29270 -2354.70099625 1978.82764522 2.94401148
0 2015.04.30 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1433	0 2015.04.30 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1433
1 29270U 06000A 15120.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 26551981.91806456 32734822.06892098 25571.06309236
2 29270 0.0832 326.1699 0004765 44.9798 39.9697 1.00271018 07	2 29270 -2388.13616188 1938.40918231 2.96621698
0 2015.05.01 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1429	0 2015.05.01 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1429
1 29270U 06000A 15121.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 25989063.76987316 33182921.90815285 26518.48678639
2 29270 0.0823 327.3114 0004765 45.9325 38.8569 1.00271111 09	2 29270 -2420.92011734 1897.37085605 3.00983215
0 2015.05.02 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1425	0 2015.05.02 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1425
1 29270U 06000A 15122.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 25417919.40202624 33621885.20776071 28302.21628906
2 29270 0.0000 270.1981 0004750 104.9335 37.9521 1.00271322 06	2 29270 -2453.04378396 1855.71617939 3.04897246
0 2015.05.03 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1422	0 2015.05.03 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1422
1 29270U 06000A 15123.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 24838696.25577298 34051636.32430951 29593.75476038
2 29270 0.0809 329.1799 0004739 48.2766 36.6107 1.00271022 03	2 29270 -2484.48853223 1813.44892101 3.13129514
0 2015.05.04 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1411	0 2015.05.04 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1411
1 29270U 06000A 15124.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 24251347.80024536 34472168.86960896 30416.30718089
2 29270 0.0792 330.3444 0004703 48.9533 35.7542 1.00271047 05	2 29270 -2515.24710771 1770.56822379 3.23230083
0 2015.05.05 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1409	0 2015.05.05 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1409
1 29270U 06000A 15125.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 23656060.00154409 34883319.07692976 31702.36267635
2 29270 0.0784 331.6803 0004635 49.2444 35.1128 1.00271290 02	2 29270 -2545.30014220 1727.08574041 3.36081037
0 2015.05.06 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1405	0 2015.05.06 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1405
1 29270U 06000A 15126.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 23052897.76824980 35285005.96088253 32304.41115818
2 29270 0.0772 333.3037 0004548 48.9218 34.7983 1.00271612 07	2 29270 -2574.63355932 1683.01182737 3.51183957

## Продовження таблиці В.1

0 2015.05.07 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1406	0 2015.05.07 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1406
1 29270U 06000A 15127.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 22441967.12329724 35676972.40717542 32985.43065744
2 29270 0.0765 334.5904 0004464 48.7821 34.6386 1.00272021 01	2 29270 -2603.23499070 1638.36877389 3.63611385
0 2015.05.08 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1394	0 2015.05.08 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1394
1 29270U 06000A 15128.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 21823592.57376670 36059073.03822193 32718.60159300
2 29270 0.0754 336.5416 0004343 47.6106 34.8467 1.00272710 06	2 29270 -2631.07783182 1593.17529666 3.78634188
0 2015.05.09 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1400	0 2015.05.09 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1400
1 29270U 06000A 15129.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 21197992.73963337 36431000.96820221 32373.95435727
2 29270 0.0000 276.2356 0004164 108.0127 35.7391 1.00274051 05	2 29270 -2658.15213254 1547.46276258 3.88791672
0 2015.05.10 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1409	0 2015.05.10 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1409
1 29270U 06000A 15130.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 20565243.85577418 36792596.13896850 31719.95180226
2 29270 0.0000 341.0516 0004037 43.5987 36.3265 1.00274761 05	2 29270 -2684.45160676 1501.24502086 3.97136876
0 2015.05.11 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1399	0 2015.05.11 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1399
1 29270U 06000A 15131.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 19925756.89290661 37143545.97151356 31679.69067895
2 29270 0.0733 341.6343 0003935 43.9043 36.4281 1.00274490 03	2 29270 -2709.96272241 1454.55594722 4.01893253
0 2015.05.12 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1406	0 2015.05.12 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1406
1 29270U 06000A 15132.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 19279048.56298065 37484315.08205856 31765.70204290
2 29270 0.0728 343.1273 0004082 41.0221 38.8063 1.00271323 03	2 29270 -2734.68904975 1407.42833125 4.03545090
0 2015.05.13 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1401	0 2015.05.13 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1401
1 29270U 06000A 15133.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 18637502.75110235 37807764.65858094 32278.26060414
2 29270 0.0385 77.3827 0004005 307.8711 38.6774 1.00270462 05	2 29270 -2758.25314794 1360.64182466 4.03917812
0 2015.05.14 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1400	0 2015.05.14 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1400
1 29270U 06000A 15134.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 17989495.41312601 38120632.13738411 33448.28012759
2 29270 0.0721 346.0769 0003994 39.2794 39.5508 1.00269876 05	2 29270 -2781.04674611 1313.40350912 4.07647730
0 2015.05.15 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1398	0 2015.05.15 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1398
1 29270U 06000A 15135.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 17335165.08292714 38422654.61683142 35130.07728774
2 29270 0.0011 307.1773 0003987 77.6564 41.0512 1.00269869 08	2 29270 -2803.09000182 1265.70822204 4.12867283
0 2015.05.16 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1396	0 2015.05.16 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1396
1 29270U 06000A 15136.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 16674759.71136689 38713687.54616781 37157.37562917
2 29270 0.0461 97.8895 0003966 286.6011 42.3736 1.00269947 00	2 29270 -2824.36979329 1217.55278147 4.20540349
0 2015.05.17 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1407	0 2015.05.17 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1407
1 29270U 06000A 15137.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 16008411.79739874 38993746.06145473 39091.18259327
2 29270 0.0714 350.5519 0004011 34.4597 42.8338 1.00269706 09	2 29270 -2844.86534641 1168.93829784 4.31734515

## Продовження таблиці В.1

0 2015.05.18 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1405	0 2015.05.18 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1405
1 29270U 06000A 15138.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 15336277.73203659 39262873.57449959 40835.50023190
2 29270 0.0001 324.3916 0004019 60.4910 43.9458 1.00270442 08	2 29270 -2864.54642007 1119.87453596 4.45080904
0 2015.05.19 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1355	0 2015.05.19 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1355
1 29270U 06000A 15139.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 14658494.86646590 39520937.02764190 41847.27164283
2 29270 0.0000 331.3430 0004217 52.5245 45.9473 1.00270930 00	2 29270 -2883.39865002 1070.38190304 4.60974040
0 2015.05.20 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1394	0 2015.05.20 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1394
1 29270U 06000A 15140.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 13975243.13647847 39767860.39689905 43008.14284601
2 29270 0.0000 28.3764 0004013 356.4402 45.9838 1.00272302 08	2 29270 -2901.40519255 1020.48667038 4.75886483
0 2015.05.21 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1409	0 2015.05.21 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1409
1 29270U 06000A 15141.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 13286712.68332234 40003365.34774960 43590.01758235
2 29270 0.0411 117.8395 0003984 267.4630 46.4868 1.00272785 02	2 29270 -2918.56460207 970.21942529 4.89703523
0 2015.05.22 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1396	0 2015.05.22 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1396
1 29270U 06000A 15142.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 12593161.29656158 40227347.76067188 43927.55709498
2 29270 0.0703 0.1827 0003912 25.6734 46.9241 1.00274103 06	2 29270 -2934.86698877 919.60342096 5.00318540
0 2015.05.23 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1272	0 2015.05.23 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1272
1 29270U 06000A 15143.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 11894966.64278621 40439353.90959477 44050.84113361
2 29270 0.0704 2.2114 0004053 25.2814 46.2795 1.00273751 06	2 29270 -2950.31963748 868.67002531 5.09739965
0 2015.05.24 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1288	0 2015.05.24 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1288
1 29270U 06000A 15144.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 11193546.67356214 40639026.80112143 44025.66144194
2 29270 0.0348 102.4068 0003763 286.2958 46.0620 1.00275463 03	2 29270 -2964.90127189 817.49002831 5.15502626
0 2015.05.25 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1398	0 2015.05.25 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1398
1 29270U 06000A 15145.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 10485110.38511829 40827564.39414886 44930.70731772
2 29270 0.0001 314.6316 0004007 73.1638 47.9668 1.00276118 02	2 29270 -2978.63942338 765.86428360 5.17935201
0 2015.05.26 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1414	0 2015.05.26 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1414
1 29270U 06000A 15146.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 9773632.99478887 41003645.82643788 45801.82290756
2 29270 0.0001 336.1762 0004316 52.9971 47.5843 1.00273109 02	2 29270 -2991.51410792 714.06348256 5.19538330
0 2015.05.27 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1405	0 2015.05.27 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1405
1 29270U 06000A 15147.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 9073842.37728670 41163647.05740143 47044.95797200
2 29270 0.0716 8.0923 0004382 25.7071 43.9372 1.00271082 06	2 29270 -3003.29770593 663.01790950 5.21262076
0 2015.05.28 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1411	0 2015.05.28 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1411
1 29270U 06000A 15148.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 8370090.83239460 41312044.73887819 48556.62715084
2 29270 0.0720 9.3863 0004409 26.1945 43.1356 1.00271363 09	2 29270 -3014.20216284 611.70411984 5.22232051

## Продовження таблиці В.1

0 2015.05.29 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1431	0 2015.05.29 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1431
1 29270U 06000A 15149.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 7663223.62252812 41448488.44843135 50384.46521334
2 29270 0.0000 325.3132 0004372 71.9616 42.4227 1.00272223 07	2 29270 -3024.24907947 560.14982744 5.24361168
0 2015.05.30 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1402	0 2015.05.30 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1402
1 29270U 06000A 15150.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 6953214.78887249 41572977.91721149 52614.13289471
2 29270 0.0731 11.9249 0004445 27.7641 40.9904 1.00271490 03	2 29270 -3033.42963411 508.35302646 5.28385535
0 2015.05.31 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1360	0 2015.05.31 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1360
1 29270U 06000A 15151.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 6240294.47012806 41685471.14519292 55181.48127121
2 29270 0.0737 13.0038 0004466 28.9016 39.7569 1.00271229 03	2 29270 -3041.73446359 456.32428496 5.33674264
0 2015.06.03 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1406	0 2015.06.03 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1406
1 29270U 06000A 15154.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 4085914.32063117 41950670.63834266 61312.49449404
2 29270 0.0753 17.8526 0004377 29.6014 37.1625 1.00271092 05	2 29270 -3061.27816117 298.99109565 5.68175384
0 2015.06.04 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1418	0 2015.06.04 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1418
1 29270U 06000A 15155.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 3363206.22536949 42014851.76645333 62745.41736673
2 29270 0.0107 358.6623 0004294 49.6600 37.2806 1.00271748 03	2 29270 -3065.96524656 246.19096683 5.81971593
0 2015.06.05 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1338	0 2015.06.05 12:00:00 6 1x0 2x0 3x0 2x1 3x1 3x2 1338
1 29270U 06000A 15156.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 2638753.88048544 42066876.26421912 63853.25946878
2 29270 0.0762 21.0684 0004112 28.6806 36.8406 1.00272410 00	2 29270 -3069.72282064 193.26402764 5.92958882

Таблиця В.2 – Елементи орбіти отримані в період часу з 19.12.2015 по 30.01.2016 мережею у складі з 5-х станцій, розташованих в містах Харків, Мукачеве, Київ, Миколаїв (Україна) і Вентспілс (Латвія).

Аналітична модель руху супутника SGP4/SDP4	Чисельна модель інтегрування рівнянь руху супутника
0 2015.12.19 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2015.12.19 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 15353.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 7712526.78587750 -41431520.71157245 -76457.36085954
2 29270 0.0680 22.1176 0005052 268.5177 350.1324 1.00273648 02	2 29270 3024.18734608 563.22325049 -5.04928780
0 2015.12.20 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2015.12.20 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 15354.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 8427647.55150737 -41291118.23132557 -78347.04246674
2 29270 0.0687 23.5505 0005197 267.5427 350.6622 1.00274180 05	2 29270 3014.06777501 615.39083348 -5.03301320
0 2015.12.21 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2015.12.21 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 15355.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 9143835.87612520 -41137952.91830964 -78178.62155875
2 29270 0.0636 11.6498 0005269 278.2573 352.8389 1.00273713 04	2 29270 3002.98965640 667.59108217 -4.15723220

## Продовження таблиці В.2

0 2015.12.22 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2015.12.22 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 15356.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 9854087.00474592 -40972780.42083875 -80689.61835695
2 29270 0.0640 14.1121 0005406 276.8249 352.7978 1.00273630 08	2 29270 2991.06251976 719.45598438 -4.23368896
0 2015.12.23 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1416	0 2015.12.23 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1416
1 29270U 06000A 15357.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 10552484.13447299 -40799491.85492311 -83369.40058952
2 29270 0.0647 15.7451 0005462 279.3884 349.5806 1.00268882 00	2 29270 2978.30886538 770.51378363 -4.27778812
0 2015.12.24 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1435	0 2015.12.24 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1435
1 29270U 06000A 15358.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 11246862.58059957 -40612741.76423975 -85895.42365784
2 29270 0.0655 17.4126 0005621 278.8961 349.3811 1.00268826 06	2 29270 2964.78433610 821.27134168 -4.35603217
0 2015.12.25 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2015.12.25 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 15359.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 11939083.83186130 -40414146.73118592 -87824.10731955
2 29270 0.0661 19.7162 0005701 277.7141 349.2375 1.00269036 03	2 29270 2950.34259619 871.87192173 -4.48385799
0 2015.12.26 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2015.12.26 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 15360.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 12628706.67572350 -40203637.01130693 -89435.55239786
2 29270 0.0670 21.6962 0005759 277.0642 348.8870 1.00269506 02	2 29270 2934.99825028 922.28321554 -4.59142212
0 2015.12.27 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1432	0 2015.12.27 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1432
1 29270U 06000A 15361.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 13315536.46878934 -39981293.54018133 -90542.10441301
2 29270 0.0679 23.5750 0005761 276.7619 348.2921 1.00270364 05	2 29270 2918.75196955 972.47566338 -4.68814883
0 2015.12.28 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1438	0 2015.12.28 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1438
1 29270U 06000A 15362.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 13999383.64768320 -39747044.45562576 -91377.16357387
2 29270 0.0686 25.6141 0005797 275.9819 348.0163 1.00270853 01	2 29270 2901.61436958 1022.43261199 -4.77743706
0 2015.12.29 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2015.12.29 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 15363.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 14680145.72375147 -39500828.52058924 -91955.60997718
2 29270 0.0692 27.1448 0005732 275.8620 347.5907 1.00271892 07	2 29270 2883.58999514 1072.14150216 -4.80527876
0 2015.12.30 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1439	0 2015.12.30 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1439
1 29270U 06000A 15364.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 15357359.83936784 -39242738.53040233 -92656.26316292
2 29270 0.0699 28.5537 0005685 275.9962 347.0342 1.00272777 06	2 29270 2864.68979379 1121.57616341 -4.81233612
0 2015.12.31 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2015.12.31 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 15365.50001157 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 16031180.93360481 -38972658.62531248 -93664.39038330
2 29270 0.0708 30.0152 0005617 275.9547 346.6027 1.00273525 09	2 29270 2844.91073416 1170.74151978 -4.80492741
0 2016.01.01 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1432	0 2016.01.01 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1432
1 29270U 06000A 16001.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 16701236.22494868 -38690548.92674143 -94988.01501466
2 29270 0.0718 31.3125 0005559 275.9656 346.2843 1.00274094 04	2 29270 2824.26567910 1219.62102244 -4.77538431

## Продовження таблиці В.2

0 2016.01.02 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.02 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16002.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 17367452.89986532 -38396330.05490544 -96537.64284790
2 29270 0.0728 32.3778 0005500 275.9796 346.1964 1.00274602 09	2 29270 2802.75522312 1268.21180084 -4.72490568
0 2016.01.03 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.03 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16003.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 18029732.19346622 -38090085.56060805 -97496.22783411
2 29270 0.0725 33.8211 0005381 275.6285 346.0969 1.00275671 02	2 29270 2780.36494828 1316.50176091 -4.69354637
0 2016.01.04 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.04 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16004.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 18694466.51965911 -37768748.16253606 -89722.64075379
2 29270 0.0615 9.6077 0005189 296.5964 350.3421 1.00275704 01	2 29270 2756.92158034 1364.84760532 -3.02814548
0 2016.01.05 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1425	0 2016.01.05 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1425
1 29270U 06000A 16005.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 19348978.61648491 -37437533.14024050 -91719.79416646
2 29270 0.0618 11.2455 0005176 295.6707 350.6270 1.00275799 03	2 29270 2732.77556774 1412.59291436 -3.01432510
0 2016.01.06 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1439	0 2016.01.06 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1439
1 29270U 06000A 16006.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 19986242.56679595 -37103586.49892768 -94216.88453441
2 29270 0.0622 13.3110 0005131 298.5447 346.6698 1.00269450 09	2 29270 2708.15072059 1459.07632623 -3.03840577
0 2016.01.07 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.07 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16007.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 20616340.12783946 -36756778.38277107 -96397.64952742
2 29270 0.0625 15.2381 0005156 296.8891 347.3751 1.00269272 04	2 29270 2682.90367467 1505.07321895 -3.07673072
0 2016.01.08 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.08 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16008.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 21241050.16915294 -36398839.86548774 -98609.40484840
2 29270 0.0631 17.2613 0005186 295.1452 348.0734 1.00269056 08	2 29270 2656.84277434 1550.70086835 -3.13616130
0 2016.01.09 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1439	0 2016.01.09 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1439
1 29270U 06000A 16009.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 21860264.67471886 -36029892.05910380 -100448.06235868
2 29270 0.0636 19.4910 0005215 293.1989 348.7684 1.00268846 00	2 29270 2629.96376061 1595.94140537 -3.21857170
0 2016.01.10 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.10 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16010.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 22473594.56551147 -35650130.10188312 -101844.70661408
2 29270 0.0642 21.5372 0005252 291.3498 349.5503 1.00268743 04	2 29270 2602.27629395 1640.76158856 -3.30162345
0 2016.01.11 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.11 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16011.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 23080983.20764744 -35259632.45081676 -102756.94105823
2 29270 0.0647 23.4803 0005272 289.3364 350.6004 1.00268839 05	2 29270 2573.77953079 1685.14053472 -3.37668394
0 2016.01.12 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.12 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16012.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 23682175.88136793 -34858553.81955177 -103377.88411825
2 29270 0.0654 25.3444 0005275 287.3791 351.6741 1.00269262 00	2 29270 2544.48712822 1729.04648305 -3.43493385

## Продовження таблиці В.2

0 2016.01.13 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.13 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16013.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 24277080.06289938 -34446787.01559774 -103888.46375886
2 29270 0.0664 26.9223 0005293 285.7230 352.7335 1.00269911 05	2 29270 2514.41308867 1772.46964418 -3.45309205
0 2016.01.14 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.14 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16014.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 24865487.55620102 -34024396.37558278 -104446.08923403
2 29270 0.0672 28.5873 0005309 283.8651 353.9083 1.00270776 01	2 29270 2483.57543884 1815.39429994 -3.45183890
0 2016.01.15 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1435	0 2016.01.15 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1435
1 29270U 06000A 16015.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 25447300.84295478 -33591010.98070931 -105068.67455752
2 29270 0.0679 29.3100 0005385 282.7570 355.2768 1.00271713 09	2 29270 2451.98883093 1857.84033507 -3.36129534
0 2016.01.16 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1438	0 2016.01.16 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1438
1 29270U 06000A 16016.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 26022138.71492653 -33147346.64033812 -106667.87151366
2 29270 0.0693 31.2613 0005418 281.2780 355.7887 1.00272711 06	2 29270 2419.65014756 1899.76958148 -3.32780873
0 2016.01.17 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1438	0 2016.01.17 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1438
1 29270U 06000A 16017.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 26590508.13917408 -32692786.97563133 -105724.71970466
2 29270 0.0664 32.8654 0005315 280.2908 356.1579 1.00275944 07	2 29270 2386.50919303 1941.21415792 -3.30275513
0 2016.01.18 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.18 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16018.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 27162903.35667314 -32217528.48678471 -86479.98472524
2 29270 0.0632 350.0895 0005473 316.9709 3.2547 1.00277027 04	2 29270 2352.08707677 1982.88630261 -1.01348827
0 2016.01.19 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1439	0 2016.01.19 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1439
1 29270U 06000A 16019.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 27722943.09941885 -31735915.09528100 -88594.10222979
2 29270 0.0629 352.2238 0005601 315.8134 3.2790 1.00277227 00	2 29270 2317.04457554 2023.81544819 -0.99859494
0 2016.01.20 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.20 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16020.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 28260962.32176631 -31260146.64539745 -90851.57730334
2 29270 0.0625 354.6022 0005677 320.1962 357.4980 1.00268964 07	2 29270 2282.09063930 2063.10065948 -1.02621101
0 2016.01.21 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.21 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16021.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 28789305.74094311 -30773235.59043781 -92884.57060667
2 29270 0.0624 356.9034 0005783 318.9603 357.4075 1.00269143 04	2 29270 2246.63279242 2101.75325965 -1.07249746
0 2016.01.22 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.22 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16022.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 29309851.94661179 -30276987.91057770 -94620.16541780
2 29270 0.0625 358.9816 0005918 318.0544 357.2118 1.00268964 06	2 29270 2210.46084773 2139.84340584 -1.13595661
0 2016.01.23 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1438	0 2016.01.23 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1438
1 29270U 06000A 16023.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 29822510.59835847 -29771475.51063114 -95832.75147111
2 29270 0.0621 1.3448 0005936 316.8349 357.0466 1.00269559 06	2 29270 2173.58262701 2177.35079358 -1.22060125

## Продовження таблиці В.2

0 2016.01.24 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.24 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16024.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 30326965.76857224 -29256927.55483527 -96569.95837190
2 29270 0.0624 3.0923 0006009 316.5616 356.5528 1.00269818 03	2 29270 2136.01819340 2214.25211149 -1.28031575
0 2016.01.25 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440	0 2016.01.25 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1440
1 29270U 06000A 16025.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 30823123.85224713 -28733452.57574792 -97019.59312743
2 29270 0.0624 4.6624 0006040 316.4481 356.0785 1.00270336 09	2 29270 2097.77678501 2250.52905079 -1.31785557
0 2016.01.26 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1436	0 2016.01.26 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1436
1 29270U 06000A 16026.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 31310905.67657053 -28201162.71487325 -97292.97965051
2 29270 0.0623 6.5096 0006014 316.1888 355.4744 1.00271052 05	2 29270 2058.86688581 2286.16508082 -1.35380168
0 2016.01.27 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1437	0 2016.01.27 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1437
1 29270U 06000A 16027.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 31790171.51246877 -27659986.00033579 -97550.15032986
2 29270 0.0624 8.0167 0005978 316.3437 354.7979 1.00271797 00	2 29270 2019.30134657 2321.15776789 -1.33923688
0 2016.01.28 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1438	0 2016.01.28 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1438
1 29270U 06000A 16028.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 32260920.82349979 -27109830.61163797 -97719.57735264
2 29270 0.0623 9.4415 0005930 316.3668 354.3370 1.00272488 03	2 29270 1979.08099814 2355.50345485 -1.30499244
0 2016.01.29 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1439	0 2016.01.29 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1439
1 29270U 06000A 16029.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 32722859.93741940 -26550848.72953181 -98274.14761028
2 29270 0.0624 10.9402 0005857 316.3456 353.8480 1.00273237 09	2 29270 1938.22121486 2389.19340984 -1.23999421
0 2016.01.30 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1394	0 2016.01.30 12:00:00 10 1x0 2x0 3x0 4x0 2x1 3x1 4x1 3x2 4x2 4x3 1394
1 29270U 06000A 16030.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 33175944.57657433 -25983009.40465062 -99031.27827042
2 29270 0.0625 12.4048 0005778 316.1543 353.5645 1.00273851 02	2 29270 1896.72609759 2422.21980768 -1.15973543

Таблиця В.3 – Елементи орбіти отримані в період часу з 31.01.2016 по 28.02.2017 мережею у складі з 5-х станцій, розташованих в містах Харків, Мукачеве, Рівне, Миколаїв (Україна) і Вентспілс (Латвія).

Аналітична модель руху супутника SGP4/SDP4	Чисельна модель інтегрування рівнянь руху супутника
0 2016.01.31 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1358	0 2016.01.31 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1358
1 29270U 06000A 16031.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 33620490.76186980 -25406280.26959497 -97025.20311221
2 29270 0.0586 12.5965 0005423 317.7962 352.7229 1.00277454 08	2 29270 1854.53742422 2454.55406739 -1.15656007
0 2016.02.01 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1398	0 2016.02.01 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1398
1 29270U 06000A 16032.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 34063372.79884500 -24808555.59079643 -77215.13095401
2 29270 0.0703 335.5798 0005427 350.1154 358.4266 1.00278772 07	2 29270 1811.08727070 2486.80794250 0.42665110



## Продовження таблиці В.3

0 2016.02.02 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1134	0 2016.02.02 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1134
1 29270U 06000A 16033.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 34494314.51135135 -24205961.92800934 -77509.52794897
2 29270 0.0698 335.6836 0005394 350.9572 358.4886 1.00279105 08	2 29270 1767.11073250 2518.22777466 0.50571663
0 2016.02.03 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1429	0 2016.02.03 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1429
1 29270U 06000A 16034.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 34907250.66224205 -23613905.67640335 -80249.59256424
2 29270 0.0693 338.9530 0005045 354.3000 352.8634 1.00269868 01	2 29270 1723.50947883 2548.01900899 0.49732765
0 2016.02.04 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1433	0 2016.02.04 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1433
1 29270U 06000A 16035.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 35304869.51420413 -23014920.44865336 -81908.51572096
2 29270 0.0689 340.5804 0005040 353.2345 353.2780 1.00269810 08	2 29270 1679.83807182 2577.03642189 0.49200059
0 2016.02.05 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1428	0 2016.02.05 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1428
1 29270U 06000A 16036.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 35692501.84687296 -22408531.19761584 -83580.23481868
2 29270 0.0686 342.2820 0005053 352.0062 353.7820 1.00269643 03	2 29270 1635.63410747 2605.35104322 0.46292546
0 2016.02.06 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1432	0 2016.02.06 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1432
1 29270U 06000A 16037.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 36070001.09917758 -21795026.52896589 -84988.88067153
2 29270 0.0683 343.8719 0005078 350.8440 354.3321 1.00269313 04	2 29270 1590.90521068 2632.94785647 0.40833506
0 2016.02.07 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1434	0 2016.02.07 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1434
1 29270U 06000A 16038.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 36437206.56167479 -21174666.85342390 -86007.91846606
2 29270 0.0679 345.3053 0005110 349.6229 355.0985 1.00268947 01	2 29270 1545.66174891 2659.81034934 0.34213679
0 2016.02.08 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1425	0 2016.02.08 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1425
1 29270U 06000A 16039.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 36793985.73422743 -20547777.64262796 -86653.52732863
2 29270 0.0676 346.6368 0005140 348.3504 356.0187 1.00268668 01	2 29270 1499.91644425 2685.91445854 0.28265422
0 2016.02.09 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1423	0 2016.02.09 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1423
1 29270U 06000A 16040.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 37140344.62212619 -19914461.92478107 -86756.94637331
2 29270 0.0670 347.7740 0005160 346.9286 357.2831 1.00268559 02	2 29270 1453.67900833 2711.23985863 0.23342030
0 2016.02.10 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1432	0 2016.02.10 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1432
1 29270U 06000A 16041.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 37476179.75626517 -19274795.78678907 -86671.96304045
2 29270 0.0664 349.0753 0005178 345.2402 358.6509 1.00268867 04	2 29270 1406.96467070 2735.77182370 0.22144428
0 2016.02.11 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1290	0 2016.02.11 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1290
1 29270U 06000A 16042.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 37801454.07503628 -18628702.24972024 -86597.84548156
2 29270 0.0659 350.8428 0005189 343.2251 359.8801 1.00269734 01	2 29270 1359.78651354 2759.50570289 0.25312431
0 2016.02.12 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1249	0 2016.02.12 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1249
1 29270U 06000A 16043.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 38116035.08754294 -17976182.55291764 -86790.42553822
2 29270 0.0654 353.0122 0005304 340.9330 0.9855 1.00269984 03	2 29270 1312.15850096 2782.44209589 0.31400218

## Продовження таблиці В.3

0 2016.02.13 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1424	0 2016.02.13 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1424
1 29270U 06000A 16044.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 38419801.37410706 -17317043.54986474 -87265.90169504
2 29270 0.0648 355.0583 0005265 338.5198 2.3366 1.00271643 08	2 29270 1264.08072657 2804.59636058 0.42658490
0 2016.02.14 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1235	0 2016.02.14 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1235
1 29270U 06000A 16045.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 38713759.47676680 -16650600.92813816 -81681.76109629
2 29270 0.0584 349.1037 0004780 344.4005 3.3977 1.00278412 09	2 29270 1215.43035667 2825.89725026 0.31958901
0 2016.02.15 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1431	0 2016.02.15 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1431
1 29270U 06000A 16046.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 39001135.97693008 -15962605.90803473 -54686.89716359
2 29270 0.0813 318.7717 0005123 9.5099 9.6250 1.00279092 03	2 29270 1165.48498274 2846.95571709 1.72888893
0 2016.02.16 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1431	0 2016.02.16 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1431
1 29270U 06000A 16047.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 39278935.32065532 -15274514.43756230 -56223.73638173
2 29270 0.0801 319.6908 0005242 2.1413 17.0730 1.00268994 08	2 29270 1115.37771740 2866.83773353 1.76225385
0 2016.02.17 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1433	0 2016.02.17 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1433
1 29270U 06000A 16048.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 39532942.36365545 -14603005.45770559 -57869.57755130
2 29270 0.0791 320.4729 0005298 2.1647 17.2409 1.00269785 01	2 29270 1066.44016321 2885.44122406 1.76454989
0 2016.02.18 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1427	0 2016.02.18 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1427
1 29270U 06000A 16049.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 39775770.66611034 -13926480.18321929 -59362.91125874
2 29270 0.0782 321.0662 0005362 2.8329 16.9549 1.00270025 00	2 29270 1017.11135518 2903.24414592 1.73879773
0 2016.02.19 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1434	0 2016.02.19 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1434
1 29270U 06000A 16050.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 40007202.51978748 -13245268.94250054 -60655.10167492
2 29270 0.0773 321.7324 0005429 3.6394 16.4597 1.00270152 06	2 29270 967.41929049 2920.23037539 1.69857290
0 2016.02.20 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1429	0 2016.02.20 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1429
1 29270U 06000A 16051.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 40227210.95493666 -12559676.75402264 -61503.57894838
2 29270 0.0761 322.2540 0005490 4.5865 15.9704 1.00270232 03	2 29270 917.38397862 2936.37846255 1.63315722
0 2016.02.21 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1409	0 2016.02.21 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1409
1 29270U 06000A 16052.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 40435654.39089861 -11869958.04972546 -61911.25328495
2 29270 0.0024 315.1814 0004627 3.5420 25.0699 1.00270654 00	2 29270 867.02465328 2951.67944094 1.58064872
0 2016.02.22 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1423	0 2016.02.22 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1423
1 29270U 06000A 16053.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 40632487.53475301 -11176362.62188712 -62080.53819523
2 29270 0.0737 324.2578 0005572 6.1161 14.4012 1.00270541 06	2 29270 816.36012413 2966.12007922 1.54649668
0 2016.02.23 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1427	0 2016.02.23 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1427
1 29270U 06000A 16054.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 40817746.07400705 -10478817.79368706 -61879.91093867
2 29270 0.0000 295.7783 0004465 40.3200 9.6577 1.00271664 02	2 29270 765.39397248 2979.69143371 1.53858926

## Продовження таблиці В.3

0 2016.02.24 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1142	0 2016.02.24 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1142
1 29270U 06000A 16055.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 40991351.47943727 -9777812.48276841 -61547.46328739
2 29270 0.0727 327.2824 0005502 6.7098 12.7532 1.00271537 04	2 29270 714.16514208 2992.37799643 1.62299176
0 2016.05.18 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1414	0 2016.05.18 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1414
1 29270U 06000A 16139.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 14824817.22841959 39452846.76745720 26669.83978950
2 29270 0.0700 17.5313 0005003 19.5183 32.5397 1.00273507 08	2 29270 -2879.12753042 1082.84733315 5.83269771
0 2016.05.19 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.05.19 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16140.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 14142770.41428125 39701950.62425482 28739.72317781
2 29270 0.0711 19.2944 0005062 19.9062 31.3785 1.00273171 09	2 29270 -2897.40061620 1033.08123959 5.98819359
0 2016.05.20 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.05.20 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16141.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 13455968.35344856 39939556.15231193 30971.51136838
2 29270 0.0718 20.5491 0005074 20.4988 30.5220 1.00273184 04	2 29270 -2914.82462674 982.94771913 6.08389360
0 2016.05.21 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.05.21 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16142.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 12764173.33876428 40165711.66000427 33143.31436699
2 29270 0.0723 21.7873 0005068 20.8743 29.9002 1.00273257 04	2 29270 -2931.39834414 932.43370701 6.19636637
0 2016.05.22 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.05.22 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16143.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 12066164.37661348 40380644.32782462 36788.93682041
2 29270 0.0689 15.5776 0004931 28.7324 29.2476 1.00275176 08	2 29270 -2947.13407730 881.43325168 5.87693623
0 2016.05.23 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437	0 2016.05.23 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437
1 29270U 06000A 16144.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 11368709.22706007 40582849.95573921 40840.15909997
2 29270 0.0669 8.5540 0004928 39.1714 26.8225 1.00272547 06	2 29270 -2961.90972589 830.44113719 5.52961535
0 2016.05.24 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1438	0 2016.05.24 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1438
1 29270U 06000A 16145.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 10666183.70684473 40774284.79758174 42030.11903030
2 29270 0.0670 10.3667 0004993 36.1701 28.9994 1.00269191 01	2 29270 -2975.75690455 779.16080626 5.66212880
0 2016.05.25 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437	0 2016.05.25 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437
1 29270U 06000A 16146.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 9968326.65338687 40950777.69754850 42793.85292353
2 29270 0.0669 12.0712 0004918 35.4208 29.0232 1.00269674 03	2 29270 -2988.60659659 728.18220970 5.77589725
0 2016.05.26 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437	0 2016.05.26 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437
1 29270U 06000A 16147.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 9266269.94286684 41115522.72652333 43795.77672977
2 29270 0.0137 215.1511 0002856 218.6493 3.6932 1.00274335 01	2 29270 -3000.60233488 676.91597108 5.95901261
0 2016.05.27 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.05.27 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16148.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 8561759.34758313 41268854.48564088 43241.58424843
2 29270 0.0000 344.1168 0002710 80.2754 14.0859 1.00268518 03	2 29270 -3011.67250312 625.44196327 5.94925996

## Продовження таблиці В.3

0 2016.05.28 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.05.28 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16149.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 7853308.44647693 41410015.57714976 44001.70139195
2 29270 0.0681 18.1706 0004532 31.4058 29.8807 1.00271687 01	2 29270 -3021.89265014 573.73487994 6.05960356
0 2016.05.29 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.05.29 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16150.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 7141927.93682577 41539250.12722410 44542.10004655
2 29270 0.0687 20.2779 0004384 29.7376 30.4235 1.00272236 03	2 29270 -3031.22452838 521.82601473 6.10561541
0 2016.05.30 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.05.30 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16151.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 6427494.52506368 41656436.43603783 45611.48229947
2 29270 0.0694 22.0072 0004248 28.0016 31.4130 1.00272470 04	2 29270 -3039.67628158 469.72024650 6.12193141
0 2016.05.31 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.05.31 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16152.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 5710221.37126970 41761264.41785916 47180.83421235
2 29270 0.0703 23.6641 0004160 26.3486 32.3925 1.00272394 06	2 29270 -3047.26168619 417.42877222 6.14393705
0 2016.06.01 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.06.01 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16153.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 4990232.04824819 41853679.53388961 49227.85190387
2 29270 0.0712 25.0415 0004085 24.3999 33.9482 1.00272340 00	2 29270 -3053.97885825 364.94652756 6.17012768
0 2016.06.02 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.06.02 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16154.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 4267580.91613369 41933612.07666467 51929.06032162
2 29270 0.0463 132.2826 0002731 295.9803 16.1113 1.00274187 01	2 29270 -3059.82457243 312.26322068 6.19468817
0 2016.06.03 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.06.03 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16155.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 3542671.60652280 42000814.96239734 54797.62362641
2 29270 0.0736 27.3778 0004102 22.0287 35.9554 1.00271654 07	2 29270 -3064.79755710 259.38731750 6.31008858
0 2016.06.04 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1439	0 2016.06.04 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1439
1 29270U 06000A 16156.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 2815639.22663015 42055567.59067942 57474.71737003
2 29270 0.0747 28.7730 0004120 20.7048 36.8726 1.00271707 02	2 29270 -3068.86108956 206.32094302 6.42878035
0 2016.06.05 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1384	0 2016.06.05 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1384
1 29270U 06000A 16157.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 2084492.02326037 42097566.43321431 60274.60894666
2 29270 0.0001 337.6424 0003298 66.9010 42.8029 1.00275316 06	2 29270 -3072.01261805 152.88362817 5.82682059
0 2016.06.06 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1413	0 2016.06.06 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1413
1 29270U 06000A 16158.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 1358018.09145675 42127795.54967008 62658.17213135
2 29270 0.0649 10.6432 0003983 43.3365 34.3539 1.00271751 05	2 29270 -3074.18451251 99.76666044 5.23327298
0 2016.06.07 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1419	0 2016.06.07 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1419
1 29270U 06000A 16159.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 629041.10610363 42146940.91986152 63811.71558529
2 29270 0.0002 349.0391 0003090 53.5983 46.6854 1.00269140 04	2 29270 -3075.34166736 46.62461943 5.36483226

## Продовження таблиці В.3

0 2016.06.08 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1417	0 2016.06.08 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1417
1 29270U 06000A 16160.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -89821.70374395 42151752.71880879 64297.66338392
2 29270 0.0657 15.0184 0004078 34.8320 40.4452 1.00268799 09	2 29270 -3075.65043669 -5.83932860 5.48447281
0 2016.06.09 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1425	0 2016.06.09 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1425
1 29270U 06000A 16161.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -809716.23279169 42144222.83713586 64610.50265079
2 29270 0.0659 17.1521 0004068 32.9486 41.1728 1.00269853 06	2 29270 -3075.06957000 -58.35779419 5.57782674
0 2016.06.10 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1415	0 2016.06.10 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1415
1 29270U 06000A 16162.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -1530415.23236970 42124270.68253185 65126.19949165
2 29270 0.0665 18.9565 0004089 31.5957 41.7012 1.00270792 07	2 29270 -3073.59939650 -110.91488284 5.62492903
0 2016.06.11 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1425	0 2016.06.11 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1425
1 29270U 06000A 16163.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -2251524.74918234 42091791.05880988 65829.33439864
2 29270 0.0671 20.6145 0004116 30.7445 41.8760 1.00271642 08	2 29270 -3071.24444901 -163.49516557 5.64769002
0 2016.06.12 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1421	0 2016.06.12 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1421
1 29270U 06000A 16164.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -2972803.12573800 42046760.73861688 66849.67309464
2 29270 0.0677 22.1476 0004151 30.3805 41.6902 1.00272357 03	2 29270 -3068.00177090 -216.08838144 5.65046782
0 2016.06.13 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1423	0 2016.06.13 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1423
1 29270U 06000A 16165.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -3694015.34346520 41989172.51396949 68191.40831390
2 29270 0.0683 23.6027 0004191 30.4746 41.1260 1.00272883 03	2 29270 -3063.86700121 -268.68565782 5.64461829
0 2016.06.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1421	0 2016.06.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1421
1 29270U 06000A 16166.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -4415045.78996904 41919099.18840484 70063.24504630
2 29270 0.0691 24.7249 0004220 30.9157 40.5491 1.00273299 05	2 29270 -3058.82807359 -321.27776982 5.62437855
0 2016.06.15 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1425	0 2016.06.15 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1425
1 29270U 06000A 16167.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -5135604.79271753 41836433.41783438 72205.96062549
2 29270 0.0699 26.0470 0004256 31.5343 39.5964 1.00273554 04	2 29270 -3052.88831989 -373.85181589 5.62809178
0 2016.06.16 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1420	0 2016.06.16 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1420
1 29270U 06000A 16168.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -5855598.70155769 41741283.32318693 74554.85129983
2 29270 0.0706 27.2308 0004274 32.3061 38.6299 1.00273664 05	2 29270 -3046.03325280 -426.39963704 5.63765298
0 2016.06.17 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1424	0 2016.06.17 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1424
1 29270U 06000A 16169.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -6574853.97842470 41633606.29899405 77159.43250899
2 29270 0.0715 28.4724 0004287 32.9957 37.6892 1.00273708 01	2 29270 -3038.25914850 -478.90691173 5.67216446
0 2016.06.18 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1421	0 2016.06.18 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1421
1 29270U 06000A 16170.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -7293208.32398588 41513386.77158072 79720.47800052
2 29270 0.0724 29.7669 0004295 33.6175 36.7645 1.00273671 07	2 29270 -3029.56208454 -531.36194252 5.72637700

## Продовження таблиці В.3

0 2016.06.19 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1423	0 2016.06.19 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1423
1 29270U 06000A 16171.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -8012852.60060992 41379287.54011254 79910.97730660
2 29270 0.0652 18.8296 0004178 48.7852 33.5329 1.00276599 07	2 29270 -3019.92159267 -584.00323159 4.92250491
0 2016.06.20 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1431	0 2016.06.20 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1431
1 29270U 06000A 16172.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -8727279.78225362 41234897.60288488 79678.32244721
2 29270 0.0615 6.7310 0004081 65.2588 30.1522 1.00274128 06	2 29270 -3009.35304927 -636.23996327 4.11292442
0 2016.06.21 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1432	0 2016.06.21 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1432
1 29270U 06000A 16173.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -9441900.35714013 41078858.44978326 80791.95759949
2 29270 0.0615 8.7087 0004221 60.4278 33.9966 1.00268377 00	2 29270 -2997.81247634 -688.29313495 4.23258743
0 2016.06.22 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1417	0 2016.06.22 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1417
1 29270U 06000A 16174.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -10140547.80566552 40912067.38616962 81769.79546287
2 29270 0.0615 10.4683 0004140 59.8024 33.8392 1.00269108 08	2 29270 -2985.62081076 -739.32435492 4.30753645
0 2016.06.23 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1423	0 2016.06.23 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1423
1 29270U 06000A 16175.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -10836984.35887006 40733365.23248526 82705.13779105
2 29270 0.0620 12.7348 0004053 58.8520 33.5011 1.00269482 00	2 29270 -2972.53647089 -790.18907064 4.41178066
0 2016.06.24 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1420	0 2016.06.24 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1420
1 29270U 06000A 16176.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -11530881.48282086 40542605.44052148 83089.75536953
2 29270 0.0621 15.3287 0003926 57.6940 33.0438 1.00270195 04	2 29270 -2958.57023861 -840.86258355 4.55053067
0 2016.06.25 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1399	0 2016.06.25 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1399
1 29270U 06000A 16177.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -12222173.63491759 40340467.41804142 83387.26441024
2 29270 0.0626 16.5941 0003766 57.2142 33.2376 1.00270643 02	2 29270 -2943.68545582 -891.30178003 4.51282813
0 2016.06.26 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1406	0 2016.06.26 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1406
1 29270U 06000A 16178.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -12910615.48431747 40126185.77005655 83979.43082349
2 29270 0.0295 147.8435 0003354 333.3242 346.8573 1.00271928 01	2 29270 -2927.93753114 -941.51311385 4.51729359
0 2016.06.27 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1421	0 2016.06.27 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1421
1 29270U 06000A 16179.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -13596261.43178805 39899853.78639527 84906.69815893
2 29270 0.0633 20.1293 0003414 54.7205 34.1567 1.00271840 05	2 29270 -2911.31775135 -991.49366286 4.50099900
0 2016.06.28 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1432	0 2016.06.28 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1432
1 29270U 06000A 16180.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -14279116.88703648 39661291.94178224 86596.66284204
2 29270 0.0328 160.1746 0003022 326.2878 343.5249 1.00272413 03	2 29270 -2893.83249210 -1041.24827558 4.47066673
0 2016.06.29 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1438	0 2016.06.29 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1438
1 29270U 06000A 16181.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -14958607.03300153 39410693.13763579 88276.87734952
2 29270 0.0643 22.2719 0003103 51.8315 36.8670 1.00272399 01	2 29270 -2875.48730770 -1090.75505204 4.39094884

## Продовження таблиці В.3

0 2016.06.30 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.06.30 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16182.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -15635304.69706798 39147201.50910107 91400.07832334
2 29270 0.0658 24.4372 0003100 49.6051 37.9119 1.00272395 01	2 29270 -2856.29448353 -1140.06893866 4.41879427
0 2016.07.01 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.07.01 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16183.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -16308225.52850860 38871592.59318668 94253.39968842
2 29270 0.0669 26.0122 0003086 48.2928 38.6344 1.00272204 02	2 29270 -2836.23649823 -1189.14379218 4.43973489
0 2016.07.02 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.07.02 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16184.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -16977208.33516414 38583828.63266890 97002.68534421
2 29270 0.0679 27.7723 0003096 46.9153 39.2388 1.00272113 08	2 29270 -2815.30800148 -1237.96745299 4.49635850
0 2016.07.03 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.07.03 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16185.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -17644011.05381989 38281578.56528433 94657.27668757
2 29270 0.0624 18.3239 0003095 62.8299 33.7682 1.00274790 02	2 29270 -2793.45034680 -1286.81034237 3.83601237
0 2016.07.04 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.07.04 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16186.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -18306842.90035252 37969732.81891060 91529.15987783
2 29270 0.0608 5.1696 0002887 77.4393 33.3090 1.00274465 08	2 29270 -2770.60537587 -1335.22895768 3.00772922
0 2016.07.05 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.07.05 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16187.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -18966674.61942791 37647140.80819988 92187.89276266
2 29270 0.0602 7.6446 0003148 67.9043 41.3610 1.00266891 00	2 29270 -2746.88135662 -1383.16801599 3.15171169
0 2016.07.06 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1416	0 2016.07.06 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1416
1 29270U 06000A 16188.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -19604745.95076574 37318947.46173551 93328.54498634
2 29270 0.0478 211.1032 0002918 229.0777 37.7038 1.00268296 07	2 29270 -2722.90501704 -1429.74020855 3.20763487
0 2016.07.07 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1438	0 2016.07.07 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1438
1 29270U 06000A 16189.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -20238414.74142051 36979296.80108885 93651.19952286
2 29270 0.0607 11.5492 0003137 63.3806 43.9320 1.00268961 01	2 29270 -2698.09255436 -1475.97358755 3.25511807
0 2016.07.08 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1438	0 2016.07.08 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1438
1 29270U 06000A 16190.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -20866942.40607214 36628408.62937473 94012.13000722
2 29270 0.0609 13.2829 0003156 61.9563 44.6015 1.00269806 09	2 29270 -2672.47286290 -1521.81826716 3.27801702
0 2016.07.09 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1438	0 2016.07.09 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1438
1 29270U 06000A 16191.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -21490240.65320418 36266267.06453759 94449.99924485
2 29270 0.0611 14.8265 0003182 60.8209 45.1740 1.00270675 04	2 29270 -2646.04944704 -1567.26968086 3.26730494
0 2016.07.10 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1438	0 2016.07.10 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1438
1 29270U 06000A 16192.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -22108019.46620758 35892879.08096978 95272.67511367
2 29270 0.0616 16.2967 0003216 60.2277 45.2795 1.00271533 06	2 29270 -2618.83178786 -1612.32168896 3.23056355

## Продовження таблиці В.3

0 2016.07.11 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1436	0 2016.07.11 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1436
1 29270U 06000A 16193.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -22720060.27580129 35508386.08971962 96370.26793478
2 29270 0.0620 17.6949 0003243 60.0380 45.0551 1.00272297 05	2 29270 -2590.82068606 -1656.96157145 3.17781115
0 2016.07.12 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1433	0 2016.07.12 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1433
1 29270U 06000A 16194.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -23326196.36135992 35112844.25853899 97604.96674247
2 29270 0.0622 19.2947 0003270 59.9950 44.4838 1.00272880 02	2 29270 -2562.01822696 -1701.18019824 3.13305242
0 2016.07.13 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1430	0 2016.07.13 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1430
1 29270U 06000A 16195.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -23926251.28407143 34706323.20524267 99406.99863071
2 29270 0.0627 20.8809 0003289 60.2412 43.6382 1.00273329 04	2 29270 -2532.42351448 -1744.96870176 3.08527360
0 2016.07.14 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1399	0 2016.07.14 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1399
1 29270U 06000A 16196.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -24520084.82227546 34288899.17940658 100877.75171103
2 29270 0.0623 22.8594 0003297 60.1841 42.7048 1.00273700 09	2 29270 -2502.03603472 -1788.31369253 3.07436117
0 2016.07.15 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1434	0 2016.07.15 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1434
1 29270U 06000A 16197.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -25107353.07090165 33860707.21203343 103454.74595588
2 29270 0.0636 23.6583 0003314 61.5936 41.4858 1.00273791 05	2 29270 -2470.86770295 -1831.19749552 2.99763478
0 2016.07.16 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1436	0 2016.07.16 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1436
1 29270U 06000A 16198.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -25687955.37387429 33421847.83604348 105852.57307841
2 29270 0.0644 25.2443 0003321 62.1732 40.3106 1.00273840 05	2 29270 -2438.91394151 -1873.60588150 2.98394053
0 2016.07.17 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1427	0 2016.07.17 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1427
1 29270U 06000A 16199.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -26261542.71816284 32970588.93714026 98519.99816792
2 29270 0.0581 11.8366 0003178 83.0619 33.8264 1.00278368 08	2 29270 -2406.12314842 -1915.70102548 2.25684438
0 2016.07.18 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1375	0 2016.07.18 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1375
1 29270U 06000A 16200.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -26834176.10356157 32506174.81115013 94553.81478446
2 29270 0.0614 358.4562 0003149 101.0920 30.1814 1.00276583 05	2 29270 -2372.22702516 -1957.56087593 1.51171951
0 2016.07.19 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1249	0 2016.07.19 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1249
1 29270U 06000A 16201.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -27398153.56112996 32034147.86430933 94225.73672626
2 29270 0.0003 28.9271 0003898 80.8817 20.9161 1.00267951 04	2 29270 -2337.76517696 -1998.58070450 1.81739198
0 2016.07.20 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1260	0 2016.07.20 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1260
1 29270U 06000A 16202.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -27940824.75163471 31562858.25421594 96592.53008820
2 29270 0.0605 2.7589 0003353 92.5170 36.4258 1.00268279 05	2 29270 -2303.29448939 -2038.12748171 1.68055838
0 2016.07.21 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1243	0 2016.07.21 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1243
1 29270U 06000A 16203.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -28473721.93603835 31082925.66085652 97078.76377672
2 29270 0.0017 34.2756 0003516 72.5924 25.8116 1.00269194 06	2 29270 -2268.23815030 -2077.07111589 1.73401864



## Продовження таблиці В.3

0 2016.07.22 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1362	0 2016.07.22 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1362
1 29270U 06000A 16204.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -28998698.15291880 30594019.51418807 97272.87152613
2 29270 0.0601 7.0404 0003204 93.6817 32.9322 1.00268499 07	2 29270 -2232.49195808 -2115.41161267 1.80288686
0 2016.07.23 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1427	0 2016.07.23 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1427
1 29270U 06000A 16205.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -29515984.45126545 30095844.73764378 97678.77631132
2 29270 0.0607 8.1337 0003004 93.8199 32.6783 1.00269472 03	2 29270 -2196.04955438 -2153.15378285 1.78036916
0 2016.07.24 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1437	0 2016.07.24 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1437
1 29270U 06000A 16206.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -30025456.55754014 29588473.73947100 97820.80534938
2 29270 0.0605 9.6184 0002812 93.8308 32.1611 1.00270253 09	2 29270 -2158.92304236 -2190.28780129 1.75418992
0 2016.07.25 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1166	0 2016.07.25 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1166
1 29270U 06000A 16207.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -30527262.77956165 29071477.99191019 98664.44135015
2 29270 0.0388 246.4237 0002340 231.5909 18.5744 1.00274067 03	2 29270 -2121.10750376 -2226.82947566 1.70393510
0 2016.07.26 12:00:00 5 1x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1031	0 2016.07.26 12:00:00 5 1x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1031
1 29270U 06000A 16208.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -31020967.61958085 28545145.66163304 99798.81094382
2 29270 0.0605 13.4497 0002427 91.6967 32.4235 1.00271700 01	2 29270 -2082.62841861 -2262.76195781 1.63747019
0 2016.07.27 12:00:00 5 1x0 4x0 5x0 5x1 5x4 1145	0 2016.07.27 12:00:00 5 1x0 4x0 5x0 5x1 5x4 1145
1 29270U 06000A 16209.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -31506519.49576224 28009093.32484324 101410.54374893
2 29270 0.0606 15.3322 0002281 90.0390 33.1802 1.00272255 05	2 29270 -2043.48700529 -2298.10242677 1.55211361
0 2016.07.28 12:00:00 5 1x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1344	0 2016.07.28 12:00:00 5 1x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1344
1 29270U 06000A 16210.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -31983669.33467111 27463420.90839755 103617.39165921
2 29270 0.0614 16.8074 0002193 88.8382 33.8886 1.00272522 08	2 29270 -2003.68647671 -2332.85061105 1.46355861
0 2016.07.29 12:00:00 7 1x0 2x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1361	0 2016.07.29 12:00:00 7 1x0 2x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1361
1 29270U 06000A 16211.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -32452127.02505599 26908418.96471580 106054.09064292
2 29270 0.0620 18.6657 0002113 86.8738 34.9789 1.00272814 05	2 29270 -1963.23314172 -2366.99005394 1.42295432
0 2016.07.30 12:00:00 7 1x0 2x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1433	0 2016.07.30 12:00:00 7 1x0 2x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1433
1 29270U 06000A 16212.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -32911241.08616934 26344516.54271869 108427.64476975
2 29270 0.0629 21.2162 0002179 86.2872 34.0009 1.00272233 01	2 29270 -1922.14966812 -2400.50632242 1.42791106
0 2016.07.31 12:00:00 4 1x0 5x0 5x1 5x4 1328	0 2016.07.31 12:00:00 4 1x0 5x0 5x1 5x4 1328
1 29270U 06000A 16213.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -33361221.07632859 25767224.49694000 92792.18382226
2 29270 0.0596 356.3503 0002215 127.5767 18.5757 1.00277891 00	2 29270 -1880.19097261 -2433.75393122 0.58590470
0 2016.08.01 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1359	0 2016.08.01 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1359
1 29270U 06000A 16214.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -33810199.43501110 25175782.34862676 83212.41384873
2 29270 0.0722 336.6263 0002015 150.7489 16.1371 1.00278429 06	2 29270 -1836.97597040 -2466.51725891 -0.35337404

## Продовження таблиці В.3

0 2016.08.05 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1087	0 2016.08.05 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1087
1 29270U 06000A 16218.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -35460936.74360886 22797930.06217130 84138.03470431
2 29270 0.0689 340.9728 0002310 127.8519 38.6168 1.00268913 09	2 29270 -1663.39866932 -2586.60489833 -0.15149406
0 2016.08.06 12:00:00 8 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1188	0 2016.08.06 12:00:00 8 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1188
1 29270U 06000A 16219.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -35844689.35131769 22189668.74938529 84028.89271270
2 29270 0.0682 342.2324 0002335 126.9399 39.2486 1.00269661 03	2 29270 -1619.01273410 -2614.59797143 -0.18191464
0 2016.08.07 12:00:00 8 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1288	0 2016.08.07 12:00:00 8 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1288
1 29270U 06000A 16220.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -36218567.31413480 21573972.49214056 84272.22458733
2 29270 0.0000 147.9452 0002512 336.8843 24.5740 1.00271102 05	2 29270 -1574.09782727 -2641.86347790 -0.23078992
0 2016.08.08 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1297	0 2016.08.08 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1297
1 29270U 06000A 16221.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -36582303.39158330 20951089.18789348 84351.86289860
2 29270 0.0664 345.3419 0002379 124.9677 40.0751 1.00271370 02	2 29270 -1528.67052968 -2668.39418927 -0.30570627
0 2016.08.09 12:00:00 8 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1357	0 2016.08.09 12:00:00 8 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1357
1 29270U 06000A 16222.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -36935885.42158403 20320947.71047121 85247.14488461
2 29270 0.0656 347.4893 0002403 123.9382 39.9414 1.00272141 02	2 29270 -1482.72874293 -2694.18840606 -0.37991153
0 2016.08.10 12:00:00 4 1x0 5x0 4x1 5x1 1368	0 2016.08.10 12:00:00 4 1x0 5x0 4x1 5x1 1368
1 29270U 06000A 16223.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -37279039.03666556 19683936.08205046 86004.02590083
2 29270 0.0650 349.0850 0002418 123.9418 39.3275 1.00272793 05	2 29270 -1436.29192108 -2719.23097978 -0.45750117
0 2016.08.11 12:00:00 8 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x4 1353	0 2016.08.11 12:00:00 8 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x4 1353
1 29270U 06000A 16224.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -37611654.83626045 19040105.89376122 87454.64780072
2 29270 0.0646 351.2465 0002430 123.7002 38.3942 1.00273329 04	2 29270 -1389.36530910 -2743.51690114 -0.53163140
0 2016.08.12 12:00:00 8 1x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1347	0 2016.08.12 12:00:00 8 1x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1347
1 29270U 06000A 16225.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -37933600.95384517 18389685.98645282 88994.68969092
2 29270 0.0648 353.1117 0002442 123.8892 37.3278 1.00273655 05	2 29270 -1341.96054990 -2767.03289119 -0.61204629
0 2016.08.13 12:00:00 7 1x0 2x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1390	0 2016.08.13 12:00:00 7 1x0 2x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 1390
1 29270U 06000A 16226.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -38244561.91763523 17733097.36597985 90548.38664003
2 29270 0.0649 354.7601 0002423 124.5872 35.9700 1.00273943 00	2 29270 -1294.10393814 -2789.76539849 -0.65335780
0 2016.08.14 12:00:00 7 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1437	0 2016.08.14 12:00:00 7 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1437
1 29270U 06000A 16227.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -38544427.01563188 17070333.70611879 92231.84008115
2 29270 0.0647 356.9575 0002481 125.4255 33.9240 1.00273887 05	2 29270 -1245.79671656 -2811.71201092 -0.66829132
0 2016.08.15 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1440	0 2016.08.15 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1440
1 29270U 06000A 16228.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -38833082.89649872 16401833.15707129 93768.71194768
2 29270 0.0649 358.8316 0002503 126.6289 31.8372 1.00273757 05	2 29270 -1197.05830226 -2832.85318521 -0.66121725

## Продовження таблиці В.3

0 2016.08.16 12:00:00 7 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1427	0 2016.08.16 12:00:00 7 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1427
1 29270U 06000A 16229.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -39111034.87028825 15729391.17758069 94972.57029098
2 29270 0.0652 0.5320 0002576 123.7366 34.0169 1.00270255 08	2 29270 -1148.01678445 -2853.07281715 -0.63748268
0 2016.08.17 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1421	0 2016.08.17 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1421
1 29270U 06000A 16230.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -39373612.80723294 15058748.28415959 95732.72408369
2 29270 0.0651 2.2713 0002633 126.2468 30.7479 1.00269846 08	2 29270 -1099.07655873 -2872.32503502 -0.60077667
0 2016.08.18 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1367	0 2016.08.18 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1367
1 29270U 06000A 16231.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -39624937.26496381 14383238.35092322 96864.82557223
2 29270 0.0660 4.5159 0002509 126.4962 29.2353 1.00270708 03	2 29270 -1049.75691086 -2890.75187083 -0.63573828
0 2016.08.19 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.08.19 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16232.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -39864920.45336124 13703445.62892263 96541.72088872
2 29270 0.0659 5.1310 0002522 130.9529 25.1458 1.00270192 09	2 29270 -1000.08904295 -2908.32557330 -0.57164023
0 2016.08.20 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1440	0 2016.08.20 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16233.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -40093434.96865147 13019927.16475749 96449.29521833
2 29270 0.0659 6.3983 0002425 133.9628 21.8506 1.00270560 09	2 29270 -950.12682011 -2925.01632742 -0.60543013
0 2016.08.21 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1440	0 2016.08.21 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16234.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -40310794.66545855 12331690.52902678 96339.16606849
2 29270 0.0658 7.9534 0002291 136.6339 18.6077 1.00271141 00	2 29270 -899.81295669 -2940.84327699 -0.68180355
0 2016.08.22 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1440	0 2016.08.22 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16235.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -40516866.58517235 11638599.33137821 96516.64107665
2 29270 0.0656 9.7949 0002122 138.6649 15.7194 1.00272031 04	2 29270 -849.15988726 -2955.80836289 -0.79132248
0 2016.08.23 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1439	0 2016.08.23 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16236.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -40711002.76730401 10943832.57200153 92234.85711784
2 29270 0.0642 4.9005 0001723 156.7305 3.5331 1.00273971 07	2 29270 -798.29505876 -2969.84783320 -0.97621810
0 2016.08.24 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1411	0 2016.08.24 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1411
1 29270U 06000A 16237.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -40894580.07719469 10236970.40238485 98334.05467295
2 29270 0.0656 14.5602 0001824 139.8679 11.7237 1.00273713 00	2 29270 -746.82533705 -2983.18816817 -1.04894340
0 2016.08.25 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.08.25 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16238.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -41065726.40377316 9528908.37609741 100102.46147053
2 29270 0.0663 16.9902 0001712 139.5577 10.5923 1.00274388 05	2 29270 -695.18041907 -2995.60033500 -1.18456260
0 2016.08.26 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1439	0 2016.08.26 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16239.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -41224851.73546098 8816448.77787143 102154.99131726
2 29270 0.0677 18.9765 0001621 139.0815 10.0721 1.00274759 01	2 29270 -643.23855001 -3007.15362047 -1.32164998

## Продовження таблиці В.3

0 2016.08.27 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1440	0 2016.08.27 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16240.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -41371244.89768614 8100086.00146987 104147.32352177
2 29270 0.0673 21.8276 0001695 139.1961 8.0982 1.00274895 08	2 29270 -591.02872744 -3017.87283718 -1.33046543
0 2016.08.28 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1437	0 2016.08.28 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1437
1 29270U 06000A 16241.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -41502894.72292642 7373217.95540870 79388.24143215
2 29270 0.0608 345.0811 0002690 186.7431 358.3040 1.00273149 05	2 29270 -538.04225878 -3028.09580500 -1.45380399
0 2016.08.29 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.08.29 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16242.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -41627163.58683915 6641530.07117138 69200.11873000
2 29270 0.0002 333.9436 0003411 209.8936 347.2998 1.00280080 02	2 29270 -484.61194238 -3036.98219847 -2.04379357
0 2016.08.30 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1436	0 2016.08.30 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1436
1 29270U 06000A 16243.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -41741987.75865094 5907838.00465857 70078.80916326
2 29270 0.0001 334.0025 0002938 201.1878 356.9480 1.00267660 02	2 29270 -431.22459762 -3044.84202862 -2.02131341
0 2016.08.31 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1311	0 2016.08.31 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1311
1 29270U 06000A 16244.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -41835974.41813138 5197222.48869799 70394.92012177
2 29270 0.0000 338.9041 0002837 195.8298 358.3798 1.00268312 08	2 29270 -379.39330944 -3051.77062192 -1.94600563
0 2016.09.01 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1328	0 2016.09.01 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1328
1 29270U 06000A 16245.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -41918547.54853195 4484575.31220802 70282.14429617
2 29270 0.0000 342.1469 0002740 191.1070 0.8363 1.00268148 03	2 29270 -327.38254766 -3057.78049398 -2.03434796
0 2016.09.02 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.09.02 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16246.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -41988528.27724762 3769975.90699039 69704.41531293
2 29270 0.0000 171.4140 0002714 359.4687 4.1865 1.00268367 03	2 29270 -275.22710123 -3062.93786743 -2.00468887
0 2016.09.03 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.09.03 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16247.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -42046631.27404261 3053123.16881931 69311.78139945
2 29270 0.0000 181.0314 0002956 347.5328 7.4853 1.00268233 06	2 29270 -222.91051773 -3067.18943347 -2.05075454
0 2016.09.04 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.09.04 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16248.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -42092575.44918220 2334305.77938196 68935.51069892
2 29270 0.0000 182.8264 0002974 343.5837 10.6216 1.00268983 01	2 29270 -170.45593689 -3070.54479687 -2.12971664
0 2016.09.05 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.05 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16249.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -42126490.02980138 1613902.87139380 68518.41760256
2 29270 0.0660 345.8237 0001843 168.3928 23.7979 1.00270989 02	2 29270 -117.88864586 -3072.98647575 -2.28882384
0 2016.09.06 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.06 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16250.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -42147665.27743693 891704.91100968 68741.43467344
2 29270 0.0647 347.6123 0001885 167.8241 23.5625 1.00271814 03	2 29270 -65.20836999 -3074.55919491 -2.34413293

## Продовження таблиці В.3

0 2016.09.07 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.07 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16251.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -42156635.78083909 168011.65038143 69078.97502934
2 29270 0.0642 349.3990 0001906 167.2972 23.2886 1.00272550 02	2 29270 -12.42419137 -3075.21780228 -2.45671591
0 2016.09.08 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.08 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16252.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -42153161.46476366 -556883.76895973 69767.62094379
2 29270 0.0643 351.1605 0001926 167.0703 22.7413 1.00273158 04	2 29270 40.43970814 -3074.97186703 -2.58433067
0 2016.09.09 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.09 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16253.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -42137139.84376424 -1282701.76158779 70673.04660663
2 29270 0.0643 352.6360 0001944 167.5567 21.7676 1.00273721 07	2 29270 93.36588649 -3073.82162168 -2.69400827
0 2016.09.10 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.10 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16254.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -42108524.55309088 -2009121.53324182 71766.03901589
2 29270 0.0646 353.9809 0001968 168.5100 20.4587 1.00274125 08	2 29270 146.33378167 -3071.76537830 -2.79331697
0 2016.09.11 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.09.11 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16255.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -42063371.35530976 -2741620.19088038 44267.02010924
2 29270 0.0697 326.5476 0002797 207.4765 9.9257 1.00273980 05	2 29270 199.83342942 -3069.03261982 -2.42773200
0 2016.09.12 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.12 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16256.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -42009354.01365115 -3475782.88714893 35539.35381387
2 29270 0.0832 323.8849 0002408 212.4206 8.6464 1.00278277 05	2 29270 253.39555760 -3065.01583699 -2.85133281
0 2016.09.13 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.13 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16257.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -41945768.32591368 -4206549.24174245 36630.68924592
2 29270 0.0818 325.3272 0002211 203.3411 17.2775 1.00269940 03	2 29270 306.55830547 -3060.00889462 -2.81793846
0 2016.09.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16258.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -41867415.47541840 -4920172.47136932 37159.31845546
2 29270 0.0806 327.0404 0002274 205.0627 14.8197 1.00270062 01	2 29270 358.64186208 -3054.39742223 -2.78424661
0 2016.09.15 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.15 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16259.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -41776834.50401888 -5632280.89526837 37385.97310371
2 29270 0.0794 329.0876 0002374 207.4797 11.3331 1.00269753 04	2 29270 410.65240997 -3047.90742316 -2.74042103
0 2016.09.16 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1436	0 2016.09.16 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1436
1 29270U 06000A 16260.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -41674049.65096459 -6343239.97324546 37863.26498310
2 29270 0.0005 325.6540 0002852 211.4698 11.7521 1.00269487 04	2 29270 462.60056645 -3040.52165467 -2.69019924
0 2016.09.17 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.17 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16261.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -41559721.06984280 -7051579.81379277 36533.77974213
2 29270 0.0003 332.9668 0002964 195.7794 21.1118 1.00269494 04	2 29270 514.39994597 -3032.21588697 -2.72823346

## Продовження таблиці В.3

0 2016.09.18 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1435	0 2016.09.18 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1435
1 29270U 06000A 16262.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -41433317.72339020 -7759136.87479635 35934.54701143
2 29270 0.0770 334.8559 0002526 216.9643 359.0169 1.00269712 00	2 29270 566.13147619 -3022.99038587 -2.79717384
0 2016.09.19 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1394	0 2016.09.19 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1394
1 29270U 06000A 16263.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -41294889.21920612 -8465782.84062303 35396.94659639
2 29270 0.0005 341.8360 0002309 192.5030 17.4790 1.00271979 00	2 29270 617.77650647 -3012.83374599 -2.89868993
0 2016.09.20 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1383	0 2016.09.20 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1383
1 29270U 06000A 16264.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -41144135.94865780 -9171716.90020625 34981.97167024
2 29270 0.0007 340.1932 0002426 206.9941 5.6114 1.00272319 08	2 29270 669.33709598 -3001.76031362 -3.00695068
0 2016.09.21 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1412	0 2016.09.21 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1412
1 29270U 06000A 16265.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -40980900.15172267 -9877123.31961998 35610.46778311
2 29270 0.0001 328.6913 0003573 211.0681 14.0263 1.00269881 03	2 29270 720.81649012 -2989.76719456 -3.13556232
0 2016.09.22 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.09.22 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16266.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -40805298.53418259 -10581333.36330081 36768.80762437
2 29270 0.0001 338.8497 0002850 203.5135 12.4060 1.00274336 08	2 29270 772.16637749 -2976.85818811 -3.32510202
0 2016.09.23 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.23 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16267.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -40616722.83365154 -11283919.15026788 37950.85164178
2 29270 0.0004 348.9224 0002064 196.3253 10.5090 1.00275492 04	2 29270 823.39296524 -2963.07167234 -3.37958079
0 2016.09.24 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.09.24 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16268.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -40415526.99892709 -11984774.80625431 39947.78501499
2 29270 0.0028 332.5322 0003019 225.0966 359.1140 1.00274513 01	2 29270 874.47381680 -2948.38860229 -3.44185408
0 2016.09.25 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1434	0 2016.09.25 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1434
1 29270U 06000A 16269.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -40198120.75939330 -12686649.78587471 19902.07855727
2 29270 0.0019 336.5303 0002603 203.3273 17.8825 1.00274664 07	2 29270 925.77239517 -2932.90079295 -2.79916675
0 2016.09.26 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1426	0 2016.09.26 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1426
1 29270U 06000A 16270.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -39971709.17612127 -13384869.03971282 14444.15506657
2 29270 0.0909 322.8936 0002477 252.7142 343.1336 1.00276886 07	2 29270 976.66230912 -2916.26172391 -3.03948105
0 2016.09.27 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.27 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16271.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -39736304.09280325 -14077841.42372803 15043.47646493
2 29270 0.0004 333.1392 0003157 197.3418 29.2520 1.00265200 05	2 29270 1026.97853565 -2898.76971624 -2.92774917
0 2016.09.28 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.28 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16272.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -39490619.54459352 -14752673.05104614 15151.77945303
2 29270 0.0882 325.2174 0002109 244.8037 350.6890 1.00269591 08	2 29270 1076.20121270 -2880.87814839 -2.94032396

## Продовження таблиці В.3

0 2016.09.29 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.29 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16273.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -39233040.26577074 -15423942.24934229 15028.03607238
2 29270 0.0012 337.2361 0001999 189.3586 35.0942 1.00270843 06	2 29270 1125.18594002 -2862.13166822 -2.93076607
0 2016.09.30 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.09.30 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16274.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -38963667.68742047 -16091299.73045593 14010.30658598
2 29270 0.0865 326.6437 0002202 243.6180 352.4085 1.00269704 08	2 29270 1173.91310999 -2842.53086845 -2.89816315
0 2016.10.01 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.10.01 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16275.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -38682501.60616698 -16755380.41544914 13768.79988792
2 29270 0.0853 328.3326 0002165 240.9073 354.4128 1.00270008 09	2 29270 1222.38310514 -2822.04869515 -2.94620537
0 2016.10.02 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1436	0 2016.10.02 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1436
1 29270U 06000A 16276.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -38389901.40490287 -17415122.29109630 12710.70122953
2 29270 0.0005 337.4279 0003106 182.5958 44.6137 1.00269679 05	2 29270 1270.54383054 -2800.70054711 -3.04330125
0 2016.10.03 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.10.03 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16277.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -38085444.00195891 -18070802.43471066 12007.84458399
2 29270 0.0835 329.9133 0002173 239.5336 356.1751 1.00271016 08	2 29270 1318.40813524 -2778.49607557 -3.12780053
0 2016.10.04 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.10.04 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16278.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -37769304.28529878 -18722206.31784839 11477.36119307
2 29270 0.0823 330.6448 0002193 239.2316 356.7323 1.00271646 00	2 29270 1365.95425978 -2755.43184794 -3.23081031
0 2016.10.05 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1437	0 2016.10.05 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1437
1 29270U 06000A 16279.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -37441549.97014177 -19369097.39411211 11250.78585934
2 29270 0.0810 331.5121 0002209 239.1101 356.9744 1.00272330 03	2 29270 1413.16089007 -2731.51390054 -3.34514540
0 2016.10.06 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1438	0 2016.10.06 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1438
1 29270U 06000A 16280.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -37102138.71966361 -20011354.77469132 11303.06513192
2 29270 0.0004 348.5592 0003353 177.4178 42.6094 1.00272547 04	2 29270 1460.01887326 -2706.74648014 -3.46177541
0 2016.10.07 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1419	0 2016.10.07 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1419
1 29270U 06000A 16281.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -36751136.87950677 -20648656.13384200 11741.43891817
2 29270 0.0783 333.6748 0002248 239.0397 356.8615 1.00273731 01	2 29270 1506.50696354 -2681.14105344 -3.56861894
0 2016.10.08 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1404	0 2016.10.08 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1404
1 29270U 06000A 16282.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -36388681.25458131 -21280646.35920118 12314.69276129
2 29270 0.0000 315.8868 0003288 211.5727 43.1079 1.00273880 00	2 29270 1552.60190108 -2654.70831024 -3.66628129
0 2016.10.09 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1424	0 2016.10.09 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1424
1 29270U 06000A 16283.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -36010445.06615054 -21910249.63767262 -6344.66625060
2 29270 0.0928 314.9176 0002967 257.9019 358.7454 1.00272292 00	2 29270 1598.66983942 -2627.43364286 -2.68187671

## Продовження таблиці В.3

0 2016.10.10 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1427	0 2016.10.10 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1427
1 29270U 06000A 16284.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -35624715.61374765 -22532405.09892189 -9723.26962381
2 29270 0.0976 316.4280 0002665 258.4191 357.7135 1.00276217 04	2 29270 1644.00323674 -2599.23990869 -2.83446255
0 2016.10.11 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1436	0 2016.10.11 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1436
1 29270U 06000A 16285.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -35231989.71142223 -23146074.55494457 -8896.92593441
2 29270 0.0964 317.4035 0002434 255.9845 0.1614 1.00270840 09	2 29270 1688.55170405 -2570.37878774 -2.83076587
0 2016.10.12 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.10.12 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16286.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -34831413.04714748 -23743517.10569340 -8489.29983377
2 29270 0.0954 318.7951 0002515 256.7946 358.9381 1.00270988 08	2 29270 1732.17897638 -2541.24461402 -2.83698094
0 2016.10.13 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.10.13 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16287.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -34420133.10431965 -24334130.35999222 -7929.25119168
2 29270 0.0934 318.7597 0002755 259.1533 357.5937 1.00270697 06	2 29270 1775.35825668 -2511.37229804 -2.75750059
0 2016.10.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.10.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16288.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -33998821.19737568 -24917795.98850225 -8057.31785962
2 29270 0.0022 349.8089 0003718 177.5818 49.0970 1.00267772 04	2 29270 1818.05536940 -2480.73890285 -2.76030358
0 2016.10.15 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.10.15 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16289.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -33567884.13236402 -25493978.46895070 -9194.36766020
2 29270 0.0911 320.8013 0003074 263.9454 352.7199 1.00270157 06	2 29270 1860.23938871 -2449.35874797 -2.80003717
0 2016.10.16 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.10.16 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16290.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -33126843.40880748 -26063413.88656129 -10235.29331306
2 29270 0.0024 129.1940 0004180 47.9635 41.2903 1.00269469 07	2 29270 1901.92947399 -2417.20014252 -2.86544791
0 2016.10.17 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1407	0 2016.10.17 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1407
1 29270U 06000A 16291.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -32675712.44210079 -26626234.48094463 -11552.77274680
2 29270 0.0884 322.3014 0003342 269.5671 347.5613 1.00269796 04	2 29270 1943.11037114 -2384.25829738 -2.93682918
0 2016.10.18 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1318	0 2016.10.18 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1318
1 29270U 06000A 16292.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -32214249.59286331 -27182715.17412458 -11416.61214804
2 29270 0.0004 276.9703 0003986 291.7582 11.6844 1.00262839 05	2 29270 1983.77683382 -2350.51083492 -3.19113785
0 2016.10.19 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.10.19 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16293.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -31741743.53372196 -27733308.58896567 -11793.82424163
2 29270 0.0846 325.3603 0003289 273.0364 343.0022 1.00271814 07	2 29270 2023.96757890 -2315.95162110 -3.28846782
0 2016.10.20 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.10.20 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16294.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -31258941.81317699 -28276796.70396276 -11289.07056330
2 29270 0.0061 134.6945 0003899 54.2094 33.4822 1.00272739 07	2 29270 2063.60259408 -2280.64918273 -3.44186724



## Продовження таблиці В.3

0 2016.10.21 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.10.21 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16295.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -30765712.03253823 -28813024.56981299 -10514.81842304
2 29270 0.0811 328.2684 0003213 274.9988 340.1073 1.00273865 01	2 29270 2102.68950100 -2244.61066875 -3.55508593
0 2016.10.22 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.10.22 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16296.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -30262355.04722682 -29341549.87123072 -9579.62606814
2 29270 0.0797 329.7169 0003186 275.5074 339.1408 1.00274687 03	2 29270 2141.20451663 -2207.85687003 -3.64161041
0 2016.10.23 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.10.23 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16297.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -29746879.81266726 -29863290.12402698 -18345.54003069
2 29270 0.0884 318.9094 0003368 284.3544 342.0958 1.00273655 06	2 29270 2179.27877342 -2170.34679861 -2.91147242
0 2016.10.24 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1437	0 2016.10.24 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1437
1 29270U 06000A 16298.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -29224743.32317308 -30374798.93880263 -19440.69235204
2 29270 0.0895 320.2552 0003226 285.3612 340.7365 1.00275417 08	2 29270 2216.53665045 -2132.22924211 -2.96371147
0 2016.10.25 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.10.25 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16299.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -28692937.55445267 -30878733.62184269 -19169.62018825
2 29270 0.0414 49.3828 0003422 144.4719 33.4915 1.00270085 04	2 29270 2253.16176068 -2093.48286857 -2.96607798
0 2016.10.26 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1438	0 2016.10.26 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1438
1 29270U 06000A 16300.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -28162526.53309743 -31362864.46566382 -19429.90677388
2 29270 0.0874 321.9350 0003315 279.1026 347.2850 1.00270211 06	2 29270 2288.50854273 -2054.83250652 -2.94897078
0 2016.10.27 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1429	0 2016.10.27 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1429
1 29270U 06000A 16301.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -27623197.89096763 -31838705.51105419 -20011.32125761
2 29270 0.0863 322.9752 0003302 278.4471 347.8796 1.00270261 03	2 29270 2323.23638070 -2015.51550598 -2.97046836
0 2016.10.28 12:00:00 3 1x0 4x0 4x1 1125	0 2016.10.28 12:00:00 3 1x0 4x0 4x1 1125
1 29270U 06000A 16302.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -27074839.33162438 -32305988.25783528 -20891.19082430
2 29270 0.0852 323.7287 0003293 277.9719 348.5823 1.00270433 01	2 29270 2357.35741524 -1975.54242477 -2.99447171
0 2016.10.29 12:00:00 3 1x0 4x0 4x1 1091	0 2016.10.29 12:00:00 3 1x0 4x0 4x1 1091
1 29270U 06000A 16303.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -26517897.52600632 -32764293.71919396 -22019.38319158
2 29270 0.0839 324.4938 0003306 277.2214 349.5501 1.00270524 00	2 29270 2390.83967030 -1934.93684488 -3.03593108
0 2016.10.30 12:00:00 3 1x0 4x0 4x1 1053	0 2016.10.30 12:00:00 3 1x0 4x0 4x1 1053
1 29270U 06000A 16304.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -25952351.34344632 -33213678.40099715 -23238.43019885
2 29270 0.0826 325.3292 0003317 276.4092 350.5110 1.00270759 04	2 29270 2423.67459834 -1893.69055261 -3.10523200
0 2016.10.31 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1219	0 2016.10.31 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1219
1 29270U 06000A 16305.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -25378504.21135890 -33654043.96719558 -24460.57249496
2 29270 0.0812 327.0434 0003278 274.6285 351.5627 1.00271059 04	2 29270 2455.83383219 -1851.81148865 -3.24127740

## Продовження таблиці В.3

0 2016.11.01 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.11.01 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16306.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -24796106.13704422 -34084908.54675657 -25499.47463281
2 29270 0.0798 327.3548 0003357 274.6705 352.1958 1.00271407 02	2 29270 2487.33302186 -1809.32641694 -3.30494321
0 2016.11.02 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.11.02 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16307.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -24205523.67939251 -34506567.39909811 -26257.61101395
2 29270 0.0785 328.5917 0003378 273.7884 352.8288 1.00271879 08	2 29270 2518.13167027 -1766.22125625 -3.43009038
0 2016.11.03 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.11.03 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16308.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -23606870.87566480 -34918674.14476065 -26768.26078880
2 29270 0.0774 329.7994 0003415 273.3829 353.0157 1.00272257 00	2 29270 2548.21971211 -1722.52275531 -3.55134018
0 2016.11.04 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1437	0 2016.11.04 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1437
1 29270U 06000A 16309.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -23000335.39190898 -35321032.80990522 -26907.25895025
2 29270 0.0760 331.2109 0003418 272.4120 353.5650 1.00272973 06	2 29270 2577.58173853 -1678.24939284 -3.67882483
0 2016.11.05 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1435	0 2016.11.05 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1435
1 29270U 06000A 16310.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -22386095.42268598 -35713401.53335369 -26857.01274542
2 29270 0.0750 332.6322 0003439 271.7566 353.7900 1.00273579 09	2 29270 2606.20505456 -1633.42229148 -3.79022343
0 2016.11.06 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1438	0 2016.11.06 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1438
1 29270U 06000A 16311.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -21763301.47031532 -36096164.96142453 -30888.94865844
2 29270 0.0792 326.4681 0003539 276.7779 355.9251 1.00272999 04	2 29270 2634.11871417 -1588.02126305 -3.34764440
0 2016.11.07 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1325	0 2016.11.07 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1325
1 29270U 06000A 16312.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -21135855.61457212 -36466979.55243163 -31118.84362010
2 29270 0.0791 327.9040 0003532 276.2902 355.9672 1.00274088 02	2 29270 2661.15915865 -1542.25488824 -3.41953063
0 2016.11.08 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1418	0 2016.11.08 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1418
1 29270U 06000A 16313.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -20501296.34530828 -36827053.22827937 -30462.90149307
2 29270 0.0776 329.3322 0003617 275.5858 356.2344 1.00274447 09	2 29270 2687.44990065 -1496.00489127 -3.46783627
0 2016.11.09 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.11.09 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16314.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -19866162.10968598 -37175540.54828274 -30259.88705165
2 29270 0.0765 330.5087 0003437 275.6707 355.9571 1.00270756 00	2 29270 2712.66436417 -1449.58709271 -3.48662769
0 2016.11.10 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1389	0 2016.11.10 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1389
1 29270U 06000A 16315.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -19228381.12000228 -37508559.64581187 -30686.42364909
2 29270 0.0755 332.0025 0003574 275.5890 355.5224 1.00270920 06	2 29270 2737.04793203 -1403.12863156 -3.51961619
0 2016.11.11 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.11.11 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16316.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -18584671.73986074 -37830505.73425061 -31412.96536921
2 29270 0.0744 332.8738 0003768 276.3757 354.8425 1.00270813 05	2 29270 2760.67634227 -1356.23921404 -3.51708551

## Продовження таблиці В.3

0 2016.11.12 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2016.11.12 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 16317.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -17935317.64042486 -38141444.41987675 -32762.98553092
2 29270 0.0733 333.9517 0003968 277.2405 353.8784 1.00270604 07	2 29270 2783.53133982 -1308.91219605 -3.55257085
0 2016.11.13 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1409	0 2016.11.13 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1409
1 29270U 06000A 16318.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -17280305.17262818 -38441538.39375842 -34642.97758161
2 29270 0.0724 335.5216 0004164 277.9702 352.5583 1.00270223 07	2 29270 2805.60001999 -1261.12871946 -3.63540531
0 2016.11.14 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1437	0 2016.11.14 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1437
1 29270U 06000A 16319.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -16619393.00277677 -38731010.78555278 -36341.84248286
2 29270 0.0713 337.2637 0004309 278.4764 351.2907 1.00270030 08	2 29270 2826.86906634 -1212.87275601 -3.76131384
0 2016.11.15 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1421	0 2016.11.15 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1421
1 29270U 06000A 16320.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -15952491.44743319 -39009931.32941277 -37912.31523159
2 29270 0.0704 339.2963 0004392 278.6660 350.0507 1.00270282 03	2 29270 2847.32013891 -1164.14266856 -3.92405688
0 2016.11.16 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1423	0 2016.11.16 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1423
1 29270U 06000A 16321.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -15279505.80721796 -39278272.20726257 -38953.89844042
2 29270 0.0694 341.6106 0004417 278.4250 348.9611 1.00270889 03	2 29270 2866.94039703 -1114.95168068 -4.11046429
0 2016.11.17 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.11.17 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16322.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -14600591.62028860 -39535764.62188866 -39401.44333784
2 29270 0.0685 343.8236 0004414 278.1933 347.9653 1.00271763 00	2 29270 2885.72159119 -1065.33216796 -4.28634669
0 2016.11.18 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1433	0 2016.11.18 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1433
1 29270U 06000A 16323.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -13916009.18376442 -39782162.81873091 -39344.53146724
2 29270 0.0675 346.0160 0004352 277.9051 347.0485 1.00272859 00	2 29270 2903.65536995 -1015.31580485 -4.43671953
0 2016.11.19 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.11.19 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16324.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -13226145.36024044 -40017112.72126570 -39179.43940811
2 29270 0.0668 347.9829 0004305 277.7006 346.2754 1.00273866 09	2 29270 2920.74024699 -964.93658029 -4.54963027
0 2016.11.20 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2016.11.20 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 16325.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 -12530513.73462485 -40241017.17301513 -41813.72620883
2 29270 0.0688 340.3016 0004218 285.3143 347.3339 1.00273570 09	2 29270 2936.96843105 -914.18639368 -4.02886192
0 2016.11.21 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1341	0 2016.11.21 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1341
1 29270U 06000A 16326.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 -11833984.55430461 -40451615.82055029 -41974.68354009
2 29270 0.0684 341.8330 0004156 285.2293 346.8762 1.00274340 06	2 29270 2952.27327173 -863.36054483 -4.07265550
0 2016.11.22 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1358	0 2016.11.22 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1358
1 29270U 06000A 16327.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 -11132227.11666043 -40650464.73631182 -42313.91119085
2 29270 0.0679 343.3551 0004134 284.6835 346.8913 1.00274580 07	2 29270 2966.74865781 -812.17558165 -4.09911241

## Продовження таблиці В.3

0 2016.11.23 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1104	0 2016.11.23 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1104
1 29270U 06000A 16328.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -10437977.21544735 -40835207.09644371 -43244.15536576
2 29270 0.0678 344.4932 0004251 288.4534 342.9637 1.00270715 05	2 29270 2980.14758918 -761.43161586 -4.09950327
0 2016.11.24 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1240	0 2016.11.24 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1240
1 29270U 06000A 16329.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -9739093.42825166 -41007466.68493535 -44224.77671833
2 29270 0.0669 346.0951 0004213 287.3057 343.4890 1.00270874 03	2 29270 2992.71315896 -710.46688250 -4.12723878
0 2016.11.25 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1262	0 2016.11.25 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1262
1 29270U 06000A 16330.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 -9036243.40980370 -41167886.81702924 -45733.12677443
2 29270 0.0666 347.8622 0004186 285.9742 344.0342 1.00271026 07	2 29270 3004.43741291 -659.21178786 -4.14690850
0 2016.11.26 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1191	0 2016.11.26 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1191
1 29270U 06000A 16331.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -8329441.05063069 -41316402.10100290 -47662.36641319
2 29270 0.0663 348.8590 0004178 285.1120 344.8824 1.00271246 09	2 29270 3015.31439028 -607.66401576 -4.19198657
0 2016.11.27 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1238	0 2016.11.27 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1238
1 29270U 06000A 16332.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -7619378.33837172 -41452917.10426044 -49563.86027279
2 29270 0.0658 350.3916 0004196 283.9260 345.5197 1.00271198 01	2 29270 3025.32502337 -555.86085324 -4.25472791
0 2016.11.28 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1136	0 2016.11.28 12:00:00 3 1x0 5x0 5x1 1136
1 29270U 06000A 16333.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -6906032.61510016 -41577339.12892340 -51650.82132211
2 29270 0.0655 352.0991 0004215 282.4358 346.2875 1.00271278 04	2 29270 3034.46299236 -503.80673372 -4.34103208
0 2016.12.02 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 971	0 2016.12.02 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 971
1 29270U 06000A 16337.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 -4024180.81058588 -41953358.93390391 -56899.68874225
2 29270 0.0632 359.6062 0004345 276.1793 348.9895 1.00272093 05	2 29270 3062.04532567 -293.41014017 -4.79055028
0 2016.12.03 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1416	0 2016.12.03 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1416
1 29270U 06000A 16338.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 -3297826.46341596 -42016527.26163162 -57800.51063772
2 29270 0.0635 1.9994 0004344 274.3341 349.4318 1.00272861 06	2 29270 3066.65934588 -240.38348773 -4.94252673
0 2016.12.04 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1303	0 2016.12.04 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1303
1 29270U 06000A 16339.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 -2569382.14901920 -42067238.85985067 -58011.21024360
2 29270 0.0632 3.9280 0004315 272.7130 350.1160 1.00273791 06	2 29270 3070.35364245 -187.21961254 -5.02436764
0 2016.12.05 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1343	0 2016.12.05 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1343
1 29270U 06000A 16340.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 -1839683.31665752 -42105394.44971912 -58430.74720678
2 29270 0.0634 5.6550 0004446 271.3442 350.7500 1.00273596 00	2 29270 3073.12443504 -133.97492053 -5.09944155
0 2016.12.06 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1317	0 2016.12.06 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1317
1 29270U 06000A 16341.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 -1108636.45019161 -42130742.53487302 -58848.87343684
2 29270 0.0641 7.6488 0004440 269.7883 351.3051 1.00274859 05	2 29270 3074.98440076 -80.65522514 -5.15128708

## Продовження таблиці В.3

0 2016.12.07 12:00:00 3 2x0 5x0 5x2 848	0 2016.12.07 12:00:00 3 2x0 5x0 5x2 848
1 29270U 06000A 16342.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 -384284.96482566 -42146039.66808628 -59603.99184172
2 29270 0.0640 9.7240 0004194 268.8590 351.1430 1.00270231 03	2 29270 3075.77354129 -27.81716595 -5.17795216
0 2016.12.08 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1157	0 2016.12.08 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1157
1 29270U 06000A 16343.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 335506.28404411 -42145751.78544677 -60243.34940573
2 29270 0.0640 11.4718 0004304 267.4831 351.7475 1.00270844 04	2 29270 3075.84283192 24.65431795 -5.16390773
0 2016.12.09 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1396	0 2016.12.09 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1396
1 29270U 06000A 16344.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 1055296.89544091 -42133152.13231213 -62266.40380089
2 29270 0.0649 13.3596 0004463 266.4277 351.8918 1.00270890 01	2 29270 3075.02930192 77.14612705 -5.20837581
0 2016.12.10 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1384	0 2016.12.10 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1384
1 29270U 06000A 16345.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 1775883.91685359 -42107796.12455869 -64019.67065721
2 29270 0.0648 14.9054 0004652 266.0231 351.7288 1.00271255 07	2 29270 3073.34908201 129.71558947 -5.21870551
0 2016.12.11 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1402	0 2016.12.11 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1402
1 29270U 06000A 16346.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 2496621.73452805 -42070285.24469927 -67000.41325652
2 29270 0.0658 16.5697 0004834 265.4894 351.5772 1.00270705 04	2 29270 3070.76360829 182.32512274 -5.26843280
0 2016.12.12 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1391	0 2016.12.12 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1391
1 29270U 06000A 16347.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 3216889.04995215 -42020340.12833971 -69676.80495803
2 29270 0.0667 18.6980 0005025 264.9845 350.9333 1.00270359 06	2 29270 3067.27488603 234.93921648 -5.36864026
0 2016.12.13 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1394	0 2016.12.13 12:00:00 6 1x0 2x0 5x0 2x1 5x1 5x2 1394
1 29270U 06000A 16348.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 3937457.94262960 -41958169.12934458 -72525.91205437
2 29270 0.0676 20.4380 0005171 264.5232 350.6356 1.00270110 06	2 29270 3062.85533592 287.59962262 -5.47844392
0 2016.12.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1400	0 2016.12.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1400
1 29270U 06000A 16349.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 4657989.33908173 -41883778.59482617 -74447.03922724
2 29270 0.0692 24.2712 0005231 262.2374 350.0709 1.00270603 07	2 29270 3057.49208620 340.27460848 -5.72570295
0 2016.12.15 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1420	0 2016.12.15 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1420
1 29270U 06000A 16350.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 5378541.70148777 -41797158.12958425 -76311.54801343
2 29270 0.0696 25.2021 0005287 262.8927 349.4697 1.00270906 00	2 29270 3051.17962560 392.94732485 -5.80000126
0 2016.12.16 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437	0 2016.12.16 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437
1 29270U 06000A 16351.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 6098354.67736630 -41698237.91623721 -77379.74354689
2 29270 0.0702 27.4370 0005287 262.3099 348.8041 1.00271719 03	2 29270 3043.92845237 445.54870985 -5.93512245
0 2016.12.17 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.12.17 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16352.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 6817460.00841667 -41586942.70521427 -78057.23975473
2 29270 0.0710 29.3900 0005237 261.9949 348.1542 1.00272849 00	2 29270 3035.74200454 498.07221006 -6.03612893

## Продовження таблиці В.3

0 2016.12.18 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.12.18 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16353.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 7535509.73396964 -41463163.97149551 -78592.30795846
2 29270 0.0716 31.0824 0005174 262.0059 347.4410 1.00273969 05	2 29270 3026.63139128 550.49522148 -6.09596540
0 2016.12.19 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.12.19 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16354.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 8256093.34606074 -41326809.94806452 -75983.51823719
2 29270 0.0620 14.1147 0004947 277.6950 349.7134 1.00273908 09	2 29270 3016.53015499 602.97458577 -4.84678734
0 2016.12.20 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.12.20 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16355.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 8969685.15099606 -41178111.49744271 -76794.71493946
2 29270 0.0625 15.7570 0004961 276.2790 350.4774 1.00273236 07	2 29270 3005.63961094 655.01068480 -4.84866311
0 2016.12.21 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.12.21 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16356.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 9669627.66345933 -41019790.46581420 -77867.49048549
2 29270 0.0629 17.6459 0005090 277.4059 348.4399 1.00270855 07	2 29270 2994.03575634 706.12146235 -4.85087035
0 2016.12.22 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.12.22 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16357.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 10368579.28084795 -40848842.81309504 -79458.77471503
2 29270 0.0634 19.0640 0005044 276.8869 348.5197 1.00271195 07	2 29270 2981.53920845 757.09593184 -4.82757516
0 2016.12.23 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.12.23 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16358.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 11065724.24366230 -40665562.43549427 -81374.70456984
2 29270 0.0640 20.6034 0005003 276.0152 348.8325 1.00271438 07	2 29270 2968.16155877 807.93884532 -4.81756131
0 2016.12.24 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.12.24 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16359.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 11760751.05081045 -40469913.42705712 -83621.49522314
2 29270 0.0646 22.0263 0004983 275.1281 349.2786 1.00271579 04	2 29270 2953.90506695 858.63768083 -4.81042939
0 2016.12.25 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.12.25 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16360.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 12453434.15889200 -40261935.21949590 -86065.56562552
2 29270 0.0653 23.6405 0004980 273.9316 349.8444 1.00271578 05	2 29270 2938.76575421 909.17677006 -4.83096829
0 2016.12.26 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2016.12.26 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 16361.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 13143395.69869148 -40041694.40396307 -88611.96441463
2 29270 0.0661 25.3657 0004993 272.6350 350.4004 1.00271580 03	2 29270 2922.74299917 959.53458355 -4.87041984
0 2016.12.27 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.12.27 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16362.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 13830482.66308149 -39809174.64183874 -90901.82770501
2 29270 0.0666 26.6816 0005016 271.6445 351.0609 1.00271636 00	2 29270 2905.83467222 1009.69868219 -4.91024264
0 2016.12.28 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1424	0 2016.12.28 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1424
1 29270U 06000A 16363.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 14514293.83108638 -39564602.53048216 -93153.07796273
2 29270 0.0673 28.4792 0005046 270.2513 351.6435 1.00271621 02	2 29270 2888.03396526 1059.63912053 -4.98940963

## Продовження таблиці В.3

0 2016.12.29 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1433	0 2016.12.29 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1433
1 29270U 06000A 16365.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 15194652.80099722 -39307968.19629723 -95044.01181420
2 29270 0.0681 30.1996 0005079 268.8591 352.3035 1.00271661 00	2 29270 2869.34348499 1109.33580757 -5.07078255
0 2016.12.30 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2016.12.30 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 16365.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 15871246.39021516 -39039414.44592905 -96687.49951380
2 29270 0.0691 31.9436 0005105 267.4584 352.9494 1.00271802 08	2 29270 2849.76210030 1158.76077816 -5.15968668
0 2016.12.31 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1419	0 2016.12.31 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1419
1 29270U 06000A 16366.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 16543888.26017660 -38758951.61505616 -97916.61711660
2 29270 0.0698 33.4000 0005127 266.2417 353.6996 1.00272152 09	2 29270 2829.29593124 1207.88878703 -5.22333191
0 2017.01.02 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1347	0 2017.01.02 12:00:00 6 1x0 2x0 4x0 2x1 4x1 4x2 1347
1 29270U 06000A 17002.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 17883513.45037343 -38159885.08857510 -89273.50777579
2 29270 0.0595 7.6858 0004990 287.4162 0.2273 1.00273229 07	2 29270 2785.51901635 1305.52561095 -3.47728827
0 2017.01.03 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1424	0 2017.01.03 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1424
1 29270U 06000A 17003.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 18543176.80828574 -37843682.71467224 -89495.93757686
2 29270 0.0591 9.9911 0005029 285.1250 1.2061 1.00273832 01	2 29270 2762.42923900 1353.65466968 -3.51557684
0 2017.01.04 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2017.01.04 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 17004.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 19187779.65779619 -37523152.80604458 -90118.37639945
2 29270 0.0594 11.4014 0004911 287.6045 358.2967 1.00269304 03	2 29270 2738.78088262 1400.64793371 -3.49276577
0 2017.01.05 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2017.01.05 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 17005.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 19824867.26764430 -37190077.29229359 -91100.32550743
2 29270 0.0596 13.2474 0004999 286.0813 358.9490 1.00269883 07	2 29270 2714.52445437 1447.12036606 -3.46709766
0 2017.01.06 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2017.01.06 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 17006.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 20456892.22021206 -36845596.73940531 -92554.99958382
2 29270 0.0599 14.8806 0005098 284.8922 359.4807 1.00270467 02	2 29270 2689.46797860 1493.23185707 -3.42632564
0 2017.01.07 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2017.01.07 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 17007.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 21083576.19820692 -36489795.41772724 -94661.68819343
2 29270 0.0604 16.6707 0005227 283.9054 359.6540 1.00270787 00	2 29270 2663.61443045 1538.97787172 -3.39116191
0 2017.01.08 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440	0 2017.01.08 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1440
1 29270U 06000A 17008.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 21704754.20335105 -36122801.68870636 -97222.33106261
2 29270 0.0610 18.5942 0005363 282.9888 359.6247 1.00270926 03	2 29270 2636.95634346 1584.35095610 -3.38188417
0 2017.01.09 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437	0 2017.01.09 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437
1 29270U 06000A 17009.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 22320375.98242287 -35744658.00022294 -99997.62629728
2 29270 0.0617 20.7912 0005506 281.9641 359.4313 1.00270812 03	2 29270 2609.48272201 1629.34895038 -3.40882234

## Продовження таблиці В.3

0 2017.01.10 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1424	0 2017.01.10 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1424
1 29270U 06000A 17010.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 22930251.60665078 -35355521.70635378 -102661.27060707
2 29270 0.0627 23.0537 0005645 280.9632 359.1501 1.00270611 09	2 29270 2581.18679603 1673.95350290 -3.46766542
0 2017.01.11 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1419	0 2017.01.11 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1419
1 29270U 06000A 17011.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 23534143.24512075 -34955624.65394606 -104954.33027484
2 29270 0.0635 25.4234 0005756 279.8939 358.8319 1.00270502 00	2 29270 2552.06678569 1718.13302507 -3.55751811
0 2017.01.12 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1405	0 2017.01.12 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1405
1 29270U 06000A 17012.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 24131819.47267489 -34545135.22606616 -106776.33887066
2 29270 0.0642 27.8449 0005828 278.7762 358.5122 1.00270618 01	2 29270 2522.13013087 1761.85629388 -3.65789889
0 2017.01.13 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1393	0 2017.01.13 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1393
1 29270U 06000A 17013.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 24722952.44536626 -34124231.19378775 -107924.95608305
2 29270 0.0650 29.5950 0005887 278.7064 357.8177 1.00271032 09	2 29270 2491.39281754 1805.09012366 -3.73422977
0 2017.01.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1299	0 2017.01.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1299
1 29270U 06000A 17014.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 25307573.33294343 -33693042.03789108 -108651.05077894
2 29270 0.0658 32.0318 0005838 277.6472 357.4279 1.00271840 07	2 29270 2459.85728318 1847.80902580 -3.80908398
0 2017.01.15 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1358	0 2017.01.15 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1358
1 29270U 06000A 17015.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 25885744.03578081 -33251349.83979442 -107489.28032873
2 29270 0.0643 33.9376 0005687 277.2499 356.9092 1.00273798 03	2 29270 2427.52090560 1890.00843268 -3.86272911
0 2017.01.16 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1420	0 2017.01.16 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1420
1 29270U 06000A 17016.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 26464247.63911921 -32793196.58225062 -94856.09696551
2 29270 0.0613 3.0736 0005564 305.6969 0.3258 1.00275529 08	2 29270 2394.08231578 1932.12119927 -2.13927627
0 2017.01.17 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1376	0 2017.01.17 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1376
1 29270U 06000A 17017.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 27031965.63767465 -32327252.71309432 -95366.86875646
2 29270 0.0613 4.5448 0005551 304.6246 0.9259 1.00275168 03	2 29270 2360.03631774 1973.52335487 -2.10283195
0 2017.01.18 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1391	0 2017.01.18 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1391
1 29270U 06000A 17018.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 27577311.25176156 -31864483.23780005 -96015.37027601
2 29270 0.0609 6.5869 0005766 308.0211 356.4657 1.00269897 08	2 29270 2326.10991838 2013.36621655 -2.07640642
0 2017.01.19 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1024	0 2017.01.19 12:00:00 9 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 5x2 5x4 1024
1 29270U 06000A 17019.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 28117272.09049655 -31389346.86675077 -94927.12709663
2 29270 0.0589 6.0334 0005652 308.0407 357.9770 1.00271146 00	2 29270 2291.42922422 2052.70063416 -1.98178082
0 2017.01.20 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1237	0 2017.01.20 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1237
1 29270U 06000A 17020.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 28648209.66654605 -30906054.49698564 -98399.14499676
2 29270 0.0605 10.2101 0005600 306.3900 356.4297 1.00270946 05	2 29270 2256.09434232 2091.42923431 -1.97718982



## Продовження таблиці В.3

0 2017.01.21 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1398	0 2017.01.21 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1398
1 29270U 06000A 17021.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 29172474.34405972 -30411696.46764456 -99857.18568167
2 29270 0.0605 11.3077 0005573 305.8606 356.8417 1.00271285 00	2 29270 2220.02948487 2129.66490430 -1.89459396
0 2017.01.22 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1304	0 2017.01.22 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1304
1 29270U 06000A 17022.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 29689098.15221402 -29907567.00182545 -101787.27596980
2 29270 0.0606 13.2301 0005544 304.6137 357.1477 1.00271480 03	2 29270 2183.25496755 2167.34663313 -1.86088182
0 2017.01.23 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1408	0 2017.01.23 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1408
1 29270U 06000A 17023.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 30197391.66144890 -29394106.88335636 -104303.88575780
2 29270 0.0610 16.0366 0005514 302.7145 357.2232 1.00271479 03	2 29270 2145.80556200 2204.44791744 -1.86427126
0 2017.01.24 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1420	0 2017.01.24 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1420
1 29270U 06000A 17024.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 30697821.50182985 -28870651.76964588 -106016.14825825
2 29270 0.0613 17.2367 0005549 301.7817 357.9399 1.00271519 09	2 29270 2107.65492475 2240.98882938 -1.84260917
0 2017.01.25 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439	0 2017.01.25 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1439
1 29270U 06000A 17025.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 31189667.65624086 -28338121.44074740 -108006.53980936
2 29270 0.0619 19.3217 0005575 300.1050 358.5167 1.00271386 05	2 29270 2068.83174256 2276.92270118 -1.86597220
0 2017.01.26 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1438	0 2017.01.26 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1438
1 29270U 06000A 17026.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 31672779.33234694 -27796616.92202760 -109651.96678814
2 29270 0.0624 21.3039 0005603 298.4911 359.1347 1.00271224 01	2 29270 2029.34452543 2312.23157471 -1.90212938
0 2017.01.27 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1426	0 2017.01.27 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1426
1 29270U 06000A 17027.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 32146925.79539265 -27246396.89083142 -111034.95646476
2 29270 0.0632 23.2691 0005637 296.8620 359.7857 1.00271068 09	2 29270 1989.20628731 2346.89311243 -1.94568020
0 2017.01.28 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1410	0 2017.01.28 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1410
1 29270U 06000A 17028.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 32611985.97825401 -26687638.96140201 -111898.80361139
2 29270 0.0637 25.1393 0005659 295.1745 0.5910 1.00271024 01	2 29270 1948.42582913 2380.88626669 -1.98927308
0 2017.01.29 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1401	0 2017.01.29 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1401
1 29270U 06000A 17029.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 33067927.11466169 -26120538.98335570 -110913.96064477
2 29270 0.0623 26.6183 0005513 294.3132 0.9626 1.00273150 09	2 29270 1906.98460583 2414.18020069 -2.05392496
0 2017.01.30 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1419	0 2017.01.30 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1419
1 29270U 06000A 17030.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 33523231.14484921 -25532921.99769820 -88033.28709888
2 29270 0.0690 343.5618 0005559 331.2804 8.0552 1.00275324 06	2 29270 1864.23681527 2447.34397016 -0.31353016
0 2017.01.31 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1418	0 2017.01.31 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1418
1 29270U 06000A 17031.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 33965941.12585557 -24940912.05498211 -87946.31139491
2 29270 0.0681 344.8694 0005562 329.8838 9.1485 1.00276136 07	2 29270 1821.00813253 2479.65711765 -0.30793236

## Продовження таблиці В.3

0 2017.02.01 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1391	0 2017.02.01 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1391
1 29270U 06000A 17032.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 34388360.48312440 -24359678.08816163 -87980.93773212
2 29270 0.0669 346.3819 0005433 334.0253 4.4764 1.00268584 01	2 29270 1778.26702015 2510.33232843 -0.27419169
0 2017.02.02 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1425	0 2017.02.02 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1425
1 29270U 06000A 17033.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 34798616.63141410 -23769706.47052578 -88438.98146386
2 29270 0.0662 348.5277 0005524 332.1689 5.1620 1.00269051 08	2 29270 1735.22920746 2540.25509360 -0.21874781
0 2017.02.03 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1433	0 2017.02.03 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1433
1 29270U 06000A 17034.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 35199244.14539555 -23171833.91884516 -89226.06607472
2 29270 0.0654 350.4958 0005580 330.3840 5.9546 1.00269936 05	2 29270 1691.64270309 2569.48681821 -0.14332414
0 2017.02.04 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437	0 2017.02.04 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1437
1 29270U 06000A 17035.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 35590056.68050250 -22566257.28734310 -90645.16913577
2 29270 0.0648 352.7848 0005655 328.6951 6.3312 1.00270564 02	2 29270 1647.51339510 2598.02255070 -0.06837701
0 2017.02.05 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1432	0 2017.02.05 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1432
1 29270U 06000A 17036.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 35970960.76646508 -21953013.52183272 -92483.30339514
2 29270 0.0644 355.0260 0005744 327.2798 6.4833 1.00270969 03	2 29270 1602.83686836 2625.86206352 -0.00764568
0 2017.02.06 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1435	0 2017.02.06 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1435
1 29270U 06000A 17037.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 36341773.67879835 -21332342.19049487 -94643.68733009
2 29270 0.0643 357.4042 0005836 325.8248 6.5393 1.00271184 04	2 29270 1557.61832489 2652.99364187 0.01855554
0 2017.02.07 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1398	0 2017.02.07 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1398
1 29270U 06000A 17038.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 36702251.96034005 -20704573.04114402 -96767.07956661
2 29270 0.0644 359.6166 0005954 324.7507 6.3820 1.00271119 04	2 29270 1511.87195219 2679.39841260 0.02266051
0 2017.02.08 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1283	0 2017.02.08 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1283
1 29270U 06000A 17039.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 37052400.97387797 -20069682.01488943 -98082.93269719
2 29270 0.0648 1.1249 0006103 324.3137 6.2935 1.00271020 08	2 29270 1465.59189513 2705.06633181 -0.00500840
0 2017.02.09 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1413	0 2017.02.09 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1413
1 29270U 06000A 17040.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 37391564.72769982 -19429514.70573764 -100453.27933176
2 29270 0.0643 5.0844 0006097 321.9321 5.7001 1.00271163 03	2 29270 1418.85257919 2729.92292787 -0.10195785
0 2017.02.10 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1414	0 2017.02.10 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1414
1 29270U 06000A 17041.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 37720082.39992107 -18782560.46271338 -100978.18898993
2 29270 0.0649 6.1925 0006194 322.2305 5.2798 1.00271436 06	2 29270 1371.62165231 2754.00703796 -0.12487510
0 2017.02.11 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1435	0 2017.02.11 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1435
1 29270U 06000A 17042.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 38037765.54562840 -18129897.13725241 -101458.24804916
2 29270 0.0653 7.8871 0006225 322.1884 4.6156 1.00271861 08	2 29270 1323.93264181 2777.27167244 -0.15316176

## Продовження таблиці В.3

0 2017.02.12 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1418	0 2017.02.12 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1418
1 29270U 06000A 17043.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 38344680.18332583 -17471242.51030161 -101442.83022540
2 29270 0.0655 9.1134 0006201 322.5281 4.0396 1.00272590 06	2 29270 1275.78939652 2799.71335705 -0.15206669
0 2017.02.13 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1432	0 2017.02.13 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1432
1 29270U 06000A 17044.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 38641609.18586420 -16806249.65940204 -95223.00463845
2 29270 0.0593 3.7791 0005675 329.5651 3.3303 1.00278275 04	2 29270 1227.10415333 2821.26469112 -0.28425755
0 2017.02.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1423	0 2017.02.14 12:00:00 10 1x0 2x0 4x0 5x0 2x1 4x1 5x1 4x2 5x2 5x4 1423
1 29270U 06000A 17045.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 38932805.51331773 -16118299.54103975 -66215.41663935
2 29270 0.0777 324.0600 0005842 4.8503 8.7756 1.00279737 06	2 29270 1177.04945806 2842.55097412 1.29590041
0 2017.02.15 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1405	0 2017.02.15 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1405
1 29270U 06000A 17046.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 39209342.91980185 -15451119.75662966 -70719.32136065
2 29270 0.0000 345.7186 0002884 338.6378 14.3204 1.00271387 09	2 29270 1127.84087342 2862.03067096 1.32232423
0 2017.02.16 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1414	0 2017.02.16 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1414
1 29270U 06000A 17047.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 39466765.07610187 -14782178.54031933 -66794.05987588
2 29270 0.0025 312.5050 0003353 13.0397 14.1081 1.00270036 06	2 29270 1079.01918405 2880.74990330 1.40246738
0 2017.02.17 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1416	0 2017.02.17 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1416
1 29270U 06000A 17048.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 39712993.88390206 -14108602.37831518 -67831.53119731
2 29270 0.0003 319.1689 0003368 7.0747 14.3867 1.00270396 04	2 29270 1029.82944824 2898.65264847 1.42084043
0 2017.02.18 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1411	0 2017.02.18 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1411
1 29270U 06000A 17049.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 39951371.78717722 -13426525.43373462 -60533.06339281
2 29270 0.0002 304.3258 0003663 24.1582 13.1291 1.00272133 05	2 29270 979.98800351 2915.65970489 0.18395972
0 2017.02.19 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1394	0 2017.02.19 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1394
1 29270U 06000A 17050.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 18	1 29270 40171899.51217527 -12744822.87640925 -69849.93348388
2 29270 0.0712 331.8828 0004715 7.4362 3.2700 1.00271286 03	2 29270 930.30590317 2932.05500436 1.52887012
0 2017.02.20 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1358	0 2017.02.20 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1358
1 29270U 06000A 17051.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 19	1 29270 40384137.04234910 -12055361.01211812 -71018.56201660
2 29270 0.0713 332.9950 0004697 7.1592 3.4162 1.00271594 09	2 29270 880.01717520 2947.53521182 1.61028313
0 2017.02.21 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1096	0 2017.02.21 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1096
1 29270U 06000A 17052.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 10	1 29270 40584766.61554518 -11361276.88538760 -72452.84742051
2 29270 0.0718 334.3590 0004686 6.6199 3.5742 1.00271893 02	2 29270 829.39710490 2962.18486741 1.65670874
0 2017.02.22 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2017.02.22 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 17053.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 11	1 29270 40773667.88644394 -10663014.31911003 -73895.70022895
2 29270 0.0707 335.0720 0004688 6.6653 3.7993 1.00271771 05	2 29270 778.47095962 2975.98757467 1.63898561

## Продовження таблиці В.3

0 2017.02.23 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2017.02.23 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 17054.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 12	1 29270 40950654.99250021 -9960806.83406900 -75018.41212316
2 29270 0.0703 335.8266 0004694 6.6104 4.0842 1.00271652 07	2 29270 727.25463398 2988.94174819 1.61989993
0 2017.02.24 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2017.02.24 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 17055.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 13	1 29270 41115659.78257803 -9254990.40699903 -75789.33783133
2 29270 0.0697 336.3658 0004714 6.5185 4.6223 1.00271363 09	2 29270 675.76653157 3001.03386671 1.58755332
0 2017.02.25 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440	0 2017.02.25 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1440
1 29270U 06000A 17056.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 14	1 29270 41268593.46807101 -8545990.99848673 -76235.13665922
2 29270 0.0000 339.0206 0003833 349.9415 19.5316 1.00271158 07	2 29270 624.02893056 3012.25003621 1.55716440
0 2017.02.26 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1404	0 2017.02.26 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1404
1 29270U 06000A 17057.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 15	1 29270 41410580.69565591 -7832614.67851951 -69678.74155044
2 29270 0.0638 328.2465 0004108 14.5047 6.7314 1.00277527 05	2 29270 571.89988771 3022.47066442 1.29553174
0 2017.02.27 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1433	0 2017.02.27 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1433
1 29270U 06000A 17058.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 16	1 29270 41541247.53057445 -7102667.14647005 -37950.16689596
2 29270 0.0000 345.0439 0003570 24.6588 340.7776 1.00274689 09	2 29270 518.77325237 3032.12296932 2.25899853
0 2017.02.28 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439	0 2017.02.28 12:00:00 6 1x0 4x0 5x0 4x1 5x1 5x4 1439
1 29270U 06000A 17059.50000000 .00000000 00000-0 00000-0 0 17	1 29270 41659566.91196290 -6371634.84239606 -37321.01844541
2 29270 0.0003 305.6348 0002796 33.6049 12.2524 1.00274500 08	2 29270 465.45241869 3040.79341294 2.24193411

## ДОДАТОК Г

### Список публікацій

#### Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Бушуев Ф.И. Определение дальности до телекоммуникационных геостационарных спутников с использованием сигналов спутникового телевидения/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сливинский А.П., Шульга А.В. // Радиофизика и радиоастрономия. – 2012. – Т.17, №3. – С. 282–290.
2. Бушуев Ф.И. Метод и первые результаты определения разности наклонных дальностей до телекоммуникационных геостационарных спутников/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сибирякова Е.С., Шульга А.В., Горбанёв Ю.М.// Радиофизика и радиоастрономия. – 2015. – Т. 20, №3. – С. 238–246.
3. Бушуев Ф.И. Радиотехнический комплекс для определения координат телекоммуникационного геостационарного спутника/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сибирякова Е.С., Шульга А.В., Москаленко С.С., Балагура О.А., Кулишенко В.Ф.// Космічна наука і технологія. – 2016. – Т. 22, №3. – С. 50–59.
4. Bushuev F. Results of the ongoing monitoring of the position of a geostationary telecommunication satellite by the method of spatially separated basis receiving of digital satellite television signals/ Bushuev F., Kaliuzhnyi M., Sybiryakova Ye., Shulga O., Moskalenko S., Balagura O., Kulishenko V.// Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2016. Vol. 53, No. 5 . –P. 5–16.
5. Kaliuzhnyi M. International network of passive correlation ranging for orbit determination of a geostationary satellite/ Kaliuzhnyi M., Bushuev F., Shulga O., Sybiryakova Ye., Shakun L., Bezrukovs V., Moskalenko S., Kulishenko V., Malynovskyi Ye.// Odessa astronomical publications. – 2016. Vol. 29, – P. 203–206.

#### Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Bushuev F.I. Using signals of satellite television to determine the distance to telecommunications geostationary satellites/ Kalyuzhny N.A, Shulga A.V.,

- Slivinsky A.P.// The Abstract Book of the International Conference “Astronomical Research: From Near-Earth Space to the Galaxy”. Mykolaiv, Ukraine, 2011. — P. 13-14.
7. Бушуев Ф.И. Контроль вариаций дальности телекоммуникационных геостационарных спутников по базисным наблюдениям станций приема спутникового телевидения/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Шульга А.В., Сливинский А.П.// Тезисы докладов на IV Международном специализированном симпозиуме «Космос и глобальная безопасность человечества». Евпатория, 2012. — С. 86-87.
  8. Bushuev F.I. Interferometer for observation of geostationary telecommunication satellite/ Bushuev F.I., Kalyuzhny N.A., Shulga A.V., Kozyrev Ye.S.// Proceedings of the International conference «International meeting on variable stars research Kolos 2012». — Режим доступа: [http://www.astrokolonica.sk/uploads/files/kozyrev\\_interferometer.pdf](http://www.astrokolonica.sk/uploads/files/kozyrev_interferometer.pdf). — Назва з екрану.
  9. Бушуев Ф.И. Перспективы непрерывного контроля положения ТК ГСС методом базисного приема сигналов спутникового телевидения/ Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Сибирякова Е.С., Халолей М.И., Шульга А.В.//Тези докладів конференції «Щорічна робоча нарада Української мережі лазерної локації та української мережі оптичних станцій (УМОС)». Миколаїв, 2013. — С. 14-15.
  10. Bushuev F. Results of the continuous monitoring of the position of a geostationary telecommunication satellite by the method of spatially separated receiving signals of digital satellite television/ Bushuev F., Kaliuzhnyi M., Shulga O.// The Abstract Book of the 4th International Scientific Conference “Baltic Applied Astrominformatics and Space Data Processing (BAASP)”. Ventspils, Latvia, 2015. — P. 15-16.
  11. Бушуев Ф.И. Визначення координат телекомунікаційних геостационарних супутників методом радіоінтерферометрії сигналів цифрового супутникового телебачення/ Бушуев Ф.И., Калюжный М.П., Сибирякова Є.С., Шульга О.В., Москаленко С.С., Балагура О.А., Кулішенко В.Ф.// Тези доповідей

конференції «15-а Українська конференція з космічних досліджень». Одеса, 2015. — С. 161.

12. Shakun L. Passive correlation ranging of a geostationary satellite using DVB-S payload signals/ Shakun L., Bushuev F., Kaliuzhnyi M, Shulga O., Sybiryakova Ye., Bezrukovs V., Moskalenko S., Kulishenko V., Balagura O.// The Abstract Book of the 16-th Odessa International Astronomical Gamow Conference-School “Astronomy and beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Cosmomicrophysics, Radio-astronomy and Astrobiology”. Odessa, Ukraine, 2016. — P. 45.
13. Kaliuzhnyi M.P. Monitoring of the orbital position of geostationary satellite by the spatially separated reception of signals of digital satellite television/ Kaliuzhnyi M.P., Bushuev F.I., Sybiryakova Y.S., Shulga O.V., Shakun L.S., Bezrukovs V., Kulishenko V.F., Moskalenko S.S., Malynovskyi Ye.V., Balagura O.A.// The Abstract Book of the International Conference “Actual Questions of Ground-Based Observational Astronomy”. Mykolaiv, Ukraine, 2016. — P. 14-15.

#### **Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

14. Калюжний М.П. «Синхронізація по GPS користувальницьких програм та часу персонального комп'ютера під управлінням ОС Windows (SYNNAO)»/ Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №47746, від 11.02.2013.
15. Калюжний М.П. «Визначення відносної затримки сигналу по функції взаємної кореляції (DELNAO)». Авторське свідоцтво на програмний продукт/ Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №53285, від 24.01.2014.
16. Пасивний кореляційний спосіб визначення положення космічного апарата / Калюжний М.П., Шульга О.В., Бушуєв Ф.І. // Заява про видачу патенту України на корисну модель UA04-ІК/567. Державна служба інтелектуальної власності Український інститут інтелектуальної власності. 23.03.2017.