

УДК 520.874.7  
№ держреєстрації 0107v003130

Головна астрономічна обсерваторія  
Національної академії наук України  
(ГАО НАНУ)  
03680, м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 27,  
тел. 8 (044) 526-3110

**ПОГОДЖЕНО**

Директор ГАО НАН України

\_\_\_\_\_ Я.С.Яцків  
м.п.

«30» жовтня 2008 р.

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Заступник міністра

\_\_\_\_\_ М.В.Стріха  
м.п.

«30» жовтня 2008 р.

**ЗАКЛЮЧНИЙ ЗВІТ**  
**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**  
**«Високоточне і узгоджене визначення обертання Землі**  
**і Земної/Небесної систем відліку»**

Керівник НДР  
с.н.с. ГАО НАНУ  
к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ р.  
«30» жовтня 2008

С.Л. Болотін

2008 р.

Рукопис закінчено «30» жовтня 2008 р.  
Звіт затверджено на засіданні Вченої ради ГАО НАН України  
Протокол № 17 від 13 листопада 2008 р.

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР  
с.н.с. ГАО НАНУ  
к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ р.  
«30» жовтня 2008

С.Л. Болотін,  
(реферат, вступ,  
розділ 1, розділ 3,  
розділ 4,  
рекомендації, висновки)

Відповідальний виконавець  
зав. лабораторією ГАО НАНУ  
к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ р.  
«30» жовтня 2008

О.В. Болотіна  
(розділ 1, розділ 2,  
розділ 3,  
рекомендації, висновки)

Відповідальний виконавець  
с.н.с. ГАО НАНУ  
к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ р.  
«30» жовтня 2008

О.О. Хода  
(розділ 1, розділ 3,  
рекомендації, висновки)

Відповідальний виконавець  
м.н.с. ГАО НАНУ

\_\_\_\_\_ р.  
«30» жовтня 2008

М.О. Литвин  
(розділ 1,  
рекомендації, висновки)

**РЕФЕРАТ**

*Звіт по НДР - 46 с., 10 рис., 14 джерел.*

*Об'єкт дослідження - методики та алгоритми сумісного аналізу спостережень різних технік космічної геодезії та геодинаміки.*

*Мета роботи - підвищення точності визначення параметрів обертання Землі та побудови Земної і Небесної систем координат.*

*Метод дослідження - порівняльний аналіз результатів застосування методик та алгоритмів сумісного аналізу спостережень різних технік космічної геодезії та геодинаміки.*

*Отримані результати -*

Було проаналізовано і описано особливості дослідження динаміки Землі РНДБ-, ЛЛС- та GPS-техніками спостережень. Окреслено коло проблем, які виникають при роздільній обробці РНДБ-, ЛЛС- та GPS-спостережень. Перелічено переваги сумісної обробки спостережень.

Представники ГАО НАН України ознайомились зі структурою та основними принципами побудови програмних забезпечень «CATREF», «GINS» та «DYNAMO».

Представники Паризької обсерваторії ознайомились зі структурою та основними принципами побудови програмного забезпечення «SteelBreeze».

В ГАО НАН України було розроблено оригінальну методику та створено алгоритми сумісної обробки ЛЛС-, РНДБ-, GPS-спостережень, при якому їх комбінація відбувається на етапі формування системи умовних рівнянь. Було розроблено алгоритм оцінювання одноіменних параметрів, які мають різні інтервали існування. Програмна реалізація даного алгоритму здійснена на базі програмного забезпечення «SteelBreeze». Було проведено обробку реальних спостережень при використанні розробленого алгоритму.

Сумісний аналіз спостережень різних типів космічної геодезії та геодинаміки можливий лише за умови включення в аналіз даних, отриманих на станціях колокації. Було проведено дослідження стабільності геодезичних прив'язок між пунктами спостережень на прикладі станції колокації «Сімеїз-Кацівелі».

Було виконано порівняння різних версій рядів параметрів обертання Землі (ПОЗ), отриманих в Паризькій обсерваторії (Observatoire de Paris, Paris, France) за допомогою «GINS»/«DYNAMO» за результатами сумісного аналізу РНДБ-, ЛЛС-, GPS- та DORIS-спостережень, з:

- рядами ПОЗ EOP\_C04\_05;
- рядами ПОЗ, обчисленими окремо за даними комбінованого аналізу ЛЛС-спостережень, РНДБ-спостережень та GPS-спостережень;

- рядом ПОЗ, обчисленим в ГАО НАН України за даними РНДБ-спостережень за допомогою програмного забезпечення «SteelBreeze».

Було виявлено та зроблено аналіз виявлених систематичних похибок в рядах параметрів обертання Землі (ПОЗ), отриманих за допомогою програмного забезпечення «GINS»/«DYNAMO» та в рядах ПОЗ, обчислених окремо за даними комбінованого аналізу ЛЛС- та GPS-спостережень. Було досліджено причини виникнення систематичних похибок.

Зроблено спектральний аналіз вказаних вище рядів ПОЗ та рядів OAM і AAM, які містять інформацію про зміну стану океану й атмосфери відповідно.

Виконано геофізичну інтерпретацію отриманих результатів.

**Зміст**

Перелік умовних позначень.....	6
Вступ.....	7
Розділ 1. <i>Аналіз алгоритмів та методів сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів.....</i>	9
Розділ 2. <i>Дослідження стабільності локальних геодезичних прив'язок між пунктами спостережень станцій колокації.....</i>	18
Розділ 3. <i>Дослідження рядів ПОЗ.....</i>	23
Розділ 4. <i>Дослідження впливу атмосфери та океану на рух полюсу та обертання Землі.....</i>	32
Висновки.....	38
Рекомендації щодо сумісного аналізу спостережень різних технік космічної геодезії та геодинаміки.....	41
Апробація результатів досліджень.....	42
Перелік опублікованих та поданих праць.....	43
Перелік посилань.....	44

**Перелік умовних позначень**

CIP	Небесний проміжний полюс
DORIS	Доплерівські спостереження штучних супутників Землі
dUT1	UT1-UTC, нерівномірність обертання Землі
EPN	Європейська мережа постійно діючих GPS-станцій
FCN	Вільна нутація ядра Землі
GNSS	Глобальна навігаційна супутникова система
GPS	Глобальна система визначення місцеположення
IERS	Міжнародна служба обертання Землі та базових систем координат
IGS	Міжнародна GNSS-служба
ICRF	Міжнародна небесна система відліку
ICRF	Міжнародна небесна система координат
ILRS	Міжнародна ЛЛС-служба
ITRF	Міжнародна земна система відліку
ITRS	Міжнародна земна система координат
IVS	Міжнародна служба РНДБ для задач астрометрії та геодинаміки
AAM	Кутовий момент атмосфери
ГНСС	Глобальні Навігаційні Системи Супутників
ЗСК	Земна система координат
ЛЛМ	Лазерна локація Місяця
ЛЛС	Лазерна локація ШСЗ
НСК	Небесна система координат
ОАМ	Кутовий момент океану
ПЗ	Програмне забезпечення
ПОЗ	Параметри орієнтації Землі
РНДБ	Радіоінтерферометрія з наддовгими базами
ШСЗ	Штучні супутники Землі

## **Вступ**

Науково-дослідна робота (НДР) «Високоточне і узгоджене визначення обертання Землі і Земної/Небесної систем відліку» виконувалась спільними зусиллями представників ГАО НАН України та Паризької обсерваторії протягом півтора року: з 1 квітня 2007 р. по 31 жовтня 2008 р.

НДР була розбита на п'ять етапів, під час яких проводились дослідження в чотирьох напрямках:

- I) Аналіз алгоритмів та методів сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів.*
- II) Дослідження стабільності локальних геодезичних прив'язок між пунктами спостережень станцій колокації.*
- III) Дослідження рядів ПОЗ.*
- IV) Дослідження впливу атмосфери та океану на рух полюсу та обертання Землі.*

В цілому, за час виконання НДР, за даними напрямками були виконані такі роботи.

(I)

- 1) Було проаналізовано і описано особливості дослідження динаміки Землі РНДБ-, ЛЛС- та GPS-техніками спостережень. Окреслено коло проблем, які виникають при роздільній обробці РНДБ-, ЛЛС- та GPS-спостережень. Перелічено переваги сумісної обробки спостережень.
- 2) Представники ГАО НАН України ознайомились зі структурою та основними принципами побудови програмних забезпечень «CATREF», «GINS» та «DYNAMO». Представники Паризької обсерваторії ознайомились зі структурою та основними принципами побудови програмного забезпечення «SteelBreeze».
- 3) В ГАО НАН України було розроблено оригінальну методику та створено алгоритми сумісної обробки ЛЛС-, РНДБ-, GPS-спостережень, при якому їх комбінація відбувається на етапі формування системи умовних рівнянь. Було розроблено алгоритм оцінювання одноіменних параметрів, які мають різні інтервали існування. Програмна реалізація даного алгоритму здійснена на базі програмного забезпечення «SteelBreeze». Було проведено обробку реальних спостережень при використанні розробленого алгоритму.

(II)

- 4) Сумісний аналіз спостережень різних типів космічної геодезії та геодинаміки можливий лише за умови включення в аналіз даних, отриманих на станціях колокації. Було проведено дослідження стабільності геодезичних прив'язок між пунктами спостережень на прикладі станції колокації «Сімеїз-Кацівелі».

(III)

- 5) Було виконано порівняння різних версій рядів параметрів обертання Землі (ПОЗ), отриманих в Паризькій обсерваторії (Observatoire de Paris, Paris, France) за допомогою «GINS»/«DYNAMO» за результатами сумісного аналізу РНДБ-, ЛЛС-, GPS- та DORIS-спостережень, з рядами ПОЗ EOP\_C04\_05; рядами ПОЗ, обчисленими окремо за даними комбінованого аналізу ЛЛС-спостережень, РНДБ-спостережень та GPS-спостережень; рядом ПОЗ, обчисленим в ГАО НАН України за даними РНДБ-спостережень за допомогою програмного забезпечення «SteelBreeze».
- 6) Було виявлено та зроблено аналіз виявлених систематичних похибок в рядах параметрів обертання Землі (ПОЗ), отриманих за допомогою програмного забезпечення «GINS»/«DYNAMO» та в рядах ПОЗ, обчислених окремо за даними комбінованого аналізу ЛЛС- та GPS-спостережень. Було досліджено причини виникнення систематичних похибок.

(IV)

- 7) Зроблено спектральний аналіз вказаних вище рядів ПОЗ та рядів OAM і AAM, які містять інформацію про зміну стану океану й атмосфери відповідно. Виконано геофізичну інтерпретацію отриманих результатів.

На основі отриманих результатів були вироблені рекомендації щодо сумісного аналізу спостережень різних технік космічної геодезії та геодинаміки і побудови нової реалізації ITRS.

Результати досліджень, виконаних за звітний період, були представлені на міжнародних конференціях Journées "Systèmes de référence spatio-temporels" and X.Lohrmann-Kolloquium (22-24 вересня 2008 р., Дрезден, Німеччина), Journées "Systèmes de référence spatio-temporels" (17-19 вересня 2007 р., Париж, Франція) та робочій нараді «Діяльність української ЛЛС-мережі» (15-16 жовтня 2007 р., КЛО, АР Крим, Україна).

Під час виконання НДР було підготовлено п'ять наукових публікацій. З них: опубліковані три статті, подана до друку одна робота, одна публікація готується до подання.

## Розділ 1

### Аналіз алгоритмів та методів сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів

#### 1.1. Аналіз методів роздільного та сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки

Для проведення фундаментальних досліджень в області космічної геодинаміки використовуються наступні техніки сучасної геодезії [26, 29]:

- радіоінтерферометрія з наддовгими базами (РНДБ),
- лазерна локація штучних супутників Землі (ЛЛС),
- радіотехнічні спостереження супутників глобальних навігаційних систем (ГНСС),
- доплерівські спостереження ШСЗ,
- лазерна локація Місяця (ЛЛМ).

ГНСС включає системи GPS (США), ГЛОНАСС (Росія), Galileo (Європейський Союз). У зв'язку з тим, що Galileo знаходиться на стадії розробки, а ГЛОНАСС не є розвернутою в повному обсязі, надалі будемо говорити лише про радіотехнічні спостереження GPS супутників.

Техніка РНДБ полягає у визначенні часової затримки – різниці часу приходу хвильового фронту від позагалактичного радіоджерела на станції спостережень. Вона є геометричною за своєю суттю і має наступні особливості:

- спостерігаються позагалактичні радіоджерела, що дозволяє побудувати небесну систему координат (НСК) максимально наближену до інерціальної;
- спостереження проводяться на РНДБ-станціях, репери яких жорстко пов'язані з тілом Землі, що дає можливість побудувати земну систему координат (ЗСК);
- дозволяє визначати одночасно всі параметри обертання Землі (ПОЗ).

Ці фактори обумовлюють використання техніки РНДБ для розв'язання фундаментальних задач космічної геодинаміки, таких як:

- побудова реалізації ЗСК<sub>РНДБ</sub>, яка задається положеннями і швидкостями переміщень РНДБ-пунктів;
- побудова НСК, яка задається координатами позагалактичних радіоджерел;
- визначення параметрів обертання Землі ( $X_p, Y_p, dUT1, d\psi, d\epsilon$ )<sub>РНДБ</sub> – параметрів взаємного перетворення між ЗСК<sub>РНДБ</sub> і НСК, де ( $X_p, Y_p$ ) є координатами полюсу,  $dUT1$  – нерівномірністю обертання Землі, ( $d\psi, d\epsilon$ ) – поправками до кутів нутації в довготі та нахилі.

Лазерно-локаційні, радіотехнічні та доплерівські спостереження відносять до супутникових геодинамічних технік. Вони є динамічними за своєю суттю. Техніка лазерної локації полягає у визначенні відстаней до супутників

Землі, обладнаних кутовими відбивачами, за допомогою згенерованих лазером потужних оптичних імпульсів. Техніки радіотехнічних та доплерівських спостережень полягають у визначенні псевдовідстаней між супутниками, які передають спеціальні сигнали на декількох частотах, та приймачем. Супутникові техніки мають наступні особливості:

- спостерігаються супутники, які рухаються в гравітаційному полі Землі і пов'язані з її центром мас;
- спостереження проводяться на ЛЛС- та GPS-станціях, репери яких жорстко пов'язані з тілом Землі;
- існують труднощі при визначенні нерівномірності обертання Землі  $dUT1$ , викликані сильними кореляціями між  $dUT1$  з довготою висхідного вузла орбіт супутників.

Ці фактори обумовлюють використання технік ЛЛС та GPS для розв'язання наступних фундаментальних задач:

1. побудови реалізацій земної системи координат  $ZCK_{ЛЛС}$  та  $ZCK_{GPS}$ , які задаються положеннями та швидкостями переміщень ЛЛС- і GPS-пунктів спостережень відповідно;
2. визначення кутів взаємної орієнтації  $(X_p, Y_p, dUT1)_{ЛЛС}$  та  $(X_p, Y_p, dUT1)_{GPS}$  між відповідними реалізаціями земної системи координат і априорі заданою небесною системою координат.

Використання кожної техніки окремо має наступні недоліки:

- реалізації  $ZCK_{РНДБ}$ ,  $ZCK_{ЛЛС}$  та  $ZCK_{GPS}$  є різними, тому виникає задача дослідження узгодженості цих систем координат та приведення їх в єдину систему координат;
- вимагає накладання різних додаткових умов для фіксації реалізацій земної системи координат – фіксації координат вибраних станцій спостережень;
- вимагає задання небесної системи координат у разі використання технік ЛЛС та GPS;
- координати полюсу  $X_p, Y_p$ , отримані на один і той же момент часу техніками РНДБ, ЛЛС і GPS, не будуть тотожними, так як є кутами взаємної орієнтації між різними реалізаціями земної і небесної систем координат;
- проблематичність визначення нерівномірності обертання Землі  $dUT1$  супутниковими техніками;
- в різних реалізаціях програмного забезпечення використовуються різні константи, моделі та методи при моделюванні РНДБ-, ЛЛС- та GPS-спостережень, що викликає систематичні зміщення між відповідними системами координат.

Об'єднаний аналіз спостережень, отриманих техніками РНДБ, ЛЛС та GPS,

дозволяє уникнути цих проблем і дає можливість роз'язати весь комплекс фундаментальних геодинамічних задач:

- побудувати узгоджену реалізацію ЗСК, яка задається положеннями та швидкостями переміщень пунктів РНДБ-, ЛЛС-, GPS-спостережень;
- побудувати НСК, яка задається координатами позагалактичних радіоджерел;
- визначити параметри взаємного перетворення  $(X_p, Y_p, dUT1, d\psi, d\epsilon)$  між ЗСК та НСК з високою точністю.

Зважаючи на переваги, сумісна обробка РНДБ-, ЛЛС- та GPS-спостережень є актуальною задачею, розв'язанням якої займається ряд наукових центрів, зокрема ГАО НАН України та Паризька обсерваторія.

Можна виділити три підходи до сумісної обробки даних, отриманих різними техніками сучасної геодинаміки:

- комбінацію отриманих окремо за РНДБ-, ЛЛС- та GPS-даними незалежних розв'язків і визначення поправок для приведення їх в єдину систему [12,15, 19],
- комбінацію систем нормальних рівнянь, отриманих з аналізу спостережень окремих технік і подальшої їх сумісної обробки [4,5],
- об'єднаний аналіз РНДБ-, ЛЛС- та GPS-спостережень, при якому їх комбінація відбувається на етапі формування системи умовних рівнянь [2-3,18].

**Перший підхід щодо сумісної обробки даних**, отриманих різними техніками сучасної геодинаміки, полягає в комбінації отриманих окремо за РНДБ-, ЛЛС- та GPS- даними незалежних розв'язків шляхом визначення і врахування поправок для приведення їх в єдину систему [6,12]. Зауважимо, що незалежні розв'язки задають незалежну реалізацію ЗСК –  $ITRF_{ind}$ , незалежну реалізацію НСК –  $ICRF_{ind}$ , та параметри взаємного перетворення між цими системами  $(X_p, Y_p, dUT1, d\psi, d\epsilon)_{ind}$ .

Цей підхід умовно можна розділити на три етапи.

На першому етапі окремі незалежні розв'язки приводяться в єдину систему. При цьому вводяться додаткові припущення щодо апріорних даних та незалежних розв'язків. На цьому етапі лінійний тренд визначається для кожного незалежного розв'язку. Далі лінійний тренд виключається з кожного незалежного розв'язку. Після цієї процедури незалежний розв'язок вважається приведеним до апріорних систем.

На другому етапі обчислюються ваги для окремих незалежних розв'язків, приведених в єдину систему за методом «Three cornered hat».

На третьому етапі власне відбувається комбінація незалежних розв'язків в єдиній системі.

Даний підхід щодо сумісної обробки даних, отриманих різними техніками сучасної геодинаміки, не використовувався та не розроблявся в ГАО НАНУ.

**Другий підхід щодо сумісної обробки даних**, отриманих різними техніками сучасної геодинаміки, базується на комбінації систем нормальних рівнянь, отриманих з аналізу спостережень окремих технік, з метою їх подальшої сумісної обробки [4-5].

Наразі цей підхід використовується для побудови Міжнародних реалізацій земної та небесної систем координат -  $ITRF_{ref}$  і  $ICRF_{ref}$  - і в Паризькій обсерваторії для визначення параметрів обертання Землі.

Реалізовано даний алгоритм другого підходу щодо сумісної обробки даних в програмному забезпеченні «CATREF». Також реалізовано цей підхід в ГАО НАН України на базі програмного забезпечення «GAMIT»/«CLOBK» [21]. Дане програмне забезпечення не є розробкою ГАО НАН України. Проте оригінальні алгоритми, необхідні для реалізації сумісної обробки даних, були створені в ГАО НАН України і адаптовані в «GAMIT»/«CLOBK» [28].

Широке використання перших двох підходів щодо сумісної обробки даних, отриманих різними техніками сучасної геодинаміки, обумовлене доступністю окремих розв'язків та систем нормальних рівнянь для широкого кола користувачів в певному форматі і відсутністю необхідності створювати спеціальне програмне забезпечення для аналізу спостережень, отриманих різними техніками.

Основними недоліками першого та другого підходів щодо сумісної обробки даних, отриманих різними техніками сучасної геодинаміки, є:

- використання різних апріорних даних, систем констант, моделей і методів для аналізу спостережень окремих технік;
- часто невідомо, які дані використовуються як апріорні;
- часто невідомо, які саме моделі та методи використовувались при обробці спостережень окремих технік;
- при використанні першого підходу нерозв'язаною залишається проблема «додаткових умов»;
- окремі розв'язки та системи нормальних рівнянь «обтяжені» похибками програмних забезпечень за допомогою на яких вони отримані.

**Третій підхід** полягає в об'єднаному аналізі РНДБ-, ЛЛС- та GPS-спостережень, при якому їх комбінація відбувається на етапі формування системи умовних рівнянь. Можливість реалізації цього підходу дискутувалась в [2-6]. Вона потребує створення спеціального програмного забезпечення, яке би базувалось на певній системі математичних моделей і методів з метою отримання узгоджених оцінок геодинамічних параметрів. На сьогодні ряд наукових колективів проводить розробку методів та алгоритмів щодо третього підходу до сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів.

## 1.2. Структура та основні принципи побудови програмних забезпечень «CATREF», «GINS» та «DYNAMO».

**Програмне забезпечення «CATREF».** В програмних забезпеченнях «CATREF» і «GAMIT»/«CLOBK» реалізовано другий підхід щодо сумісної обробки даних. Проте вони суттєво різняться за методикою його реалізації. Кожна з реалізованих методик має певні переваги та недоліки. Основні методичні відмінності «CATREF» і «GAMIT»/«CLOBK» приведено в табл. 1.

Таблиця 1. Основні методичні відмінності програмних забезпечень «CATREF» і «GAMIT»/«CLOBK»

«GAMIT»/«CLOBK»	«CATREF»
<b>Апріорні дані</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Довільна система координат</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>ITRF_{ref}</math></li> </ul>
<b>Додаткові умови</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Назначаються довільні апріорні похибки параметрів</li> <li>• Пункти спостережень станцій колокації мають однакові швидкості.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Відсутність переміщення та обертання системи як цілого</li> </ul>
<b>Алгоритм введення додаткових умов</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вилучаються додаткові умови індивідуальних розв'язків.</li> <li>• Формується спільна система.</li> <li>• Накладаються додаткові умови об'єднаного розв'язку, які є однаковими для всіх індивідуальних, що ввійшли в спільну систему.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вилучаються додаткові умови індивідуальних розв'язків.</li> <li>• На кожен індивідуальний розв'язок накладаються додаткові умови об'єднаного розв'язку, які є різними для кожного індивідуального розв'язку.</li> <li>• Формується спільна система.</li> </ul>
<b>Вхідні дані</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обмежень немає</li> <li>• Індивідуальні розв'язки не перевіряються щодо наявності випадкових помилок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Індивідуальні розв'язки обов'язково повинні містити інформацію про:               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ координати пунктів спостережень,</li> <li>➢ швидкості зміни їх координат,</li> <li>➢ <math>X_p, Y_p, dUT1,</math></li> <li>➢ <math>dX_p/dt, dY_p/dt, ddUT1/dt.</math></li> </ul> </li> <li>• Індивідуальні розв'язки перевіряються щодо наявності випадкових помилок</li> </ul>
<b>Залежність від апріорних даних</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Реалізовано метод послідовних ітерацій: розв'язок не залежить від апріорних даних.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Не реалізовано метод послідовних ітерацій: існує сильна залежність розв'язку від апріорних даних.</li> </ul>

**Програмні забезпечення «GINS» та «DYNAMO».** Існують інші реалізації другого підходу щодо сумісної обробки даних. Розроблено і реалізовано відповідні алгоритми в незалежних програмних забезпеченнях «GINS» та «DYNAMO», які розробляються в Тулузькій і Паризькій обсерваторіях відповідно.

Програмні забезпечення «GINS» та «DYNAMO» можна розглядати як складові єдиного програмного продукту «GINS»/«DYNAMO», призначеного для визначення параметрів обертання Землі та координат пунктів спостережень. Розробка та експлуатація «GINS/DYNAMO» проходить під егідою координаційного проекту GRGS (Groupe de Recherchers de Geodesie Spatiale) [16, 23].

«GINS» є суб-програмним продуктом програмного забезпечення широкого спектра призначення «CNES». «GINS» призначений для аналізу спостережень п'яти різних типів космічної геодезії та геодинаміки [16]: РНДБ, ЛЛС, GPS, DORIS, ЛЛМ. В «GINS» використовуються апіорні динамічні і геометричні моделі. До апіорних динамічних моделей відносяться: модель гравітаційного поля EIGEN-GL04C, задача трьох тіл, модель земних припливів у відповідності до IERS Conventions 2003, модель океанічних припливів FES-2004, модель поля атмосферного тиску 6h\_ECMWF та баротропна модель океану MOG2D, модель термосфери DTM94bis, модель альbedo ECMWF. В якості апіорних геометричних моделей використовуються: апіорні координати станцій з ITRF2000 [8], апіорні параметри обертання Землі серії IERS EOP C 04, модель океанічних навантажень по FES-2004, атмосферні навантаження обчислюються по моделі атмосферного тиску над континентами 6h\_ECMWF.

Особливістю «GINS» є те, що при його використанні спостереження різних типів обробляються окремо. Результатом використання «GINS» є «тижневі» матриці системи нормальних рівнянь, отримані з аналізу окремих технік. Ці матриці є вхідними даними для програмного забезпечення «DYNAMO».

Програмне забезпечення «DYNAMO» створене для «маніпуляції» матрицями нормальних рівнянь [5-6]. А саме, при його застосування здійснюються наступні процедури: редукція, інвертування нормальних рівнянь, зважування рівнянь методом Хелмерта (Helmert method), комбінація нормальних рівнянь.

В процесі комбінації «тижневих» нормальних рівнянь в «DYNAMO» накладаються два наближення: мінімальні «обмеження» на варіації положень станцій та неперервність для ПОЗ.

Результатом використання «DYNAMO» є сумісний розв'язок: ПОЗ (визначаються з 6 годинним інтервалом), «тижневі» оцінки координат пунктів спостережень, параметрів тропосфери, тощо. Розв'язок виводиться в загальноприйнятому форматі SINEX. Схематично взаємодію програмних забезпечень «GINS» та «DYNAMO» показано на рис. 1.

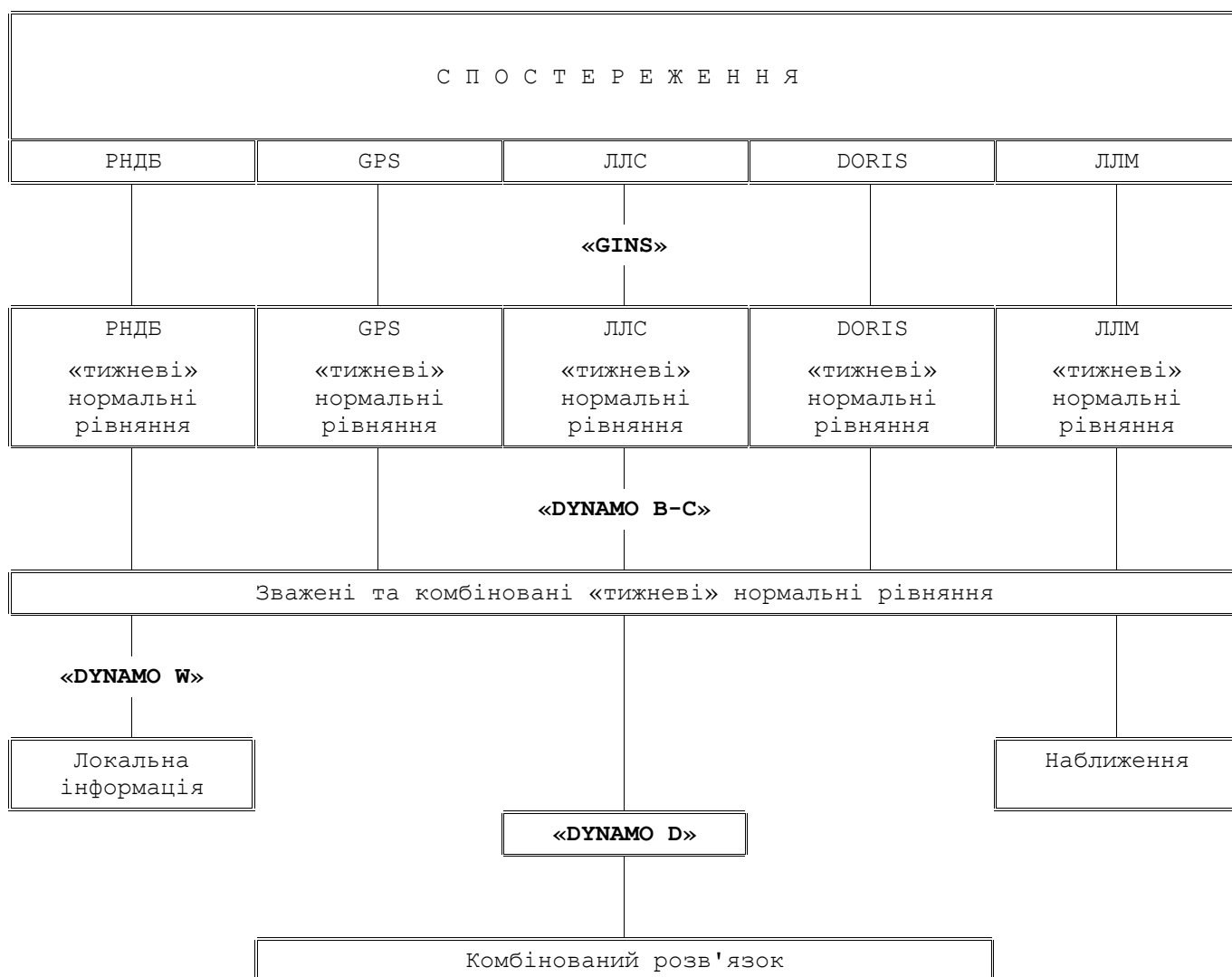


Рисунок 1. Схема взаємодії програмних забезпечень «GINS» та «DYNAMO».

Підкреслимо, що використання програмних забезпечень «GINS» та «DYNAMO» за описаною вище схемою, фактично є реалізацією другого підходу щодо сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів – об'єднання спостережень на рівні нормальних рівнянь. Крім того, програмні забезпечення «GINS» та «DYNAMO» працюють з «тижневими» спостереженнями, а не з тривалими рядами спостережень. Це значно скорочує розміри інформаційних масивів та час обробки даних.

### **1.3. Розроблений алгоритми сумісної обробки спостережень на рівні об'єднання умовних рівнянь.**

В ГАО НАН України було розроблено оригінальну методику та створено алгоритми сумісної обробки ЛЛС-, РНДБ- та GPS-спостережень, при якому їх комбінація відбувається на етапі формування системи умовних рівнянь. Зокрема, було розроблено алгоритм оцінювання одноіменних параметрів, які мають різні інтервали існування [26].

Програмна реалізація даного алгоритму здійснена на базі програмного забезпечення «SteelBreeze».

Було проведено обробку реальних спостережень при використанні розробленого алгоритму. Були отримані оцінки ПОЗ на інтервалі 12.12.1994-24.12.1994. На цьому інтервалі мали місце три РНДБ кампанії (CONT-94, NAVex, R&D) та сеанс мережі станцій спостережень NEOS-A, межі яких перекриваються.

При аналізі спостережень використовувались моделі, рекомендовані IERS Conventions 2003 [22]. Оцінки координат пунктів спостережень та радіоджерел були оцінені на повному інтервалі спостережень. Їх значення задавали апріорні ЗСК та НСК. Були отримані оцінки ПОЗ як для окремих мереж, так і для сумісного ряду спостережень (рис. 2).

Аналіз отриманих оцінок показав, що:

- запропонований алгоритм можна використовувати для сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів;
- запропонований алгоритм оцінки параметрів приводить до зменшення розмірів інформаційних масивів, що суттєво зменшує час обробки даних;
- при використанні запропонованого алгоритму оцінки ПОЗ, отримані з сумісного ряду спостережень, є згладженими відносно значень ПОЗ, отриманих з аналізу спостережень окремих мереж.

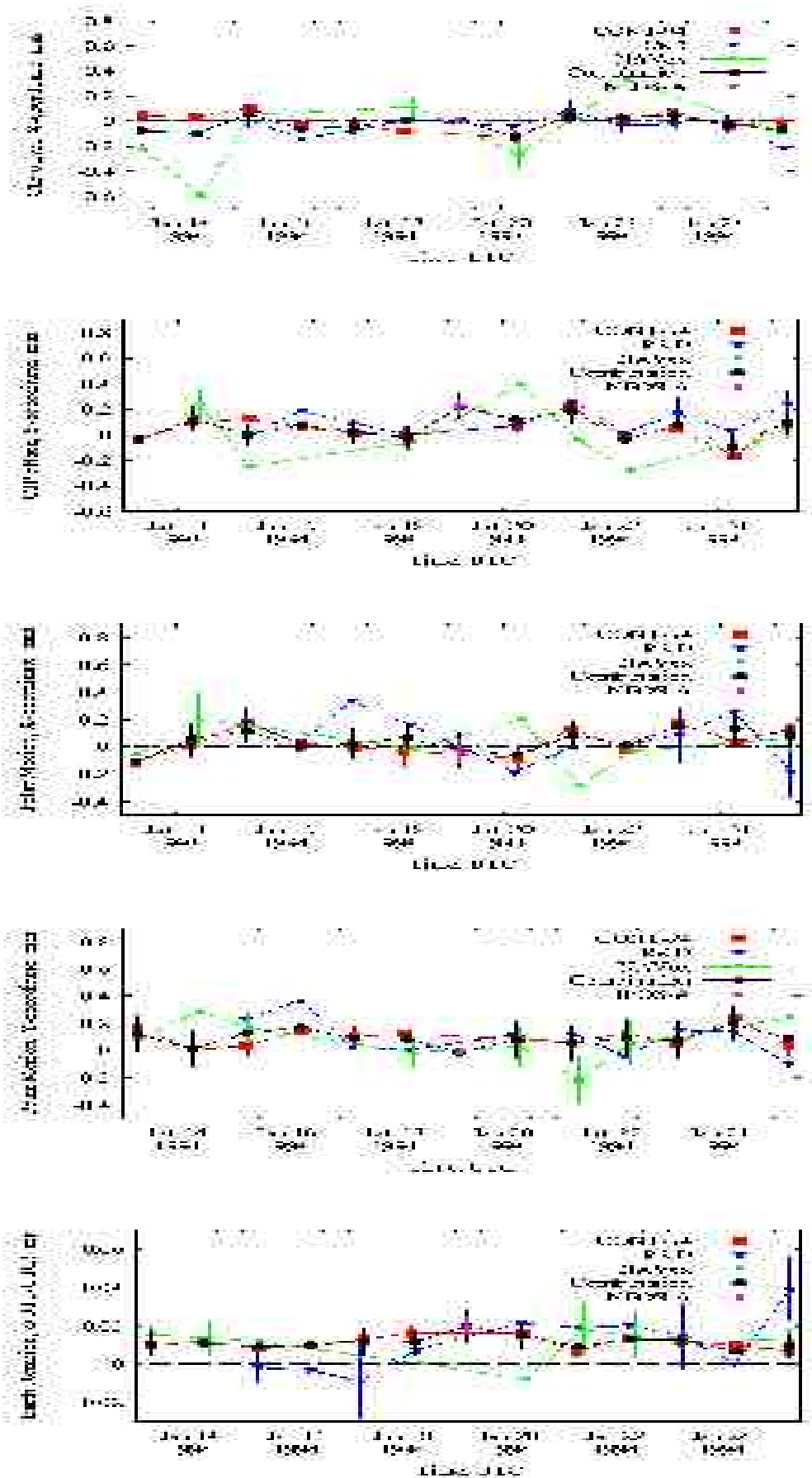


Рисунок 2. Оцінки ПОЗ для окремих мереж і для сумісного ряду спостережень.

## Розділ 2

### **Дослідження стабільності локальних геодезичних прив'язок між пунктами спостережень станцій колокації**

Визначення високоточних геодезичних прив'язок між реперними точками пунктів спостережень станцій колокації та дослідження їх динаміки є пріоритетними задачами сучасної космічної геодезії та геодинаміки. Їх розв'язання дозволить вирішити наступні проблеми:

- узгодити різні реалізації Міжнародної земної системи відліку ;
- здійснювати контроль визначень координат пунктів спостережень ЛЛС-, РНДБ-, GPS-, DORIS-методами космічної геодезії;
- виявити систематичні похибки ЛЛС-, РНДБ-, GPS-, DORIS-методів;
- реалізувати сумісний аналіз різних типів спостережень космічної геодезії на рівні об'єднання умовних рівнянь;
- досліджувати локальні рухи пунктів (деформації) геодезичних полігонів на яких розташовані станції колокації.

З метою визначення геодезичних прив'язок на станціях колокації проводять геодезичні кампанії. Проведення геодезичної кампанії передбачає побудову на геодезичному полігоні високоточної локальної геодезичної лінійно-кутової мережі, та використання спеціалізованих методів прив'язки реперних точок пунктів спостережень космічної геодезії та геодинаміки до точок мережі.

Періодичне проведення геодезичних кампаній на одному й тому ж геодезичному полігоні дозволяє перевизначати геодезичні прив'язки та шляхом порівняльного аналізу досліджувати динаміку їх змін з часом і відслідковувати локальні рухи пунктів спостережень.

Порівняння отриманих геодезичними методами прив'язок між реперними точками пунктів спостережень станції колокації з різницями відповідних координат, одержаних методами космічної геодезії та геодинаміки, дозволяє, зокрема, здійснювати контроль визначень координат та швидкостей пунктів ЛЛС-, РНДБ-, GPS-, DORIS-спостережень.

Під час II етапу даної НДР досліджувалась динаміка геодезичних прив'язок між реперними точками пунктів спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі» за період з 1994 р. по 2004 р. та було виконане порівняння з визначеннями координат і швидкостей пунктів ЛЛС-, РНДБ-, GPS-спостережень методами космічної геодезії та геодинаміки.

Станція колокації «Сімеїз-Кацівелі» є однією з двох українських станцій колокації космічної геодезії та геодинаміки. На локальному геодезичному полігоні «Сімеїз-Кацівелі» знаходяться чотири постійно діючі пункти спостережень: РНДБ-станція «Сімеїз» (маркер S008), GPS-станція

«Сімеїз» (маркер M002), ЛЛС-станція «Сімеїз» (маркер S003) та ЛЛС-станція «Кацівелі» (маркер S006). Punkти спостережень входять до складу Української мережі станцій космічної геодезії та геодинаміки [33], є ланками Європейської перманентної GPS-мережі (EPN) і Міжнародної GNSS служби, Міжнародної РНДБ-служби та Міжнародної служби лазерної локації (ILRS) відповідно, характеризуються значною - до 15 років - історією спостережень.

На локальному геодезичному полігоні «Сімеїз-Кацівелі» мали місце дві геодезичні кампанії: в 1994 р. та в 2004 р [30]. Аналіз результатів геодезичних кампаній показав наступне.

- Локальні геодезичні прив'язки між пунктами спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі» не є постійними на інтервалі часу 1994.7-2004.7. Це є ознакою нестабільності геодезичного полігону в цілому.
- Різниці оцінок геодезичних прив'язок за період 1994.7-2004.7 між різними пунктами спостережень полігону не співпадають. Це свідчить про існування локальних рухів пунктів спостережень станції колокації, зокрема про різну швидкість зміни координат пунктів спостережень, що може бути викликане локальними подвійками ґрунту, локальними розломами, тощо. З цього випливає необхідність регулярних перевизначень локальних прив'язок між пунктами полігону, про що вказувалось і в [30].
- Зміну оцінок геодезичних прив'язок  $\Delta R(T)_{\{i-j\}}$  між  $i$ -м та  $j$ -м пунктами спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі» за період 1994.7-2004.7 на даному етапі досліджень можна представити лінійною залежністю (моделлю).
- Швидкість зміни геодезичних прив'язок між пунктами спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі» за даними геодезичних вимірювань за період 1994.7-2004.7 становить:

$$\Delta V_{\{S003-S008\}} = \{ -0.0016; 0.0008; -0.0006 \} \text{ м/р.},$$

$$\Delta V_{\{S006-S008\}} = \{ 0.0015; 0.0011; -0.0045 \} \text{ м/р.},$$

$$\Delta V_{\{S006-S003\}} = \{ -0.0031; 0.0003; -0.0039 \} \text{ м/р.}$$

- В силу особливостей розташування швидкість зміни геодезичних прив'язок між GPS-пунктом «Сімеїз» і РНДБ-пунктом «Сімеїз» можна вважати рівною швидкості зміни геодезичних прив'язок між ЛЛС-пунктом "Сімеїз" і РНДБ-пунктом «Сімеїз»:

$$\Delta V_{\{M002-S008\}} = \{ -0.0016; 0.0008; -0.0006 \} \text{ м/р.}$$

- Оцінки геодезичних прив'язок між пунктами спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі» в системі ITRF2000 на стандартну епоху  $T_0=1997.0$  за даними геодезичних вимірювань становлять:

$$\Delta R(T_0)_{\{S003-S008\}} = \{ -1328.6270; 197.5018; 1461.0646 \} \text{ м},$$

$$\Delta R(T_0)_{\{S006-S008\}} = \{ 713.4981; -426.8725; -335.0783 \} \text{ м},$$

$$\Delta R(T_0)_{\{S006-S003\}} = \{ 2042.1251; -624.3743; -1796.1430 \} \text{ м,}$$

$$\Delta R(T_0)_{\{M002-S008\}} = \{ -1333.7640; 196.8908; 1467.8496 \} \text{ м.}$$

Отримані за результатами геодезичних кампаній оцінки були порівняні з величинами, отриманими при побудові ITRF2000. Виявилось, що відповідні оцінки не співпадають. Існування виявлених розбіжностей може бути наслідком:

- недосконалості та наявності систематичних похибок методу сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів, який використовувався при побудові ITRF2000, що проявляється в некоректному (неузгодженому) визначенні оцінок координат пунктів;
- некоректного при створенні ITRF2000 та інших реалізацій ITRF припущення про те, що швидкості всіх пунктів спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі» є однаковими і незмінними з часом;
- некоректного визначення оцінки швидкості пунктів спостережень станції колокації, яка в ITRF2000 становить:

$$V_0 = \{ -0.0198; 0.0164; 0.0084 \} \text{ м/р.}$$

Також зауважимо, що всі пункти спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі» мають однаковий DOMES-номер (ідентифікатор сайту). В реалізації деяких програмних забезпечень для аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки закладено умову, за якою оцінки швидкостей пунктів спостережень з однаковим DOMES-номером співпадають. Проте, у деяких випадках така умова не є коректною. Очевидно, це є однією з особливостей і методу сумісного аналізу спостережень, який використовувався при побудові ITRF2000.

Отримані за результатами геодезичних кампаній оцінки були порівняні з величинами, отриманими з роздільного аналізу РНДБ-, ЛЛС- та GPS- спостережень (індивідуальні розв'язки). Координати та швидкості РНДБ-, ЛЛС- та GPS-пунктів спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі» неодноразово визначались за даними спостережень космічної геодезії та геодинаміки в центрі аналізу РНДБ-спостережень, центрі аналізу ЛЛС-спостережень та локальному центрі аналізу GPS-даних ГАО НАН України відповідно.

Порівняльний аналіз індивідуальних розв'язків з визначеними геодезичними методами оцінками показав, що різниці координат пунктів спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі», отримані на основі індивідуальних розв'язків не узгоджуються з визначеними геодезичними методами локальними прив'язками.

Існування залишкових різниць може бути пов'язане з:

- наявністю систематичних похибок індивідуальних розв'язків,
- неузгодженістю індивідуальних ЛЛС-, РНДБ- та GPS-реалізацій ITRF,

- неврахованими локальними рухами пунктів спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі», що співпадає з висновками, зробленими в [31-32],
- господарчою діяльністю людини, як вказувалось в [31-32].

Існування залишкових різниць може бути наслідком зміщення та відмінності орієнтації індивідуальної ЛЛС-реалізації ITRF відносно індивідуальних РНДБ- та GPS-реалізацій ITRF.

Порівняння отриманих з індивідуальних розв'язків та за даними ITRF2000 різниць координат показує, що різниці координат пунктів спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі», отримані на основі індивідуальних розв'язків не узгоджуються з відповідними різницями, вирахованими за даними ITRF2000. Причинами існування цих різниць, окрім згаданих вище, можуть бути:

- наявність систематичних похибок при побудові ITRF2000;
- неузгодженість індивідуальних ЛЛС-, РНДБ- та GPS-реалізацій ITRF з ITRF2000;
- некоректне визначення координат ЛЛС-пункту «Кацівелі» в ITRF2000.

Було показано, що різниці отриманих з індивідуальних розв'язків оцінок швидкостей пунктів спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі» не узгоджуються з визначеними на основі геодезичних вимірювань оцінками. Причинами цього можуть бути кілька чинників.

- На оцінку швидкості може впливати метод оцінювання, що використовувався [27].
- В діючій реалізації програмного забезпечення «Київ-Геодинаміка» закладено умову рівності швидкостей пунктів спостережень з однаковим DOMES-номером, що, як вказувалось вище, не є коректним і протирічить оцінкам. Таким чином оцінки швидкостей пунктів ЛЛС-спостережень можна вважати такими, що повинні бути перевизначені при умові внесення корекцій щодо процедури визначення швидкостей в програмне забезпечення «Київ-Геодинаміка».
- Оцінки швидкості РНДБ-пункту, отримані з аналізу РНДБ-спостережень, співпадають в межах похибок (за виключенням координати Z) з визначеними при створенні ITRF2000 швидкостями. Як висновок, оцінки швидкості для цього пункту спостережень можна вважати близькими до реальних.

Таким чином, приведемо основні результати та рекомендації даного напрямку досліджень.

- Підтверджено висновок [30] про нестабільність геодезичного полігону «Сімеїз-Кацівелі» в цілому та про існування локальних рухів пунктів спостережень станції колокації. Зроблено висновок про необхідність проведення регулярних перевизначень локальних геодезичних прив'язок. Враховуючи швидкість зміни оцінок геодезичних прив'язок та рівень точності оці-

нок координат методами космічної геодезії та геодинаміки 0.001 м - 0.01 м, рекомендований інтервал між геодезичними кампаніями на полігоні повинен становити 1-2.5 роки.

- За даними геодезичних вимірювань побудовано лінійну модель зміни з часом оцінок геодезичних прив'язок між пунктами спостережень станції колокації «Сімеїз-Кацівелі». Зроблено висновок про необхідність її уточнення.
- Зроблено висновок про існування систематичних похибок методу сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів, який використовувався при побудові ITRF2000, що проявляється в неузгодженості координат пунктів станції колокації «Сімеїз-Кацівелі» з оцінками геодезичних прив'язок та некоректному визначенні швидкостей пунктів спостережень з однаковим DOMES-номером. Останнє необхідно врахувати при побудові нової реалізації ITRS [20].
- Показано неузгодженість індивідуальних ЛЛС-, РНДБ- та GPS-реалізацій ITRF, яка може бути наслідком систематичних похибок індивідуальних розв'язків, існуванням зміщень та відмінностей в орієнтації індивідуальних реалізацій ITRF. Зокрема зроблено висновок про існування зміщення та відмінності орієнтації індивідуальної ЛЛС-реалізації ITRF відносно індивідуальних РНДБ- та GPS-реалізацій ITRF.

## Розділ 3

### Дослідження рядів ПОЗ

#### 3.1. Аналіз рядів ПОЗ «GINS»/«DYNAMO».

Були проаналізовані різні версії рядів параметрів обертання Землі, отриманих в Паризькій обсерваторії за допомогою програмного забезпечення «GINS»/«DYNAMO» за результатами сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів [16].

Метою цієї роботи було:

- дослідження впливу типу спостережень на оцінку ПОЗ,
- проведення геофізичного аналізу рядів ПОЗ.

Ряди ПОЗ, отримані «GINS»/«DYNAMO», представляють собою рівноточні дані з кроком 6 годин для координат полюсу та обертання Землі ( $x_p$ ,  $y_p$ ,  $dUT1$ ) та 12 годин для координат небесного проміжного полюсу в небесній системі координат ( $dX$ ,  $dY$ ). Аналізувались ряди ПОЗ, отримані на:

- дворічному інтервалі 01.01.2005-31.12.2006,
- дев'ятимісячному інтервалі 01.01.2005-30.09.2005 за даними двох типів спостережень (РНДБ та GPS),
- дев'ятимісячному інтервалі 01.01.2007-30.09.2007 за даними двох типів спостережень (РНДБ та GPS),
- дев'ятимісячному інтервалі 01.01.2007-30.09.2007 за даними чотирьох типів спостережень (РНДБ, ЛЛС, DORIS та GPS).

Був виконаний спектральний аналіз вказаних вище рядів ПОЗ. Так як крок визначень ПОЗ, отриманих за допомогою «GINS»/«DYNAMO», є рівним 6 годин, вони покривають спектр на інтервалі частот з  $-2$  циклів за день (cpd) до  $+2$  cpd (рис. 3).

Результати аналізу є такими.

В рядах ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» були виявлено низку систематичних ефектів.

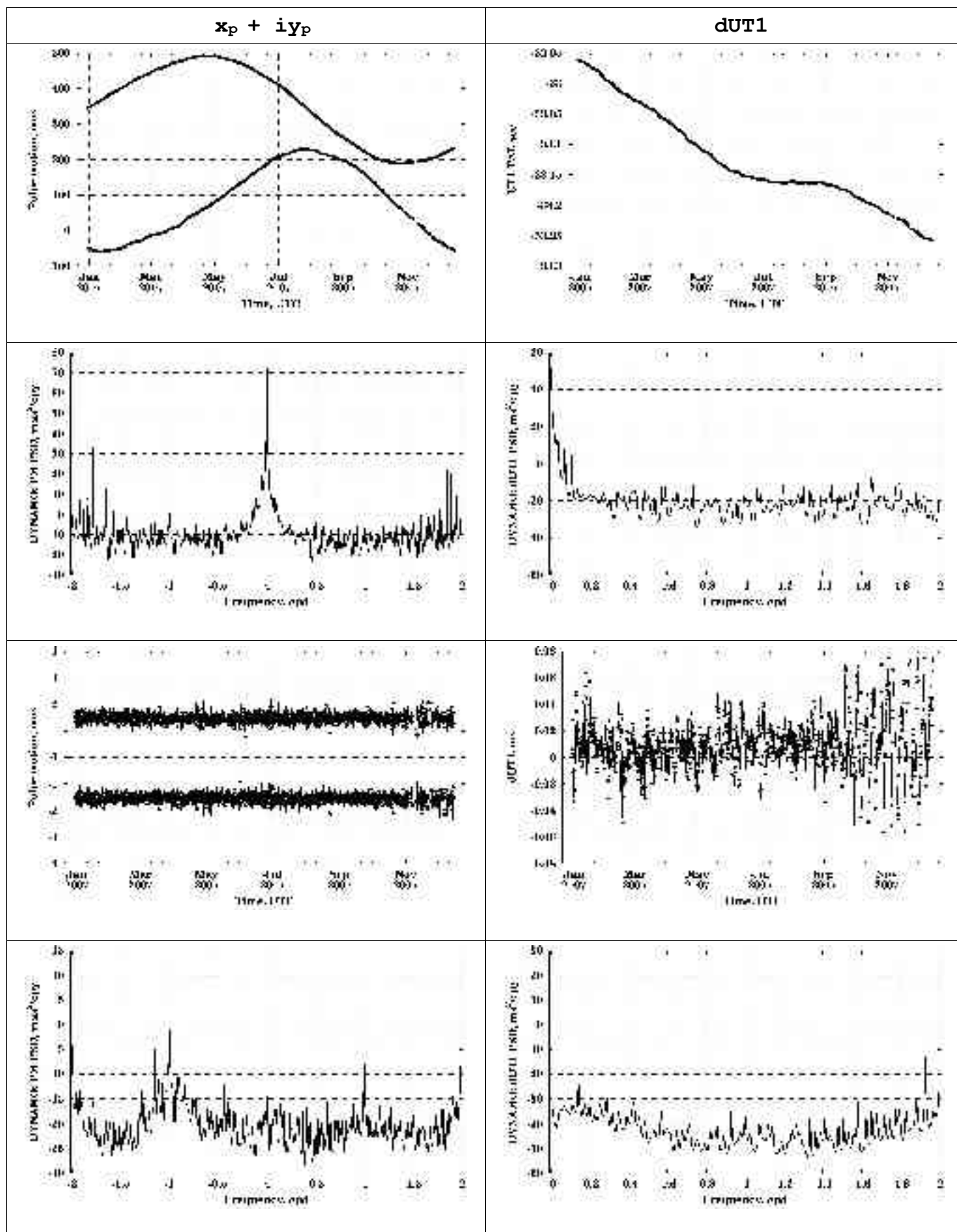
- Ряди ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» були обтяжені похибкою, викликаною некоректним оцінюванням нутації. Було встановлено, що при оцінюванні нутації в «GINS»/«DYNAMO» певні області частот перекивались, що приводило до неможливості «розділення» шуканих величин та спотворення кінцевого результату. Ця систематична похибка була надалі вилучена з рядів ПОЗ «GINS»/«DYNAMO».
- В спектрі координат полюсу ( $x_p + iy_p$ ) виявлено енергетичний надлишок на інтервалі частот від  $-0.5$  cpd до  $-1.5$  cpd, який може бути пов'язаний з неврахованими поправками до кутів нутації. На користь даного припущення говорить наявність максимуму на частоті  $-0.9984$  (період  $T = 1.0016$ ), що свідчить про

наявність зсуву (або довгоперіодичних варіацій) у орієнтації небесної системи координат. Дану систематичну похибку вилучити з рядів ПОЗ не вдалось.

- Спектри рядів «GINS»/«DYNAMO» показують чіткі сигнали на  $-1$  срд та  $+1$  срд. Це говорить про те, що при комбінованій обробці спостережень «GINS»/«DYNAMO» мають місце систематичні ефекти, пов'язані з моделлю добових варіацій в координатах полюсу, кореляцією з елементами орбіти супутників, перерозподілом FCN-сигналу з НСК в ЗСК, тощо. Виключити ці систематичні похибки з рядів ПОЗ не вдалось.
- Виявлено рівновідстоящі максимуми ( $\Delta F \approx 0.14$  срд) в спектрах ПОЗ ( $x_p$ ,  $y_p$ , dUT1). Виключити похибки цього типу з рядів ПОЗ не вдалось.

За результатами проведеного аналізу зроблено висновок про необхідність переобчислення рядів ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» з врахуванням зроблених рекомендацій та висновків на тривалому інтервалі часу (2-3 роки) та про неможливість використання даних рядів ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» для геофізичних досліджень.

Рисунок 3. Варіації та спектри ряду ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» (інтервал 1.01.2007–30.09.2007, чотири типи спостережень (РНДБ, ЛЛС, DORIS та GPS))



### 3.2. Аналіз рядів ПОЗ «GINS»/«DYNAMO».

Було проведено порівняння рядів ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» з рядами ПОЗ, побудованими в ГАО НАН України за результатами аналізу РНДБ-спостережень при використанні програмного забезпечення «SteelBreeze».

З цією метою отримувались глобальні розв'язки РНДБ-спостережень, з яких брались ряди ПОЗ (ряд ПОЗ «SteelBreeze»). Так як ряд ПОЗ «SteelBreeze» базується лише на РНДБ-спостереженнях і отриманий з кроком 3-4 доби, він покриває інтервал частот  $[-0.16; +0.16]$  cpd.

На рис. 4,5 для порівняння представлені варіації та спектри рядів ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» та «SteelBreeze» на інтервалі  $[-0.16; +0.16]$  cpd.

Порівняння цих рядів ПОЗ показало наступне.

- Спектр варіацій  $x_p + iy_p$  ряду «GINS»/«DYNAMO» має характер білого шуму - не містить чітких сигналів. Зашумленість аналогічного спектру ряду «SteelBreeze» є більшою, що проявляється в існуванні енергетичного надлишку на інтервалі  $[-0.16; +0.16]$ . Спектри  $x_p + iy_p$  та  $dUT1$  ряду «SteelBreeze» вирізняються більшим рівнем енергії відносно спектрів ПОЗ ряду «GINS»/«DYNAMO», що проявляється в «піднятті» цих спектрів на  $\approx 20$  dB та  $\approx 30$  dB відповідно. В спектрі цього ряду явно виражений сигнал також є відсутнім.
- Спектр варіацій  $x_p + iy_p$  ряду «SteelBreeze» наближається до симетричного на відміну від аналогічного спектру ряду «GINS»/«DYNAMO».
- В спектрі варіацій  $dUT1$  ряду «GINS»/«DYNAMO» проявляється чіткій сигнал на частоті  $F = 0.14$  cpd - основний сигнал типу «систематичні піки». В аналогічному спектрі ряду «SteelBreeze» цей «систематичний пік» на частоті  $0.14$  cpd є відсутнім.

За результатами порівняльного аналізу були зроблені такі висновки:

- «Систематичні піки» в спектрах рядів «GINS»/«DYNAMO» є властивістю рядів ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» і є наслідком процедури обробки даних.
- Існування «систематичних піків» в спектрах  $x_p$ ,  $y_p$ ,  $dUT1$  рядів «GINS»/«DYNAMO» може бути наслідком:
  - ◆ корекцій орбіт GPS-супутників,
  - ◆ процедури «зшивання» тижневих рішень,
  - ◆ використаної при побудові рядів «GINS»/«DYNAMO» некоректної системи призначення ваг спостереженням різних типів
- Використання різних типів спостережень для побудови рядів ПОЗ є пріоритетним.

Рисунок 4. Варіації та спектри  $x_p + iy_p$  ряду ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» (інтервал 1.01.2007-30.09.2007, чотири типи спостережень (РНДБ, ЛЛС, DORIS та GPS)) та ряду ПОЗ «SteelBreeze»

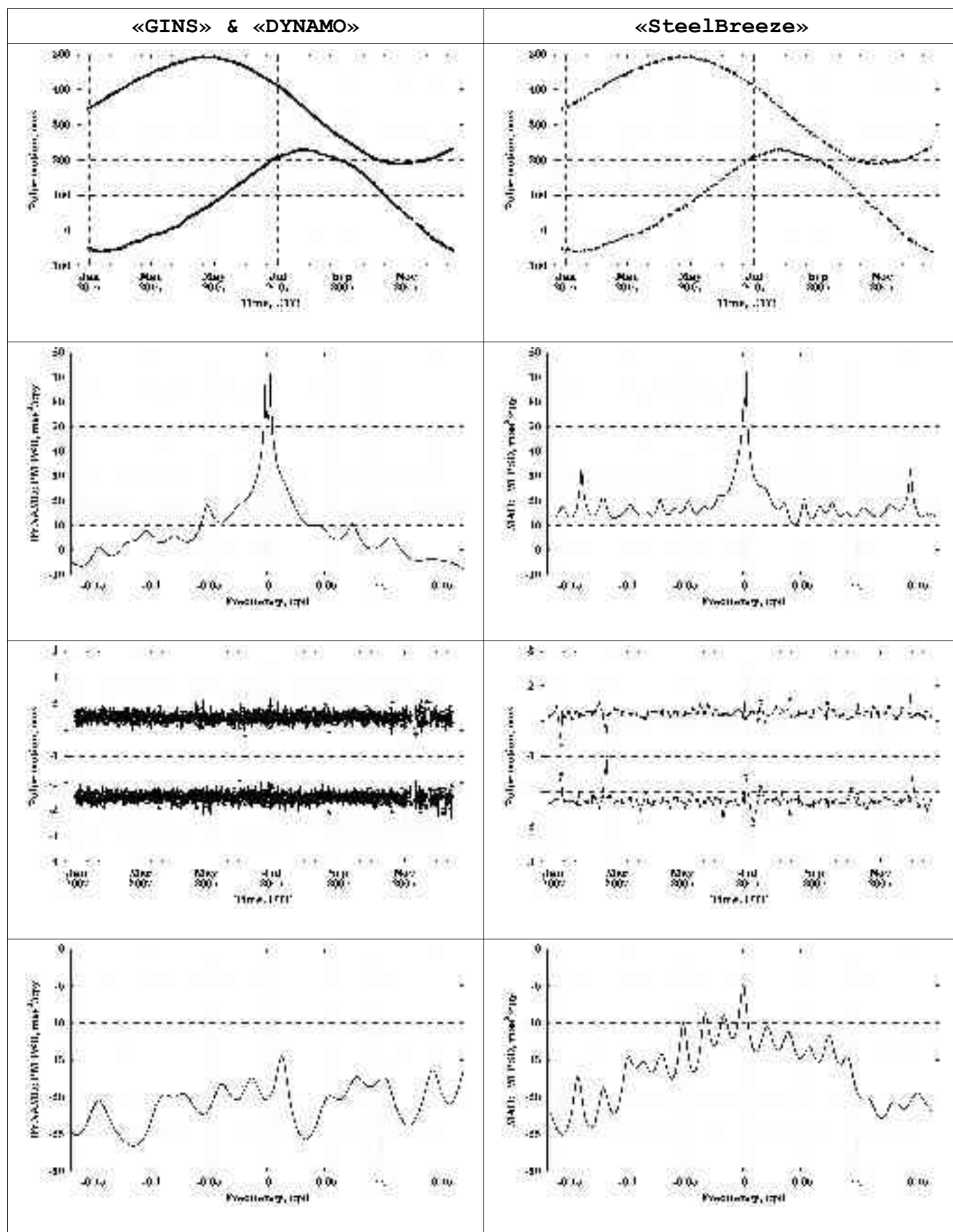
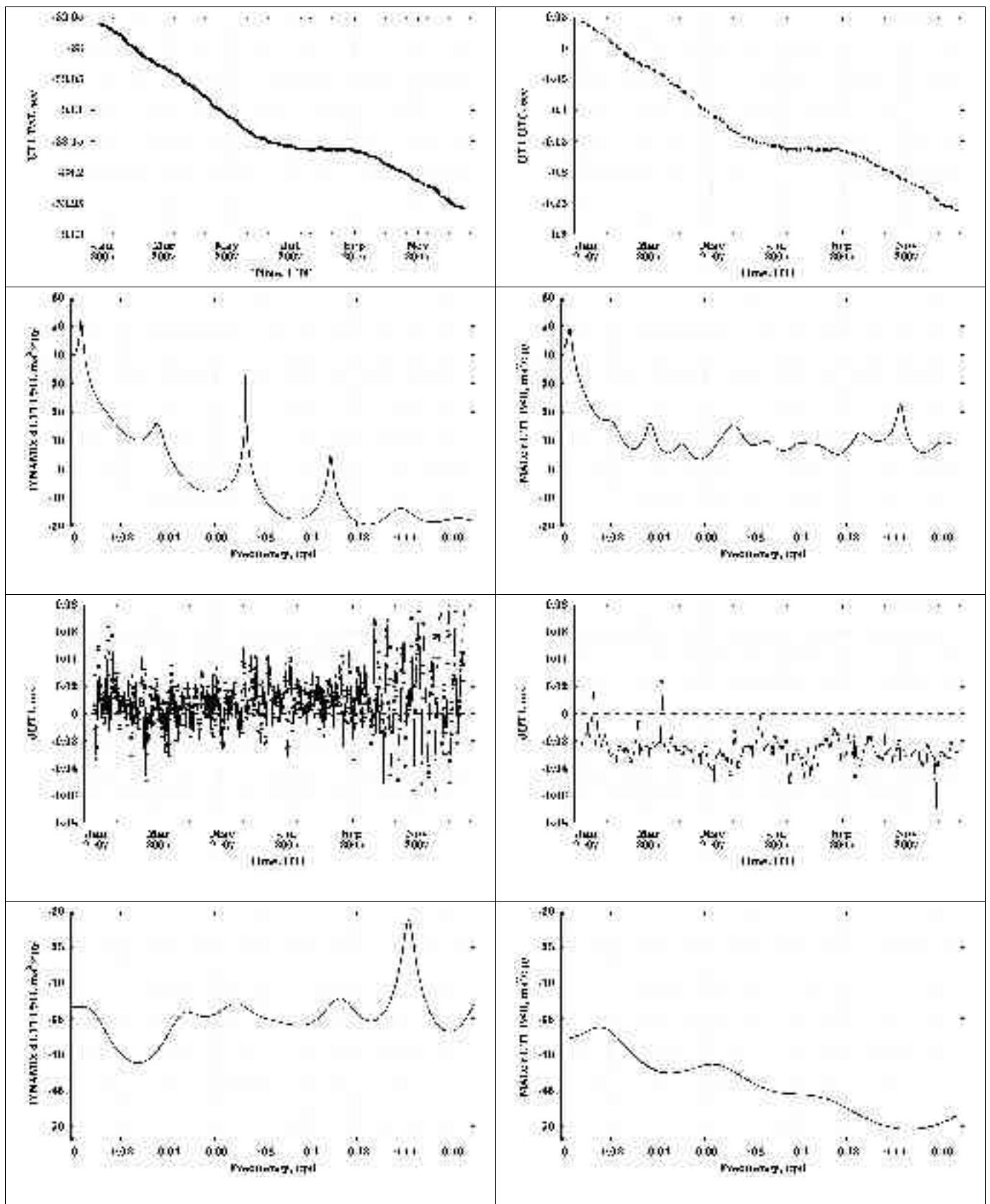


Рисунок 5. Варіації та спектри **dUT1** ряду ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» (інтервал 1.01.2007- 30.09.2007, чотири типи спостережень (РНДБ, ЛЛС, DORIS та GPS)) та ряду ПОЗ «SteelBreeze» (Продовження)



### 3.3. Аналіз рядів ПОЗ IERS (C04\_05), комбінованих рядів ПОЗ ILRS, IGS, IVS.

Ряди параметрів обертання Землі IERS (C04\_05) створюються в Міжнародній службі параметрів обертання Землі та базових систем координат, яка знаходиться в Паризькій обсерваторії (м. Париж, Франція). Ці ряди ПОЗ наразі є базовими для наукових досліджень. Ряди ПОЗ IERS (C04\_05) отримують як комбінацію рядів ПОЗ, обчислених за даними РНДБ-, ЛЛС-, ЛЛМ-, GPS-, DORIS-спостережень. Ряди IERS (C04\_05) представляють собою рівноточні дані з однодобовим кроком для всіх параметрів. Детально алгоритм визначення ПОЗ IERS (C04\_05) представлений в роботі [17].

Був виконаний спектральний аналіз ПОЗ ряду IERS (C04\_05). Процедура створення комбінованого ряду IERS (C04\_05) передбачає комбінацію тижневих РНДБ-, ЛЛС-, GPS- та DORIS-розв'язків, отриманих відповідними центрами аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки, з метою визначення ПОЗ. Так як цей ряд отриманий з однодобовим кроком, він покриває лише інтервал частот з  $[-0.5; +0.5]$   $\text{срд}$ . Спектр  $x_p + i y_p$  представлено на рис. 6, а). Спектр є сильно згладженим, що пов'язано з процедурою створення ряду ПОЗ IERS (C04\_05). «Систематичний пік» на частоті 0.14  $\text{срд}$  та кратні йому максимуми в даному спектрі відсутні, на нашу думку, з тих же причин, а також завдячуючи використаній системі призначення ваг. Згладженість спектру також ускладнює його геофізичний аналіз.

Був виконаний спектральний аналіз рядів ПОЗ, отриманих шляхом комбінації окремо індивідуальних РНДБ-розв'язків (комбінований ряд IVS<sup>1</sup>), ЛЛС-розв'язків (комбінований ряд ILRS<sup>2</sup>), GPS-розв'язків (комбінований ряд IGS<sup>3</sup>).

Спектр ПОЗ комбінованого ряду IVS представлено на рис. 6, б). Процедура створення комбінованого ряду IVS передбачає реаналіз повного набору РНДБ-спостережень з метою визначення ПОЗ. У зв'язку з тим, що ряд створено зі змінним кроком від одного до десятків днів, він покриває вузький інтервал частот  $[-0.125; +0.125]$   $\text{срд}$ . «Систематичні піки» не попадають в цей інтервал частот.

Спектр ПОЗ комбінованого ряду IGS представлено на рис. 6, в). Процедура створення комбінованого ряду IGS передбачає комбінацію тижневих GPS-розв'язків, отриманих центрами аналізу GPS-спостережень, з метою визначення ПОЗ, а також координат станцій спостережень та геоцентру. Комбінований ряд IGS створено з одностороннім кроком. Це обумовлює покриття спектру в діапазоні частот  $[-0.5; +0.5]$   $\text{срд}$ . В спектрі комбінованого ряду IGS «систематичні піки» на кратних 0.14  $\text{срд}$  частотах є присутніми і явно вираженими. Це підтверджує зроблені вище висновки про те, що існування «систематичних піків» може бути

1 <http://vlbi.geod.uni-bonn.de/IVC-AC/combi-sinex>

2 V. Luceri, E. Pavlis, etc. Official ILRS analysis products

3 R. Ferland, etc. Analysis methodology and recent results of the IGS network combination

наслідком корекцій орбіт GPS-супутників та процедури «зшивання» рядів.

Спектр ПОЗ комбінованого ряду ILRS представлено на рис.6, г). Процедура створення комбінованого ряду ILRS передбачає комбінацію тижневих ILRS-розв'язків, отриманих центрами аналізу SLR-спостережень, з метою визначення ПОЗ, а також координат станцій спостережень та геоцентру. Комбінований ряд ILRS створено з одноденним кроком. Це обумовлює покриття спектру в діапазоні частот  $[-0.5; +0.5]$   $\text{срд}$ . В спектрі комбінованого ряду ILRS «систематичні піки» на кратних  $0.14 \text{ срд}$  частотах є присутніми і явно вираженими, проте мають амплітуду меншу, ніж відповідні максимуми в спектрі комбінованого ряду IGS. Це вказує на правильність зробленого раніше висновку про те, що існування «систематичних піків» може бути наслідком процедури «зшивання» рядів.

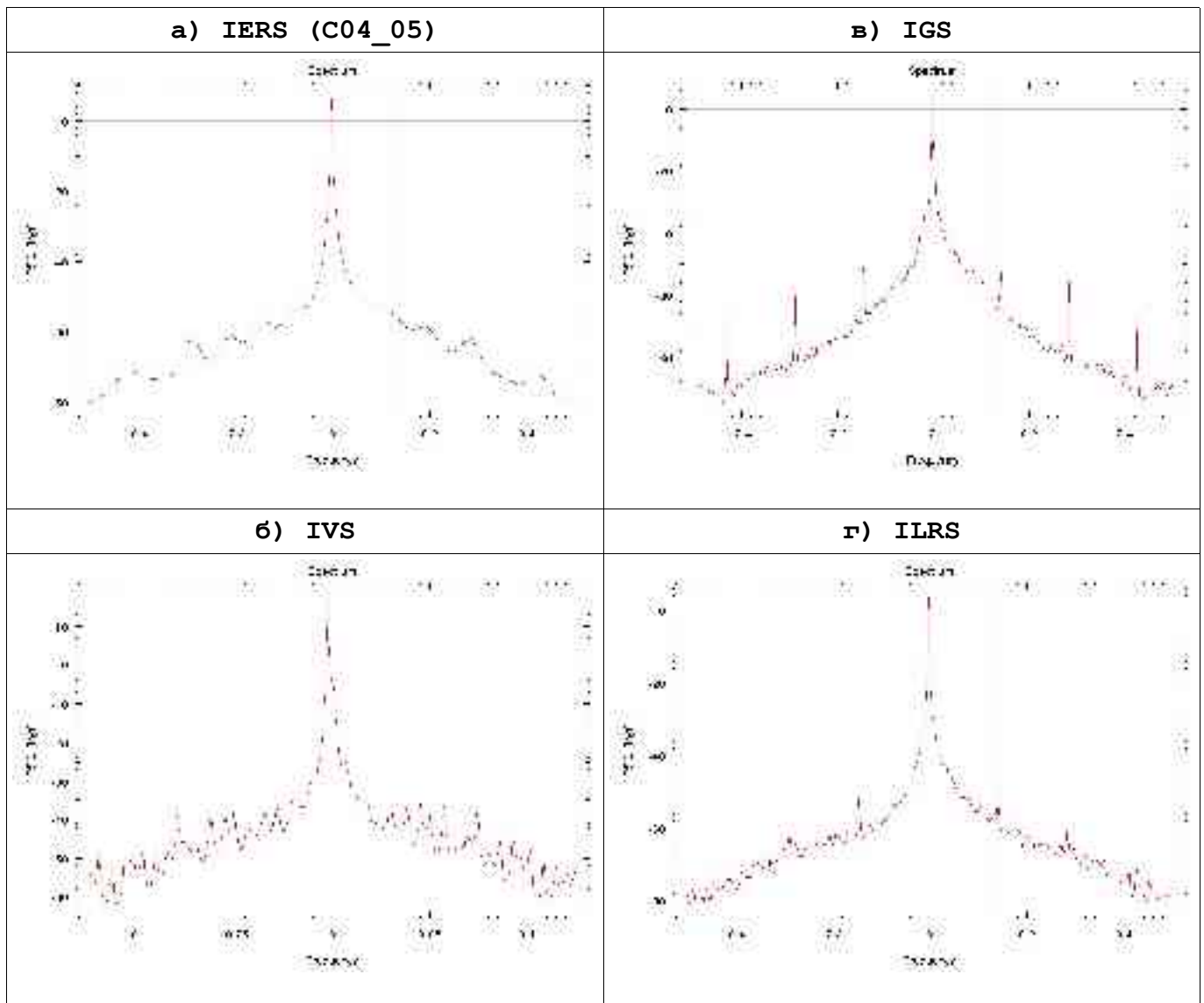


Рисунок 6. Спектри  $x_p + iy_p$ : (а) ряду ПОЗ IERS (C04\_05), (б) комбінованого ряду ПОЗ IVS, (в) комбінованого ряду ПОЗ ILRS, (г) комбінованого ряду ПОЗ IGS.

Таким чином, за результатами аналізу рядів ПОЗ IERS (C04\_05) та комбінованих рядів ПОЗ ILRS, IGS, IVS можна зробити такі висновки.

- Процедура «зшивання» тижневих розв'язків, яка використовується для побудови комбінованих рядів параметрів обертання Землі ILRS та IGS є некоректною, приводить до спотворення рядів ПОЗ (виникнення «систематичних піків») та ускладнює геофізичний їх аналіз. Таким чином, процедура створення рядів комбінованих рядів ПОЗ ILRS та IGS потребує перегляду.
- Потужність «систематичних піків» в комбінованому ряду IGS частково може бути пояснена «накладанням» похибки, пов'язаної з корекцією орбіт GPS-супутників, на похибку, яку вносить процедура «зшивання» тижневих розв'язків.

## Розділ 4

### Дослідження впливу атмосфери та океану на рух полюсу та обертання Землі

#### 4.1. Геофізична інтерпретація спектру руху полюсу Землі.

В спектрі варіацій координат полюсу виділяють ліву (retrograde, від  $-2$  cpd до  $0$  cpd) та праву (prograde, від  $0$  cpd до  $+2$  cpd) частини [9].

В лівій частині спектру можна виділити такі групи спектральних максимумів:

- півдобову, яка відповідає інтервалу частот від  $-2$  cpd до  $-1.5$  cpd;
- добову, яка відповідає інтервалу частот від  $-1.5$  cpd до  $-0.5$  cpd;
- багатодобову від  $-0.5$  cpd до  $0$  cpd.

Вибрані спектральні максимуми півдобової групи можна інтерпретувати як результат «дефекту» моделі припливних варіацій IERS для руху полюсу та збурення Землі атмосферою й океаном [13].

Існування вибраних спектральних максимумів добової групи можна пояснити наступним чином. Піки в околі  $F = -0.8566$  cpd відповідають модам нутації з періодами від 5 до 10 днів. Максимум  $F = -0.9984$  cpd може бути наслідком некоректного врахування сезонної нутації. Пік  $F = -1.1390$  cpd відповідає 7-добовій нутації (7 days retrograde nutation), яка асоціюється з нормальною модою атмосфери  $\psi^1_3$  [11].

В правій частині спектру можна виділити аналогічні групи спектральних максимумів:

- півдобову, яка відповідає інтервалу частот від  $+2$  cpd до  $+1.5$  cpd;
- добову, яка відповідає інтервалу частот від  $+1.5$  cpd до  $+0.5$  cpd;
- багатодобову від  $+0.5$  cpd до  $0$  cpd.

Вибрані спектральні максимуми півдобової групи також можна інтерпретувати як результат «дефекту» моделі припливних варіацій IERS для руху полюсу та збурення Землі атмосферою й океаном.

Існування деяких спектральних максимумів добової групи правої частини спектру можна пояснити наступним чином. Максимуми в околі  $F = +1.0020$  cpd можуть бути наслідками: «дефекту» моделі припливних варіацій IERS для руху полюсу, впливу атмосфери, неприливних океанічних явищ.

На даному етапі роботи було досліджено вплив атмосфери та океану на рух полюсів Землі.

З цієї метою отримані спектри руху полюсу ряду «GINS»/«DINAMO» були порівняні з спектрами моментів імпульса атмосфери (Atmospheric Angular Momentum, AAM) та океану (Oceanic Angular Momentum, OAM), обчисленими з

врахуванням масштабуючої функції (transfer function) за [10, формула (4-9)].

Для побудови спектра момента імпульса атмосфери були використані офіційні серії AAM NCEP/NCAR з роздільною часовою здатністю 6-годин, отримані в Суббюро атмосфери Центру глобальних геофізичних потоків (Subbureau for Atmosphere of the Global Geophysical Fluid Center, GCFC) IERS [25].

Для побудови спектру момента імпульса океану були використані:

- офіційні, визначені за моделлю ECCO серії OAM з роздільною часовою здатністю 6-годин, отримані Суббюро океану (Subbureau for Oceanic) GCFC IERS;
- серії OAM з роздільною часовою здатністю 1-година, надані Р. Понте [24].

Для побудови спектрів AAM, OAM ECCO та OAM Ponte був використаний фільтр Вондрака та FFT [9, 14]. Спектри AAM та OAM ECCO на інтервалі частот від -2 cрд до +2 cрд приведені на рис. 7.

Очевидно, що спектр AAM є більш потужним за спектр OAM ECCO на інтервалі -2 cрд до -0.2 cрд. Потужність спектру OAM ECCO спадає до нуля на частотах нижчих за -1.2 cрд, а AAM - за -0.7 cрд на цьому інтервалі. Виключення становить максимум на частоті -1 cрд. Відмітимо існування енергетичного надлишку в спектрі AAM в околі частоти  $F = -0.85$  cрд. На інтервалі частот 0 cрд до +2 cрд спектри AAM та OAM стають співмірними по потужності. Потужність спектрів OAM ECCO спадає до нуля на частотах більших за +0.5 cрд, а AAM - за +0.85 cрд на цьому інтервалі. Відмітимо слабкий енергетичний сплеск в спектрі AAM в околі частоти  $F = +1$  cрд.

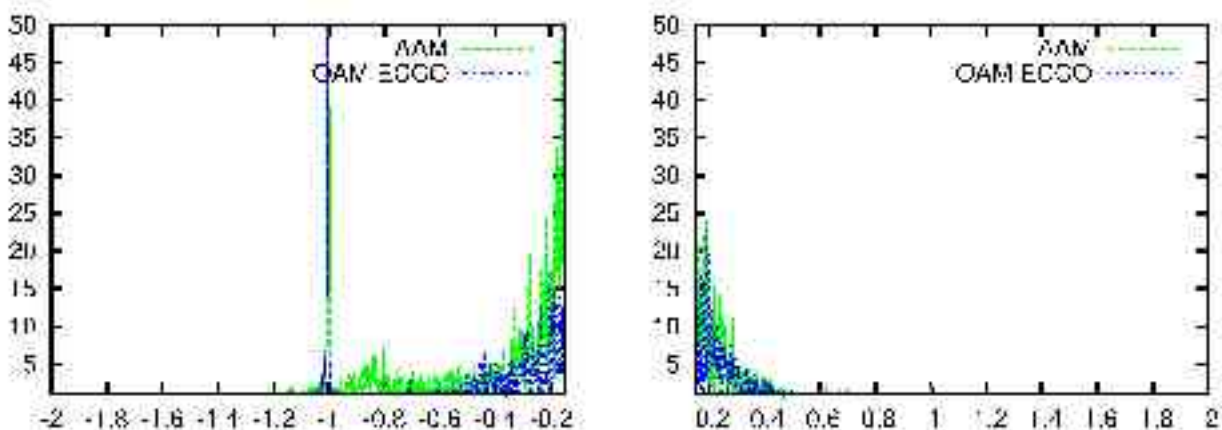


Рис. 7. Спектри AAM та OAM ECCO

На рис. 8 співставлено сукупний спектр AAM та OAM ECCO зі спектром ПОЗ на всьому інтервалі частот від -2 cрд до +2 cрд. Порівняльний аналіз цих даних, а також фрагментів спектрів, отриманих на вибраних інтервалах [-0.2; -0.5] та [+0.2; +0.5], [-0.8; -0.5] та [+0.5; +0.8], [-1.2; -0.8] та [+0.8; +1.2], показав наступне.

1. В цілому, поведінка координат руху полюсу Землі та енергетика спектру на інтервалі частот від  $-2$   $\text{срд}$  до  $+2$   $\text{срд}$  може бути пояснена впливом атмосфери та океану на рух полюсу лише частково.
2. На багатодобовій ділянці спектру від  $-0.5$   $\text{срд}$  до  $0$   $\text{срд}$  можна виділити два інтервали, які різняться за величиною впливу атмосфери та океану на рух полюсу (рис. 9). На інтервалі від  $-0.5$   $\text{срд}$  до  $-0.42$   $\text{срд}$  поведінка  $x_p$ ,  $y_p$  та енергетика спектру пояснюється впливом атмосфери та океану на 50%. На інтервалі від  $-0.42$   $\text{срд}$  до  $-0.2$   $\text{срд}$  (за виключенням ділянок спектру в околі частот  $-0.26$   $\text{срд}$  та  $-0.33$   $\text{срд}$ ) поведінка  $x_p$ ,  $y_p$  та енергетика спектру пояснюється впливом атмосфери та океану на 90%.
3. На багатодобовій ділянці спектру від  $0$   $\text{срд}$  до  $+0.5$   $\text{срд}$  можна виділити три інтервали, які різняться за величиною впливу атмосфери та океану на рух полюсу (рис. 8). На інтервалі від  $+0.2$   $\text{срд}$  до  $+0.2870$   $\text{срд}$  поведінка  $x_p$ ,  $y_p$  та енергетика спектру пояснюється впливом атмосфери та океану на 80%. На інтервалі від  $+0.2870$   $\text{срд}$  до  $+0.41$   $\text{срд}$  поведінка  $x_p$ ,  $y_p$  та енергетика спектру пояснюється впливом атмосфери та океану на 50%. На інтервалі від  $+0.41$   $\text{срд}$  до  $+0.5$   $\text{срд}$  поведінка  $x_p$ ,  $y_p$  та енергетика спектру пояснюється впливом атмосфери та океану лише на 30%.
4. Існування та 30%-50% потужності максимуму в спектрі руху полюсу Землі на частоті  $F = +0.2870$   $\text{срд}$  ( $T = 3.48$  дня) можна пояснити комбінованим впливом атмосфери і океану.
5. Виявлено енергетичні надлишки («горби») в комбінованому спектрі ААМ та ОАМ ЕССО в областях частот  $+1$   $\text{срд}$  ( $T = 1$  день) та  $-0.85$   $\text{срд}$  ( $T = 1.18$  дня). Як вказувалось вище, їх існування зумовлене більше впливом атмосфери, ніж океану. Вони відповідають енергетичним надлишкам в спектрі руху полюсу в околі максимумів на частотах  $+1.0020$   $\text{срд}$  та  $-0.8566$   $\text{срд}$ , але не можуть пояснити їх потужність.
6. Існування «систематичних піків» в спектрі руху полюсу Землі не можна пояснити впливом на нього атмосфери та океану. Це є свідомством того, що ці максимуми є властивістю нового ряду «GINS/DYNAMO».
7. Максимум на частоті  $F = -1$   $\text{срд}$  в спектрах ААМ та ОАМ не можна співставляти напряму з енергетичним надлишком в цій області в спектрі руху полюсу, так як при створенні нового ряду ПОЗ «GINS/DYNAMO» нутація була врахована шляхом використання відповідних оцінок з офіційного ряду параметрів обертання Землі EOP IERS C04\_05.

Рис. 8. Сукупний спектр збудження атмосфери (ААМ) та океану (ОАМ ЕССО) і спектр руху полюсу Землі ( $x_p + iy_p$ ).

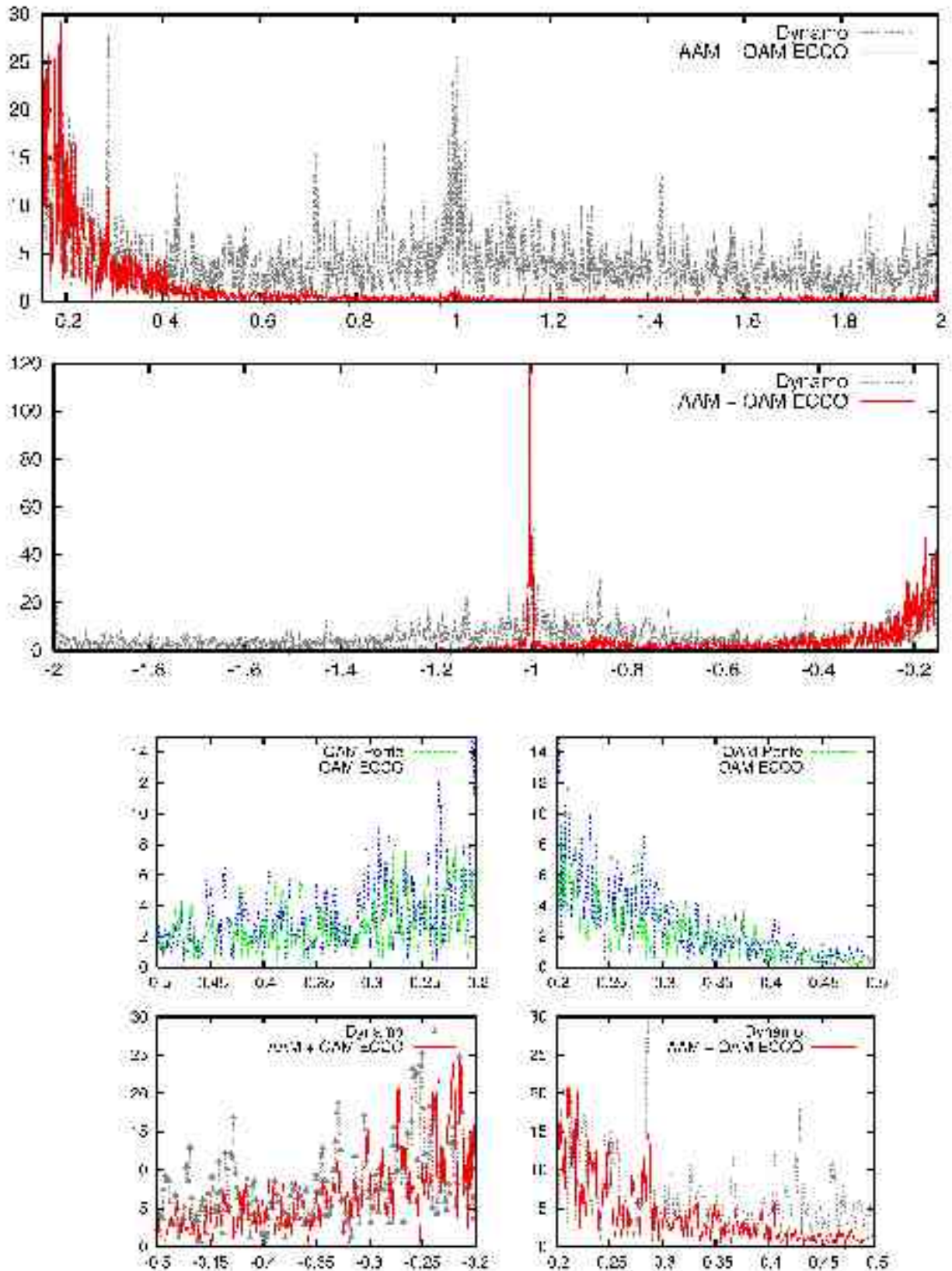


Рис. 9. Багатодобова ділянка спектрів збудження атмосфери (AAM) та океану (OAM ECCO) і спектр руху полюсу Землі ( $x_p + iy_p$ ).

#### 4.2. Геофізична інтерпретація спектру нерівномірності обертання Землі (UT1).

Виділяють такі області спектру UT1:

- півдобову, яка відповідає інтервалу частот від 2  $\text{срd}$  до 1.5  $\text{срd}$ ;

- добову, яка відповідає інтервалу частот від 1.5 cрд до 0.5 cрд;
- багатодобову від 0.5 cрд до 0 cрд.

Як і у випадку руху полюсу, було досліджено вплив атмосфери та океану на UT1. З цією метою спектр UT1 був порівняний зі спектрами моментами імпульсів атмосфери та океану, обчисленими з врахуванням масштабуючої функції за [10, формула (4-9)]. Спектри UT1, ААМ та ОАМ ЕССО на всьому інтервалі частот від 0 cрд до +2 cрд, а також на вибраних діапазонах, приведені на рис. 10.

Порівняльний аналіз приведених спектрів показав наступне.

1. В цілому, на інтервалі частот від 0 cрд до 2 cрд спектр UT1 та його потужність лише частково може бути пояснена впливом атмосфери та океану.
2. Вплив атмосфери на UT1 є домінуючим порівняно з впливом океану.
3. На багатодобовій ділянці спектру від 0.2 cрд до 0.2870 cрд вплив атмосфери та океану на UT1 становить до 80%, далі поступово зменшуючись зі збільшенням частоти.
4. Вплив атмосфери та океану на поведінку UT1 на інтервалі частот від 0.5 cрд до 1.1 cрд (за виключенням 1 cрд) є несуттєвим.
5. Потужність комбінованого спектру ААМ і ОАМ ЕССО падає до нуля на частотах більших за  $F = 1.1$  cрд.
6. Виявлено енергетичний надлишок («горб») в спектрах ААМ та комбінованому спектрі ААМ і ОАМ ЕССО в околі частоти 1 cрд. Він відповідає максимумам в спектрі UT1 в околі 1 cрд, але пояснює лише 0.25% їх потужності.
7. Існування «рівновідстоящих піків» в спектрі UT1 не можна пояснити впливом на нього атмосфери та океану. Це є свідомством того, що ці максимуми є властивістю нового ряду «GINS/DYNAMO».

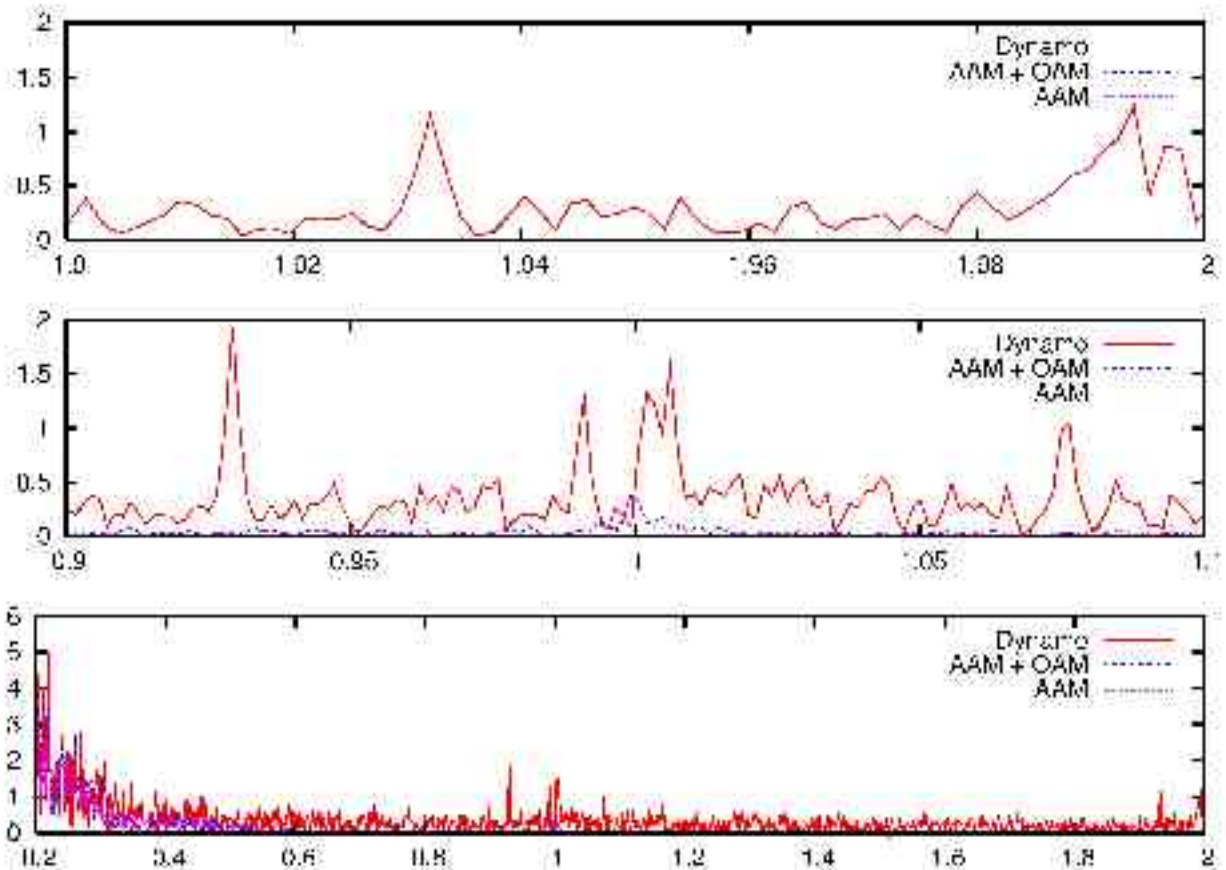


Рис. 10. Спектри нерівномірності обертання Землі, збудження атмосфери (AAM) та океану (OAM ECCO) і нерівномірності обертання Землі «GINS»/«DYNAMO».

В підсумку даного розділу приведемо основні висновки.

1. В цілому, спектри руху полюсу та обертання Землі та їх потужність лише частково можуть бути пояснені впливом атмосфери та океану.
2. Вплив атмосфери на ПОЗ є домінуючим порівняно з впливом океану.
3. На багатодобовій ділянці спектру від  $+0.2$   $\text{cpd}$  ( $T = 5$  діб) до  $+0.5$   $\text{cpd}$  ( $T = 2$  доби) вплив атмосфери та океану на рух полюсу та UT1 є суттєвим і пояснює до 80% потужності цих спектрів.
4. Виявлено енергетичні надлишки в комбінованому спектрі AAM та OAM ECCO в областях частот  $+1$   $\text{cpd}$  ( $T = 1$  день) та  $-0.85$   $\text{cpd}$  ( $T = 1.18$  дня). Вони відповідають максимумам в спектрі UT1 та в спектрі руху полюсу в околі  $+1$   $\text{cpd}$  і в спектрі руху полюсу в околі  $-0.85$   $\text{cpd}$ , але не пояснюють їх потужність. Цей факт потребує додаткового вивчення.
5. Існування «систематичних піків» в спектрах ПОЗ не можна пояснити впливом на них атмосфери та океану. Це є свідомством того, що ці максимуми є властивістю нового ряду «GINS»/«DYNAMO».

## Висновки

**I) Аналіз алгоритмів та методів сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів.**

1. Проведено аналіз існуючих алгоритмів та методів сумісної обробки спостережень. Зроблено висновок про обмеженість алгоритмів сумісної обробки спостережень, за якими об'єднання спостережень різних технік відбувається на етапі формування системи нормальних рівнянь або комбінації окремих розв'язків.
2. Зроблено висновок про те, що використання програмних забезпечень «GINS»/«DYNAMO» фактично є реалізацією другого підходу щодо сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів – об'єднання спостережень на рівні нормальних рівнянь. Тому «GINS»/«DYNAMO» обтяжені недоліками: накладання додаткових умов, «зшивання» тижневих розв'язків, системою призначення ваг, тощо.
3. Реалізовано обробку спостережень з використанням розробленого алгоритму оцінювання одноіменних параметрів з різними інтервалами існування. Показано, що запропонований алгоритм:
  - можна використовувати для сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів;
  - приводить до зменшення розмірів інформаційних масивів, що суттєво зменшує період обробки даних;
  - приводить до отримання з аналізу сумісного ряду спостережень згладжених ПОЗ відносно значень ПОЗ, отриманих з аналізу спостережень окремих мереж.

**II) Дослідження стабільності локальних геодезичних прив'язок між пунктами спостережень станцій колокації.**

4. Досліджено динаміку локальних геодезичних прив'язок між пунктами спостережень космічної геодезії та геодинаміки на прикладі станції колокації «Сімеїз-Кацівелі». Зроблено висновок про нестабільність геодезичного полігону «Сімеїз-Кацівелі» в цілому та про існування локальних рухів пунктів спостережень станції колокації. Зроблено висновок про необхідність проведення регулярних перевизначень локальних геодезичних прив'язок станцій колокації з рекомендованим інтервалом 1-2.5 роки.
5. Зроблено висновок про існування систематичних похибок методу сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів, який використовувався при побудові ITRF2000:
  - неузгодженості координат пунктів станцій колокації з оцінками геодезичних прив'язок;

- некоректності визначень швидкостей пунктів спостережень з однаковим DOMES-номером

Наголошено на необхідності врахування виявлених недоліків при побудові нової реалізації ITRF.

6. Показано неузгодженість індивідуальних ЛЛС-, РНДБ- та GPS-реалізацій ITRF, яка може бути наслідком систематичних похибок індивідуальних розв'язків, існуванням зміщень та відмінностей в орієнтації індивідуальних реалізацій ITRS.

### **III) Дослідження рядів ПОЗ.**

7. Виконано аналіз різних версій експериментального ряду ПОЗ, отриманих в Паризькій обсерваторії за допомогою програмних забезпечень «GINS»/«DYNAMO» за результатами сумісного аналізу РНДБ-, ЛЛС-, GPS- та DORIS-спостережень. Проведено аналіз варіацій та спектрів рядів ПОЗ. Виявлені:

- надлишок енергії на інтервалі частот від  $-0.5$   $\text{срд}$  до  $-1.5$   $\text{срд}$ , який може бути пов'язаний з неврахованими поправками до кутів нутації;
- виявлено рівновідстоящі систематичні максимуми ( $\Delta F \approx 0.14$   $\text{срд}$ ) в спектрах ПОЗ та зроблено висновок про те, що вони є властивістю нового ряду ПОЗ «GINS»/«DYNAMO»;

8. З метою дослідження причин існування виявлених в рядах ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» рівновідстоящих систематичних максимумів були проаналізовані такі ряди ПОЗ:

- базовий ряд параметрів обертання Землі EOP\_C04\_05;
- ряди ПОЗ, обчислені окремо за даними комбінованого аналізу ЛЛС-спостережень, РНДБ-спостережень та GPS-спостережень;
- ряд ПОЗ, обчислений в ГАО НАН України за даними РНДБ-спостережень за допомогою програмного забезпечення «SteelBreeze».

Рівновідстоящі систематичні максимуми були виявлені в спектрах рядів ПОЗ, обчислених окремо за даними комбінованого аналізу ЛЛС- та GPS-спостережень.

9. Досліджені причини виникнення рівновідстоящих систематичних максимумів в спектрах рядів ПОЗ. Зроблено висновок про їх зв'язок з методами, які використовуються для аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки в ПЗ «GINS»/«DYNAMO» та в центрах аналізу ЛЛС- та GPS-спостережень, а саме:

- використаної при побудові рядів «GINS»/«DYNAMO» некоректної системи призначення ваг спостереженням космічної геодезії та геодинаміки різних типів,
- алгоритмом «зшивання» тижневих розв'язків,
- Неврахованою похибкою за корекцію орбіт GPS-супутників.

**IV) Дослідження впливу атмосфери та океану на рух полюсу та обертання Землі.**

10. Було досліджено вплив атмосфери та океану на рух полюсу та обертання Землі. Було встановлено, що:

- в цілому, спектри руху полюсу та UT1 та їх потужність можуть бути пояснені впливом атмосфери та океану лише частково;
- вплив атмосфери на рух полюсу та обертання Землі є домінуючим порівняно з впливом океану;
- на багатодобовій ділянці спектру від  $+0.2 \text{ cpd}$  ( $T = 5 \text{ діб}$ ) до  $+0.5 \text{ cpd}$  ( $T = 2 \text{ доби}$ ) вплив атмосфери та океану на рух полюсу та UT1 є суттєвим і пояснює до 80% потужності цих спектрів;
- виявлено енергетичні надлишки в комбінованому спектрі ААМ та ОАМ ЕССО в областях частот  $+1 \text{ cpd}$  ( $T = 1 \text{ день}$ ) та  $-0.85 \text{ cpd}$  ( $T = 1.18 \text{ дня}$ ), які відповідають максимумам в спектрі обертання Землі та в спектрі руху полюсу в околі  $+1 \text{ cpd}$  і в спектрі руху полюсу в околі  $-0.85 \text{ cpd}$ , але не пояснюють їх потужність. Цей факт потребує додаткового вивчення.

**Рекомендації**  
**щодо сумісного аналізу спостережень різних технік**  
**космічної геодезії та геодинаміки**

1. Експериментальний ряд ПОЗ, побудований за даними сумісного аналізу РНДБ-, ЛЛС-, GPS- та DORIS-спостережень за допомогою програмного забезпечення «GINS»/«DYNAMO», поки що **не рекомендується** використовувати як базовий ряд параметрів обертання Землі для проведення досліджень в області космічної геодинаміки через його обтяженість систематичними похибками, які ускладнюють проведення адекватної геофізичної інтерпретації отриманих на його основі результатів.
2. **Рекомендується** провести додаткові дослідження, спрямовані на усунення виявлених систематичних ефектів експериментального ряду ПОЗ «GINS»/«DYNAMO» з метою його використання в перспективі як базового.
3. Ряд ПОЗ «EOP C04\_05» наразі **рекомендується** використовувати як базовий для проведення досліджень в області космічної геодезії та геодинаміки.
4. Відповідним службам та центрам аналізу **рекомендується** переглянути методики, які використовуються для побудови рядів ПОЗ окремо за результатами комбінованого аналізу ЛЛС- та GPS-спостережень, що пов'язано з виявленими систематичними похибками в цих рядах ПОЗ.
5. **Пропонується** використовувати розроблений алгоритм оцінювання одноіменних параметрів з різними інтервалами існування для сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів. Його перевагами є: зменшення розмірів інформаційних масивів, зменшення часу обробки даних, згладжені оцінки ПОЗ.
6. За результатами досліджень стабільності геодезичних прив'язок **рекомендується** проводити регулярні перевизначення локальних геодезичних прив'язок між пунктами спостережень станцій колокації з інтервалом 1-2.5 роки.
7. **Рекомендується** переглянути метод сумісного аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки різних типів, який використовувався при побудові ITRF2000, з метою усунення неузгодженості оцінок координат пунктів спостережень станцій колокації та некоректності визначень оцінок швидкостей пунктів спостережень з однаковим DOMES-номером. Пропонується врахувати результати перегляду методу сумісного аналізу при побудові нової реалізації ITRS.

### **Апробація результатів досліджень**

1. Міжнародна конференція

JOURNÉES «SYSTEMES DE RÉFÉRENCE SPATIO-TEMPORELS» AND X.LOHRMANN-KOLLOQUIUM  
(22-24 September, 2008, Dresden, Germany).

2. Міжнародна конференція

JOURNÉES «SYSTEMES DE RÉFÉRENCE SPATIO-TEMPORELS»  
(17-19 September, 2007, Paris, France).

3. Робоча нарада

«ДІЯЛЬНІСТЬ УКРАЇНСЬКОЇ ЛЛС-МЕРЕЖІ»  
(15-16 жовтня, 2007, Кримська лазерна обсерваторія, АР Крим, Україна).

**Перелік опублікованих та поданих праць**

1. O. Bolotina, S. Bolotin, O. Khoda, Ch. Bizouard. COMBINATION OF DIFFERENT SPACE GEODETIC TECHNIQUES: ALGORITHM OF PARAMETERS ESTIMATION // In prog.: Journées "Systèmes de référence spatio-temporels", 17-19 September, 2007, Paris, France.- Observatoire de Peris: 2007.- P.204-205.
2. О. В.Болотіна, О.М . Самойленко, С. Л. Болотін, М. О. Литвин, В. Л. Козел ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИВ'ЯЗОК СТАНЦІЇ КОЛОКАЦІЇ «СІМЕЇЗ-КАЦІВЕЛІ»// Бюлетень УЦПОЗ.-2007.-№ 2.- С.21-25.
3. О. В. Болотіна, О. М. Самойленко, С. Л. Болотін, В. Л. Козел ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ПОЛОЖЕННЯ ПУНКТИВ СТАНЦІЇ КОЛОКАЦІЇ «СІМЕЇЗ-КАЦІВЕЛІ»// Кинематика и физика небесных тел.-2008.- Т. 24, № 5.- С.388-400.
4. Ch. Bizouard, S. Bolotin, O. Bolotina, J. Richard, D. Gambis, L. Seoane ATMOSPHERIC AND OCEANIC NORMAL MODES IN POLAR MOTION // In prog.: Journées "Systèmes de référence spatio-temporels" and X. Lohrmann-Kolloquium, 22-24 September, 2008, Dresden, Germany.- (подано).
5. Ch. Bizouard, S. Bolotin, O. Bolotina, D. Gambis. COMPARISON AND GEOPHYSICAL ANALYSIS OF THE EOP SERIES «GINS»/«DYNAMO» AND «STEELBREEZE»// (готується до подання).

### Перелік посилань

1. *Altamimi Z.* ITRF and Collocation sites // IERS Technical Note N 33.-2005.- p.8-15.
2. *Andersen P.H.* High-precision station positioning and satellite orbit determination // NDRE/PUBL-95/01094.-1995.-46 p.
3. *Andersen P.H.* Measuring rapid variations in Earth orientation, geocenter and crust with satellite laser ranging // Bulletin Geodesique.-1994.-P.73-83.
4. *Andersen P.H.* Precise ERS-1 orbit calculation // Bulletin Geodeque.- 1994.- P.84-91.
5. *Andersen P.H., Hauge S., Kristiansen O..* GPS relative positioning at a precision level of one part per billion // Bulletin Geodesique.-1994.-P.57-72.
6. *Andersen P.H., Rekkedal S..* VLBI data analysis with the GEOSAT software // Bulletin Geodesique.-1994.-P.47-56.
7. *Archinal B.A., Mueller. I.I.*// Bull. Geod.-1989.-63.-69.
8. *Boucher C., Altamimi Z.* The ITRF2000//IERS Technical Note.-2004.-No 31.-270 p.
9. *Brzezinski A.* On the interpretation of maximum entropy power spectrum and cross-power spectrum in earth rotation investigations // Manuscripta geodetica.- 1995.- P. 263-348.
10. *Brzezinski A.* Polar motion excitation by variations of the effective angular momentum function, II: extended model // Manuscripta geodetica.- 1994.-19.-P. 157-171.
11. *Brzezinski A., Ch. Bizouard and S. Petrov* Influence of the atmosphere on Earth rotation: what new can be learned from the recent atmospheric angular momentum estimates? // Surveys in Geophysics, 23, 33-69, 2002.
12. *Charlot P., Sovers O.J., Williams J.G., Newhall X.X..* Precession and nutation from joint analysis of radio interferometric and lunar laser ranging observations // The Astronomical Journal.- V.109.- No1.-P.418-427.
13. *Defraigne, P. and Smits, I.* Length of day variations due to zonal tides for an elastic earth in non-hydrostatic equilibrium // Geophys. J. Int.- 1999.-139.-p.563-572.
14. *Feissel M. and W. Lewandowski.* A comparative analysis of Vondrak and Gaussian smoothing techniques // Bull. Geod., 1984, 464-474.
15. *Gambis D.* Monitoring Earth orientation using space-geodetic techniques: state-of-art and prospective // Journal of Geodesy.-2004.-Vol. 78, No 4-5.- P. 295-303.

16. *Gambis D., Biancale R., Carlucci, T. etc.* GRGS Coordinate Project // In proc.: 15<sup>th</sup> International Laser Ranging Workshop, Canberra, 16-20 October, 2006. (In press).
17. *Gambis D., Biancale R., Lenomie J.-M., etc.* Global combination from space geodetic techniques // In proc.: Journées 2005, 19-21 September, 2005, Warsaw, Poland .-2005.-p. 59-61.
18. *Ge L., Chen H.-Y., Han, S. Rizos Ch. ets.* The integration of collocated GPS, VLBI and SLR results // ION GPS 2000, 19-22 September 2000, Salt Lake City.-P.1525-1535.
19. *Gross R.S.* Combinations of the Earth Orientation Measurements: SPACE2001, COMB2001 and POLE2001 // JPL Publication 02-08.-2002.-19 p.
20. IERS Annual Report 2005, p. 127-137.
21. *Lytvyn M.O., Bolotina O.V.* Determination of the collocated IERS sites coordinates eith combination of GPS and SLR data // Prog. of the «Journées2005», Warsaw, Poland, 19-21 September, 2005.-Warsaw, 2006.-P.74-75.
22. *McCarthy D.D. and Gerard Petit.* IERS Conventions (2003) // IERS Technical Note No 32.-Francfurt am Main, 2007.-127 p.
23. *Melachroinos S., Biancale R., Perosanz F..* Ocean loading effect in a high time resolution GPS analysis. Implications and artefacts with GINS GPS software // In proc.: ESOC IGS Workshop 2006. (In press).
24. *Ponte Ruis* // Приватна переписка.
25. *Salstein, D.A, D.M. Kann, A.J. Miller, and R.D. Rosen.* The subbureau for atmospheric angular momentum of the International Earth Rotation Service: A meteorological data center with geodetic applications// Bull. Am. Meteorol. Soc., 1993, 74, 67-80.
26. *Болотін С., Болотіна О., Хода О.* Методика сумісної обробки VLBI-, SLR- та GPS-спостережень // Препринт ГАО: ГАО-05-1У.-К.,2005.-18 с.
27. *Козел О.В.* Исследование эффекта непрецессионного движения равно-денствия по меридианным наблюдениям Солнца 1925-1982 гг.// Кинематика и физика небесных тел. - 1999. - Т. 15, No 1 - С.70-78.
28. *Литвин М.* Алгоритм отримання комбінованого розв'язку за результатами спостережень різних методів космічної геодезії // Програма Міжнародної науково-практичної конференції «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування - європейський досвід», Чернігів, 24-26 травня 2006р. -Чернігів, 2006.-С. 54-58.
29. *Мориц Г., Мюллер А.* Вращение Земли: теория и наблюдения.-Киев: Наукова думка.-1992.-512 с.

30. *Самойленко О.М., Хода О.О., Заець В.В.* Результати геодезичної прив'язки радіотелескопу РТ-22 КРАО та станцій лазерної локації КРАО та КЛО до GPS маркерів на кримському геодинамічному полігоні "Сімеїз-Кацівелі" // Кінематика і фізика небесних тіл.-2007.-Т. 23, No 1.
31. *Хода О.А.* Обработка наблюдений GPS-кампании на Крымском геодинамическом полигоне "Симеиз-Кацивели" в 2001 г.// Кинематика и физика небесных тел.- 2004.-Т.20, No 6.-С.502-510.
32. *Хода О.О.* Кампанія GPS-спостережень на Кримському геодинамічному полігоні "Сімеїз-Кацівелі" в 2004 р.// Зб. наук. праць міжнародної науково-практичної конференції "Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування - європейський досвід".- Чернігів, 2006.-С.29-32.
33. *Яцків Я.С., Болотіна О.В., Болотін С.Л., Медведський М.М., Хода О.О., Вольвач О.Є.* Українська мережа станцій космічної геодезії та геодинаміки (Укргеокосмомережа).- 2005.- Київ: Компанія ВАІТЕ.- 60 с.