

РЕЗУЛЬТАТИ ТРЕТЬОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ КАМПАНІЇ НА ЛОКАЛЬНОМУ ГЕОДИНАМІЧНОМУ ПОЛІГОНІ ГАО НАН УКРАЇНИ

О.М. Самойленко¹, О.В. Адаменко¹, О.В. Болотіна², В.В. Заєць¹, О.О. Хода²

¹ДП «Всеукраїнський державний науково виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту справ споживачів» (Укрметртестстандарт),

03680, м. Київ, вул. Метрологічна, 4

²Головна астрономічна лабораторія НАН України (ГАО НАН України),

03680, м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 27

Визначено високоточні координати реперних (редукційних) точок пунктів геодинамічного полігону ГАО НАН України в локальній топоцентричній системі координат. Отримано локальні геодезичні прив'язки (ексцентри) між реперними точками пункту GPS-спостережень «Київ/Голосіїв» та пункту станції лазерної локації супутників «Голосіїв-Київ» в системі ITRF97 на епоху 1997.0, які становлять 100.2358 м, -11.0398 м, -85.8256 м по осям X,Y,Z відповідно. Визначено координати реперної точки пункту «Голосіїв-Київ» в ITRF97 на епоху 1997.0 шляхом додавання локальних геодезичних прив'язок до координат реперної точки пункту GPS-спостережень «Київ/Голосіїв». Проведено їх порівняння з оцінками координат цих пунктів, отриманих методами космічної геодезії та геодинаміки. Виконана оцінка локальних деформацій геодинамічного полігону за період з 1997 р. по 2006 р. та зроблено висновок про існування певних тенденцій щодо локальних зміщень пунктів геодинамічного полігону ГАО НАН України.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТРЕТЕЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ КАМПАНИИ НА ЛОКАЛЬНОМ ГЕОДИНАМИЧНОМ ПОЛИГОНЕ ГАО НАН УКРАИНЫ Самойленко А.Н., Адаменко А.В., Болотина О.В., Заец В.В., Хода О.А. - Определены высокоточные координаты реперных (редукционных) точек пунктов геодинамического полигона ГАО НАН Украины в локальной топоцентрической системе координат. Получены локальные геодезические привязки (эксцентры) между реперными точками пункта GPS-наблюдений «Киев/Голосеев» и пункта станции лазерной локации спутников «Голосеев-Киев» в системе ITRF97 на эпоху 1997.0, которые составляют 100.2358 м, -11.0398 м, -85.8256 м по осям X,Y,Z соответственно. Определены координаты реперной точки пункта «Голосеев-Киев» в ITRF97 на эпоху 1997.0 путем добавления локальных геодезических привязок к координатам реперной точки пункта GPS-наблюдений «Киев/Голосеев». Проведено их сравнение с оценками координат этих пунктов, полученных методами космической геодезии и геодинаміки. Выполнена оценка локальных деформаций геодинамического полигона за

период с 1997 г. по 2006 г. и сделан вывод о существовании определенных тенденций относительно локальных смещений пунктов геодинимического полигона ГАО НАН Украины.

THE RESULTS OF THE THIRD GEODETIC CAMPAIGN AT THE LOCAL GEODYNAMIC RANGE MAO NAS OF UKRAINE by O. Samoilenko, O. Adamenko, O. Bolotina, V. Zayets, O. Khoda

High-precision coordinates of reference points of the geodynamic test ares MAO NAS of Ukraine in the local topocentric coordinate system are obtained. Local geodetic ties (eccentricities) between the reference points of the GPS station “Kiev/Golosiiv” and the SLR station “Golosiiv-Kiev” in ITRF97 at the epoch 1997.0 are obtained: 100.2358 m, -11.0398 m, -85.8256 m along the axes X,Y,Z correspondedly. The coordinates of the reference point of the “Golosiiv-Kiev ” in ITRF97 at the epoch 1997.0 were obtained by adding the eccentricities to the coordinates of the reference point of the GPS station “Kiev/Golosiiv”. Comparison of the estimations of the coordinates of these points, obtained by methods of space geodesy and geodynamics has been carried out. The estimation of the local deformations of the geodynamic test area during the period from 1997 to 2006 is obtained. Conclusions about existence of the tendencies relative to the local displacement of the reference points of the test ares MAO NAS of Ukraine are made.

Вступ

Міжнародна земна система координат (ITRS) є однією з базових систем в астрономії, геодезії, космічній геодинаміці, навігації, тощо. Її реалізація – Міжнародна земна система відліку (ITRF) – задається сукупністю координат реперних (редукційних) точок пунктів спостережень космічної геодезії та геодинаміки, жорстко пов'язаних з земною поверхнею. До таких пунктів:

- станції лазерної локації штучних супутників Землі та Місяця (ЛЛС);
- станції радіоінтерферометричних спостережень з наддовгими базами (РНДБ);
- станції радіотехнічних спостережень Глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС);
- станції доплерівських спостережень штучних супутників Землі (DORIS).

Реперними або редукційними (далі за текстом реперними) називають точки астрономо-геодезичних пунктів, до яких приводяться спостереження. Для ЛЛС та РНДБ реперною приймається точка перетину азимутальної та кутомісної осей. Якщо ці осі не перетинаються, то вони уявно з'єднуються відрізком, який є найкоротшим з усіх можливих варіантів. В цьому випадку реперною вважається точка перетину азимутальної осі з цим відрізком.

Зауважимо також, що ГНСС включає системи GPS (США), ГЛОНАСС (Росія), а у майбутньому Galileo (Європейський Союз) та інші системи. На сьогоднішній день ГЛОНАСС не є розгорнутою в повному обсязі, тому надалі будемо говорити лише про радіотехнічні спостереження GPS супутників.

Реалізації ITRF можна побудувати, застосовуючи як роздільний, так і сумісний аналіз спостережень різних типів. При цьому вони будуть базуватись на різній підмножині координат реперних точок пунктів спостережень. Тому актуальною стає задача узгодження різних реалізацій ITRF. Її можна вирішити шляхом визначення високоточних геодезичних прив'язок між реперними точками пунктів спостережень так званих станцій колокації – **локальних геодинамічних полігонів**, на яких розташовано два або більше пунктів спостережень космічної геодезії та геодинаміки.

З цією метою на станціях колокації регулярно проводяться геодезичні кампанії [5-9, 11, 15-18] задачами яких, зокрема, є:

- визначення високоточних геодезичних прив'язок між реперними точками пунктів спостережень станцій колокації;
- контроль визначень координат, отриманих з аналізу ЛЛС-, РНДБ-, GPS-, DORIS-спостережень;
- виявлення систематичних похибок ЛЛС-, РНДБ-, GPS-, DORIS-методів;
- дослідження локальних рухів (деформацій) пунктів геодинамічного полігону.

Проведення геодезичної кампанії передбачає побудову на геодинамічному полігоні високоточної локальної геодезичної лінійно-кутової мережі, що включає спеціалізовані геодезичні пункти (точки мережі), та використання спеціалізованих методів прив'язки

реперних точок пунктів спостережень космічної геодезії та геодинаміки до точок мережі.

Геодезичні кампанії на локальному геодинамічному полігоні ГАО НАН України

Станція колокації ГАО НАН України є однією з двох українських станцій колокації космічної геодезії та геодинаміки. На локальному геодинамічному полігоні ГАО НАН України знаходяться два постійно діючих пункта спостережень (GPS-станція «Київ/Голосіїв» та ЛЛС-станція «Голосіїв-Київ»). Пункти спостережень входять до складу Української мережі станцій космічної геодезії та геодинаміки [10], є ланками Європейської перманентної GPS-мережі (EPN) і Міжнародної GNSS служби (IGS) та Міжнародної служби лазерної локації (ILRS) відповідно, характеризуються значним – понад 10 років – періодом спостережень. Це обумовило наявність тривалої історії геодезичних кампаній на локальному геодинамічному полігоні ГАО НАН України.

Перша геодезична кампанія на локальному геодинамічному полігоні ГАО НАН України відбулась у 1987 р. За її результатами були визначені локальні геодезичні прив'язки реперної точки пункту спостережень «Голосіїв-Київ» відносно реперних точок пунктів локальної геодезичної мережі та точок, координати яких були визначені методом доплерівського спостереження штучних супутників Землі [5, 16]. До особливостей кампанії можна віднести недостатньо високу точність геодезичних вимірювань (середня квадратична похибка визначення координат пунктів не перевищувала 10 мм), та невисоку щільність геодезичної мережі (6 пунктів). Виходячи з цього результати даної кампанії в даній роботі не аналізуються.

Друга геодезична кампанія мала місце у 1997 р. [15]. Була створена в остаточному вигляді локальна геодезична мережа на геодинамічному полігоні ГАО НАН України. Вимірювання проводились за схемою, представленою на рис. 1. Використовувались прецизійний теодоліт Theo 10 В та світловіддалемір СП-2 та застосовувались спеціалізовані методи вимірювань, розроблені для геодинамічних полігонів «Сімеїз-Кацівелі» (Україна) [6–8] та «Боровець» (Польща) [17]. Основним завданням кампанії було визначення координат та локальних геодезичних прив'язок реперних точок пунктів спостережень «Голосіїв-Київ» і «Київ/Голосіїв». **Не були визначені напрямки та швидкості локальних горизонтальних та вертикальних деформацій локального геодинамічного полігону, що пов'язано з особливостями першої геодезичної кампанії.** Для визначення координат реперних точок пунктів геодезичної мережі в системі ITRF97 на епоху 1997.0 використовувались GPS-дані, зібрані під час проведення спеціалізованої GPS-кампанії на локальному геодинамічному полігоні ГАО НАН України 10–15 серпня 1997 р. [15]. Загальна інформація про кампанію буде приведена нижче.

Третя геодезична кампанія на геодинамічному полігоні ГАО НАН України відбулась у 2006 р. Геодезичні вимірювання проводились за схемою кампанії 1997 р. Використовувались сучасні геодезичні прилади – прецизійний електронний тахеометр «Trimble 5601» і нівелір Н-05. Застосовувались удосконалені, порівняно з попередньою кампанією, методи

вимірювань та обчислень. Основними задачами кампанії були визначення: локальних геодезичних прив'язок між реперними точками пунктів спостережень та реперними точками спеціалізованих геодезичних пунктів в локальній топоцентричній системі координат, координат реперних точок пунктів спостережень «Голосіїв-Київ» і «Київ/Голосіїв» та локальних геодезичних прив'язок між ними в ITRF97, локальних деформацій геодинамічного полігону.

Саме результати спостережень третьої геодезичної кампанії на локальному геодинамічному полігоні ГАО НАН України були використані для визначення високоточних геодезичних прив'язок між реперними точками пунктів спостережень «Голосіїв-Київ» та «Київ/Голосіїв» і для порівняння визначень координат цих пунктів, отриманих з роздільного аналізу ЛЛС- та GPS-спостережень.

Для оцінки локальних деформацій цього геодинамічного полігону шляхом дослідження локальних зміщень реперних точок пунктів спостережень були використані результати другої та третьої геодезичних кампаній.

Локальна геодезична мережа на геодинамічному полігоні ГАО НАН України

Локальна геодезична мережа на геодинамічному полігоні ГАО НАН України була створена в остаточному вигляді у 1997 р. (рис. 1). Наразі вона включає 16 спеціалізованих геодезичних пунктів: 7 стаціонарних, 6 тимчасових та 3 додаткових. При цьому 10 з 16 геодезичних пунктів геодезичної мережі є GPS-маркерами.

До стаціонарних відносяться наступні пункти геодезичної мережі: реперна точка GPS-станції «Київ/Голосіїв» GLSV, реперна точка ЛЛС-станції «Голосіїв-Київ» GLS-SLR, реперні точки астрономічного залізобетонного стовпа GLSA, бетонної тумби GLM1, металевих геодезичних пунктів GLS2 і GLS4, виносного геодинамічного знаку GLS1 розташованого на одній металевій платформі з GPS-станцією «Київ/Голосіїв».

До тимчасових відносяться такі пункти геодезичної мережі: реперна точка алюмінієвої марки KIEA, реперні точки латунних марок GLS3, GQNW, GQNE, GQSW, GQSE.

До додаткових відносяться пункти геодезичної мережі: реперна точка скляної призми-відбивача R1, реперна точка центру фундаменту демонтованого лазерного віддалеміра DOP2, реперна точка стінової нівелірної марки RP1.

GPS-маркерами цієї геодезичної мережі є реперні точки стаціонарних пунктів GLSV, GLSA, GLM1, GLS2 та тимчасових пунктів KIEA, GLS3, GQNW, GQNE, GQSW, GQSE. Відносно GLSA та GLS2 визначались локальні зміщення реперних точок інших пунктів геодезичної мережі.

В даній роботі координати реперних точок пунктів R1, DOP2 та RP1 не визначались у зв'язку з тим, що вони використовувались лише як допоміжні при геодезичних вимірюваннях. Координати реперної точки пункту GLS1 не визначались через низьку якість відповідних вимірювань.

Особливості обробки результатів геодезичних вимірювань

Обробка вимірювань, виконаних під час третьої геодезичної кампанії, проводилась в два етапи.

На першому етапі здійснювалась попередня обробка результатів геодезичних вимірювань: в результати кутових вимірювань вводились поправки за ухилення прямовисної лінії. Це дозволило під час зрівнювання локальної геодезичної мережі одержати горизонтальні координати та висоти реперних точок пунктів спостережень у локальній топоцентричній системі координат, у якій вісь z співпадає з нормаллю до еліпсоїду WGS84, а вісь x лежить у площині геодезичного меридіану.

На другому етапі виконувалось зрівнювання геодезичної мережі пакетом прикладних програм АРМИГ [1]. Спочатку зрівнювалась висотна мережа та обчислювались геодезичні висоти реперних точок, які далі використовувались для редукування результатів вимірювань довжин ліній геодезичної мережі на еліпсоїд. Після цього виконувалось зрівнювання горизонтальної геодезичної мережі та обчислення горизонтальних координат точок у локальній топоцентричній системі координат.

Результати вимірювань другої геодезичної кампанії також були переоброблені в 2006 році за описаною вище методикою.

Координати реперної точки ЛЛС-станції «Голосіїв-Київ» GLS-SLR у локальній топоцентричній системі координат обчислювались за наведеною в [6-8, 17] методикою.

Аналіз результатів геодезичних вимірювань

1) Результати визначення координат реперних точок пунктів геодинамічного полігону в локальній топоцентричній системі координат. За результатами третьої геодезичної кампанії були визначені високоточні координати (x, y, H) реперних точок пунктів геодинамічного полігону в локальній топоцентричній системі координат. Нуль пунктом локальної топоцентричної системи координат була обрана точка мережі GLSV, через яку проходить суміщена з нормаллю до еліпсоїду WGS84 вісь аплікату, а вісь абсцис знаходиться у площині геодезичного меридіану. Отримані координати GPS-маркерів геодезичної мережі та реперної точки пункту ЛЛС-спостережень «Голосіїв-Київ» GLS-SLR разом з їх середніми квадратичними похибками $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_H)$ приведені в табл. 1. Відзначимо, що за своїм фізичним змістом отримані оцінки координат є локальними геодезичними прив'язками реперних точок пунктів мережі відносно пункту GLSV в локальній топоцентричній системі координат.

Таблиця 1. Координати реперних точок пунктів полігону у локальній топоцентричній системі координат та їхні середні квадратичні похибки

Ім'я точки	x , м	σ_x , м	y , м	σ_y , м	H , м	σ_H , м
GLSV	0.0000	0.0005	0.0000	0.0005	226.3139	0.0007
KIEA	- 1.0332	0.0006	3.2430	0.0004	224.8576	0.0015
GLS2	24.0299	0.0000	58.7604	0.0000	208.8438	0.0002
GLS3	- 61.2060	0.0005	3.5704	0.0005	222.1732	0.0006
GLS4	1.8865	0.0008	0.0174	0.0008	209.2566	0.0003
GQNE	- 41.1649	0.0013	- 1.3554	0.0006	222.0180	0.0010
GQNW	- 41.1717	0.0007	- 3.3558	0.0005	221.9569	0.0008
GQSE	- 43.1656	0.0007	- 1.3515	0.0005	222.0192	0.0008
GQSW	- 43.1701	0.0012	- 3.3489	0.0006	221.9468	0.0009
GLSA	- 75.0129	0.0000	- 54.9044	0.0000	208.4988	0.0000
GLM1	- 111.2581	0.0005	- 41.2872	0.0004	207.6311	0.0002
GLS-SLR	- 116.9441	0.0005	- 60.3791	0.0004	211.7410	0.0010

2) Визначення локальних прив'язок в системі ITRF97. За результатами третьої геодезичної кампанії були визначені локальні геодезичні прив'язки реперної точки GLS-SLR пункту ЛЛС-спостережень «Голосіїв-Київ» відносно GLSV в ITRF97. Для цього, за просторовими координатами $\overrightarrow{R}_{GLSV}^{ITRF97} = \{X_{GLSV}^{ITRF97}, Y_{GLSV}^{ITRF97}, Z_{GLSV}^{ITRF97}\}$ реперної точки пункту GLSV в ITRF97 на епоху 1997.0 (перший рядок таблиці 2) обчислювались геодезичні координати на еліпсоїді WGS84 – широта, довгота та висота. За горизонтальними координатами x та y реперної точки пункту GLS-SLR в локальній топоцентричній системі обчислювались прирости геодезичної широти й довготи та додавалися до геодезичних координат пункту GLSV. Одержані геодезичні координати – широта та довгота – разом з одержаною зі зрівнювання висотної геодезичної мережі геодезичною висотою H , використовувалися для обчислення просторових координат $\overrightarrow{R}_{GLS-SLR}^{ITRF97} = \{X_{GLS-SLR}^{ITRF97}, Y_{GLS-SLR}^{ITRF97}, Z_{GLS-SLR}^{ITRF97}\}$ реперної точки пункту GLS-SLR в ITRF97. Локальні геодезичні прив'язки в ITRF97 одержувались як різниці просторових координат реперних точок GLS-SLR та GLSV.

Визначені таким чином локальні геодезичні прив'язки між реперними точками пунктів GLS-SLR та GLSV в ITRF97 становлять:

$$\overrightarrow{R}_{GLS-SLR}^{ITRF97} - \overrightarrow{R}_{GLSV}^{ITRF97} = \{100.2358 \text{ м}, - 11.0398 \text{ м}, - 85.8256 \text{ м}\}.$$

Відмітимо, що приведені в даній роботі локальні геодезичні прив'язки між реперними точками пунктів GLS-SLR та GLSV в ITRF97 відрізняються від тих, що були визначені в системі ITRF97 під час другої геодезичної кампанії на 0.4785 м, 0.2215 м, 0.5133 м по осям X, Y, Z відповідно. У [4] дискутувалося питання, що це може бути пов'язане з помилковим визначенням локальних геодезичних прив'язок за результатами другої геодезичної кампанії. В процесі обробки результатів третьої геодезичної кампанії виявилось, що вимірювання та

обчислення під час другої геодезичної кампанії були виконані вірно, але в звітний каталог координат була записана геодезична висота не реперної точки GLS-SLR, а геодезична висота відбивача, який був встановлений зверху на корпусі станції лазерної локації супутників та використовувався для вимірювань. Різниця геодезичних висот цих точок складала 0.675 м, що обумовило такі великі різниці у значеннях локальних геодезичних прив'язок, отриманих в 1997 та 2006 рр. В дійсності висоти цих реперних точок різняться всього на 0.5 мм, а горизонтальні координати – відповідно на 3.3 мм та -3.2 мм (див. останній рядок табл. 3). Таким чином, визначені за результатами геодезичної кампанії 2006 року локальні геодезичні прив'язки на даному геодинамічному полігоні рекомендуються для використання.

3) Визначення координат реперної точки пункту GLS-SLR в ITRF97. Координати реперної точки пункту GLS-SLR були визначені в ITRF97 на епоху 1997.0 (третій рядок табл. 2) шляхом додавання до координат пункту GLSV (перший рядок табл. 2) локальних геодезичних прив'язок («геодезичний метод»). Як вихідні були використані координати пункту GLSV, отримані з аналізу GPS-спостережень (перший рядок табл. 2) та опубліковані на інтернет-сторінці Міжнародної служби обертання Землі та базових систем координат (IERS).

З метою контролю визначень координат редуційної точки пункту «Голосіїв-Київ», в таблиці 2 приведено оцінки координат вихідного пункту «Київ/Голосіїв» GLSV'. Оцінки координат пункту «Київ/Голосіїв» в системі ITRF2000 на епоху 1997.0 були отримані в [12] шляхом сумісного аналізу спостережень різних типів. Виконуючи перетворення між системами ITRF2000 та ITRF97 за [13] були отримані координати цього пункту GLSV' в ITRF97.

В таблиці 2 також представлено оцінки координат пункту «Голосіїв-Київ» GLS-SLR'. Оцінки координат пункту «Голосіїв-Київ», визначені з аналізу ЛЛС-спостережень спеціалізованих штучних супутників Землі LAGEOS-1 та LAGEOS-2 за період 2001-2004 рр. Спостереження оброблялись програмним забезпеченням «Київ-Геодинаміка». Використовувались моделі і методи, рекомендовані IERS Conventions 1996 [14]. Як опорна використовувалась система SSC(GAOUA)01L01, яка отримана з аналізу спостережень LAGEOS-1 та LAGEOS-2 за період 01.09.1983-31.12.2001 за умови, що фіксуються координати 119 ЛЛС-станцій на епоху 1997.0 та швидкості 66 ЛЛС-станцій. Процедура аналізу ЛЛС-спостережень детально описана в [2, 3]. Виконуючи перетворення між системами SSC(GAOUA)01L01 та ITRF97, були отримані координати цього пункту GLS-SLR' в ITRF97.

Таблиця 2. Координати пунктів спостережень «Голосіїв-Київ» і «Київ/Голосіїв» в ITRF97 на епоху 1997.0 та їхні середні квадратичні похибки

Номер DOMES	Пункт	X, м	σ_X , м	Y, м	σ_Y , м	Z, м	σ_Z , м	Джерело
12356M001	GLSV	3512889.1260	0.0150	2068979.7690	0.0160	4888903.1270	0.0140	IERS
12356M001	GLSV'	3512889.1261	0.0050	2068979.7723	0.0030	4888903.1301	0.0060	[12]
12356S001	GLS-SLR	3512989.3618	0.0150	2068968.7292	0.0160	4888817.3014	0.0140	
12356S001	GLS-SLR'	3512989.3499	0.0090	2068968.7026	0.0100	4888817.3275	0.0090	[2, 3]

Слід відзначити, що при визначенні координат пунктів полігону «геодезичним методом» як вихідні коректно було б використовувати координати GLSV' як такі, що отримані з аналізу тривалого ряду спостережень та в результаті сумісного аналізу спостережень різних типів. Проте різниці оцінок координат GLSV і GLSV' по осях X, Y, Z становлять 0.0001 м, 0.0033 м, 0.0031 м відповідно. Це є меншим за точність визначення координат GLSV'. Таким чином використання як вихідних оцінок GLSV є виправданим.

Різниці оцінок координат GLS-SLR і GLS-SLR' по осях X, Y, Z становлять 0.0119 м, 0.0266 м, -0.0261 м відповідно. Різниці оцінок по X лежать на межі середніх квадратичних похибок визначення координат. Різниці оцінок по Y та Z перевищують похибки визначення координат майже у два рази і є суттєвими. Згідно з [2, 3], такі різниці по Y та Z можуть бути наслідком похибок в оцінках GLS-SLR', викликаних систематичними похибками служби часу та нестабільною роботою системи калібрування пункту лазерної локації «Голосіїв-Київ». Отже, порівняння оцінок координат пунктів спостережень, отриманих «геодезичним методом» та з аналізу спостережень космічної геодезії та геодинаміки, дозволяє підтвердити припущення про існування систематичних похибок в роботі апаратного комплексу пункту спостережень «Голосіїв-Київ» та якісно оцінити вплив цих систематичних похибок.

Зауважимо, що приведені в даній роботі різниці координат GLS-SLR і GLS-SLR' є меншими за аналогічні оцінки з [2], що пов'язано з підвищенням надійності визначення координат з аналізу ЛЛС-спостережень. Це обумовлено: використанням в даній роботі результатів аналізу тривалого ряду ЛЛС-спостережень, виключенням виявлених раніше систематичних похибок в роботі апаратного комплексу пункту «Голосіїв-Київ», модернізацією обладнання цього пункту спостережень та, як відзначалось вище, з помилковими даними щодо локальної геодезичної прив'язки, визначеної за результатами другої геодезичної кампанії.

4) Дослідження деформацій локального геодинамічного полігону ГАО НАН України. За результатами другої та третьої геодезичних кампаній були досліджені

деформації локального геодинамічного полігону ГАО НАН України, у тому числі знаходження локальних зміщень реперних точок пунктів GLS-SLR та GLSV відносно найближчих точок геодезичної мережі та одна відносно одної за період з 1997 р. по 2006 р. в локальній топоцентричній системі координат. При цьому використовувались переоброблені результати геодезичних вимірювань, виконаних під час другої геодезичної кампанії (див. вище).

Локальні зміщення реперних точок пунктів геодезичної мережі визначались як різниці координат точок, одержаних за результатами третьої та другої геодезичних кампаній. При обробці вимірювань другої геодезичної кампанії за вихідні брались координати реперних точок KIEA та GLS3, які були перераховані у локальну топоцентричну систему координат за результатами GPS-кампанії 1997 р. (див. вище).

При обробці вимірювань третьої геодезичної кампанії за вихідні брались координати реперних точок GLSA та GLS2, як найбільш надійних і таких, які будуть використовувались як вихідні в наступних геодезичних кампаніях. Зміщення dx , dy , dH реперних точок GLS-SLR, GLSV та інших реперних точок локальної геодезичної мережі відносно GLSA та GLS2 за період з 1997 р. по 2006 р. в локальній топоцентричній системі координат наведені в табл. 3.

В таблиці 3 також приведені границі довірчих інтервалів відповідних локальних зміщень, розраховані за формулою:

$$\Delta = \pm t_{\beta} \cdot \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma_3^2},$$

де $t_{\beta} = 2.5$ - коефіцієнт нормального розподілу Лапласа при довірчій імовірності 0.99; σ_2 та σ_3 - середні квадратичні похибки координат, одержані зі зрівнювання локальної геодезичної мережі відповідно у другій та третій геодезичних кампаніях.

Таблиця 3. Локальні зміщення реперних точок локальної геодезичної мережі відносно GLSA та GLS2 у локальній топоцентричній системі координат та границі їх довірчого інтервалу

Ім'я точки	dx , мм	$\pm \Delta_x$, мм	dy , мм	$\pm \Delta_y$, мм	dH , мм	$\pm \Delta_H$, мм
KIEA	- 6.4	± 1.3	2.1	± 1.3	- 1.1	± 2.5
GLSV	- 6.1	± 2.9	- 3.4	± 1.8	- 0.7	± 3.9
GLS2	0.0	± 3.5	0.0	± 3.3	4.0	± 0.7
GLS3	1.8	± 2.8	1.2	± 2.4	0.1	± 2.1
GLS4	- 5.6	± 4.3	3.1	± 4.0	- 0.5	± 1.1
GQNE	- 1.8	± 4.0	6.5	± 2.1	- 3.3	± 3.5
GQNW	- 1.9	± 2.7	5.0	± 1.8	- 6.5	± 2.8
GQSW	0.5	± 2.5	4.7	± 1.8	- 4.0	± 2.8
GQSE	- 0.1	± 4.2	5.0	± 2.3	- 2.6	± 3.2
GLSA	0.0	± 2.0	0.0	± 2.3	0.0	± 0.0
GLM1	- 2.8	± 2.4	- 3.1	± 3.2	- 0.3	± 0.7
GLS-SLR	3.3	± 2.8	- 3.2	± 3.6	- 0.5	± 3.5

Локальні зміщення реперних точок пунктів GLS-SLR, GLM1 та GLS3, які знаходяться у

південній частині локального геодинамічного полігону, майже не виходять за границі їх довірчої похибки. Локальні зміщення в напрямку на південь по осі x локальної топоцентричної системи координат реперних точок пунктів GLSV, KIEA та GLS4, які знаходяться на півночі локального геодинамічного полігону, виходять за границі їх довірчої похибки і становлять в середньому 6 мм. Локальні зміщення точок GQNE, GQNW, GQSW, GQSE на схід також виходять за границі їх довірчої похибки і становить в середньому 5.3 мм. Локальні зміщення тих же точок по висоті є значимим і в середньому становлять -4.1 мм, що можна пояснити (як і для горизонтальних локальних зміщень) їхнім ненадійним закріпленням.

Отримані значення локальних зміщень пунктів геодинамічного полігону за період з 1997 р. по 2006 р. не перевищують або несуттєво перевищують точність визначення їх координат в локальній топоцентричній системі (табл. 3). Таким чином, на цьому етапі досліджень не можна говорити про наявність значимих деформацій полігону. Можна констатувати лише факт існування певних тенденцій щодо локальних зміщень реперних точок пунктів геодинамічного полігону ГАО НАН України.

Вектор відносних зміщень реперної точки GLS-SLR відносно реперної точки GLSV за даними таблиці 3 становить:

$$\left(\overrightarrow{dR}_{GLS-SLR} - \overrightarrow{dR}_{GLSV} \right)^{LOC} = \left\{ \left(dx_{GLS-SLR} - dx_{GLSV}, dy_{GLS-SLR} - dy_{GLSV}, dH_{GLS-SLR} - dH_{GLSV} \right) \right\} = \{ 9.4 \text{ мм}, 0.2 \text{ мм}, 0.2 \text{ мм} \}.$$

Отримані значення зміщень суттєво не перевищують точність визначення координат реперних точок GLS-SLR та GLSV в локальній топоцентричній системі. Таким чином, на цьому етапі досліджень немає необхідності в їх використанні.

Висновки

1. За результатами третьої геодезичної кампанії 2006 р. були визначені високоточні координати реперних точок пунктів геодинамічного полігону ГАО НАН України в локальній топоцентричній системі координат.
2. Отримано локальні геодезичні прив'язки реперної точки ЛЛС-станції «Голосіїв-Київ» GLS-SLR до реперної точки GPS-станції «Київ/Голосіїв» GLSV геодинамічного полігону ГАО НАН України в ITRF97 на епоху 1997.0 які становлять 100.2358 м, -11.0398 м, -85.8256 м по відповідним осям.
3. Визначено координати реперної точки пункту GLS-SLR в ITRF97 на епоху 1997.0 відносно координат пункту GLSV. Проведено їх порівняння з оцінками координат цих пунктів, отриманих методами космічної геодезії та геодинаміки. Підтверджено припущення про існування систематичних похибок в роботі апаратного комплексу пункту спостережень «Голосіїв-Київ» та оцінено вплив цих систематичних похибок на визначення його координат.

4. Отримані оцінки локальних зміщень реперних точок пунктів геодинамічного полігону за період з 1997 р. по 2006 р. не перевищують або несуттєво перевищують точність визначення їх координат в локальній топоцентричній системі (табл. 3), таким чином не можна говорити про наявність значимих локальних деформацій геодинамічного полігону. Можна констатувати лише факт існування певних тенденцій щодо локальних зміщень пунктів геодинамічного полігону ГАО НАН України.
5. Визначені оцінки відносних зміщень реперних точок GLS-SLR та GLSV в локальній топоцентричній системі суттєво не перевищують точність визначення координат. Таким чином, на цьому етапі досліджень немає необхідності в їх використанні.
6. Зважаючи на важливість високоточних визначень локальних геодезичних прив'язок між пунктами спостережень станцій колокації та на існування певних тенденцій щодо локальних зміщень пунктів геодинамічного полігону ГАО НАН України рекомендуємо регулярне проведення геодезичних кампаній на даному геодинамічному полігоні.

Література

1. В.А. Беляев. Пакет прикладных программ. Автоматизированное рабочее место инженера геодезиста (АРМИГ). Инструкция по эксплуатации.
2. О. Болотіна, М. Медведський. Результати дослідження стабільності роботи українських станцій лазерної локації// Кинематика и физика небесных тел.–2007.–Т. 23, № 1.–С. 11–17.
3. О. Болотіна, М. Медведський. Дослідження стабільності роботи станцій української ЛЛС-мережі // Препринт ГАО-06-1У.-Київ.-2006.-38 с.
4. О. В. Болотина, Ю. М. Глущенко, М. М. Медведский, Н. Н. Перетятко, В. Р. Суберляк, Д. Я. Яцкив. Лазерный спутниковый дальномер "Голосиив-Киев". Технические характеристики и результаты наблюдений 2001 года // Кинематика и физика небес. тел.-2001.- 17, N 6.-С. 560-572.
5. Н.Т. Миронов, А.Н. Самойленко, В.М. Яксь, Я.С. Яцкив. Геоцентрические координаты и относительные положения двух лазерных дальномеров ГАО АН УССР и специальных геодезических знаков (маркеров) // Кинематика и физика небесных тел.–1988.– Т. 4, № 6.– С. 88–90.
6. А.Н. Самойленко. Локальная геодезическая сеть на Симеизском геодинамическом полигоне // Препринт ГАО–96–1Р. — Київ. — 1996. — 36 с.
7. О.М. Самойленко. Геодезична прив'язка радіотелескопів та станцій лазерної локації супутників до GPS–маркерів // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.– 36. наук. праць. Л.: Ліга–Прес, 2006.– Вип. I. – С. 46–52.
8. О.М. Самойленко, О.О. Хода, В.В. Заєць. Результати геодезичної прив'язки радіотелескопу РТ–22 КрАО та станцій лазерної локації супутників КрАО та КЛЮ до GPS–маркерів на Кримському геодинамічному полігоні «Сімеїз–Кацивелі»//Кинематика и физика небесных тел.– 2007.– Т. 23, № 1.–С. 3-10.

9. О.А. Хода. Обработка наблюдений GPS–кампании на Крымском геодинамическом полигоне «Симеиз—Кацивели» в 2001 г. // Кинематика и физика небесных тел. — 2004. — Т. 20, № 6 — С. 502–510.
10. 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 (Укргеокоосмережа).- 2005.- Київ: Компанія ВАІТЕ.- 60 с.
11. S. Bolotin, I. Gaiovitch, O. Khoda, A. Samoilenko, Ya. Yatskiv. GPS Observational Campaign in the Geodynamics Test Area “Simeiz–Katsively”: Data Processing and Results // Додаток до журналу «Космічна наука і технологія». — 1995. — Том 1, № 2. — 16 с.
12. C. Boucher, Z. Altamimi, P. Sillard, et. The ITRF 2000 // IERS Technical Note No 31.-Frankfurt am Main, 2007.-289 p.
13. D. D. McCarthy and Gerard Petit. IERS Conventions (2003) // IERS Technical Note No 32.- Frankfurt am Main, 2007.-127 p.
14. D. D. McCarthy IERS Conventions (1996) // IERS Technical Note No 21.-Observatoire de Paris, 1996.-95 p.
15. I. Gaiovitch, O. Khoda, A. Osmak, A. Samoilenko. Collocation of Different Geodetic Techniques at the Main Astronomical Observatory in Kiev // Proc. International Workshop on Geodetic Measurements by the Collocation of Space Techniques on Earth (GEMSTONE). — Tokyo (Japan). — 1999. — P. 225–229.
16. W. Jaks, Ya.S. Yatskiv, N.T. Mironov, A.N. Samoilenko. Local geodetic survey for SLR station in Kiev // Проблемы астрометрии и космической геодинамики: Материалы международного семинара по проблемам астрометрии и космической геодинамики, Киев, 1990. — К.: Наукова думка, 1991. — С. 115–121.
17. A. Samoilenko, S. Rudenko, S. Schillak. Local geodetic tie of the Borowiec–1 SLR station to GPS markers // Artificial satellites. — 1997. — Vol. 32, No. 3. — P. 175–184.
18. P. Sarti, P. Sillard, L. Vittuari. Surveying co–located space–geodetic instruments for ITRF computation // Journal of Geodesy. — 2004. — Vol. 78. — P. 210–222.

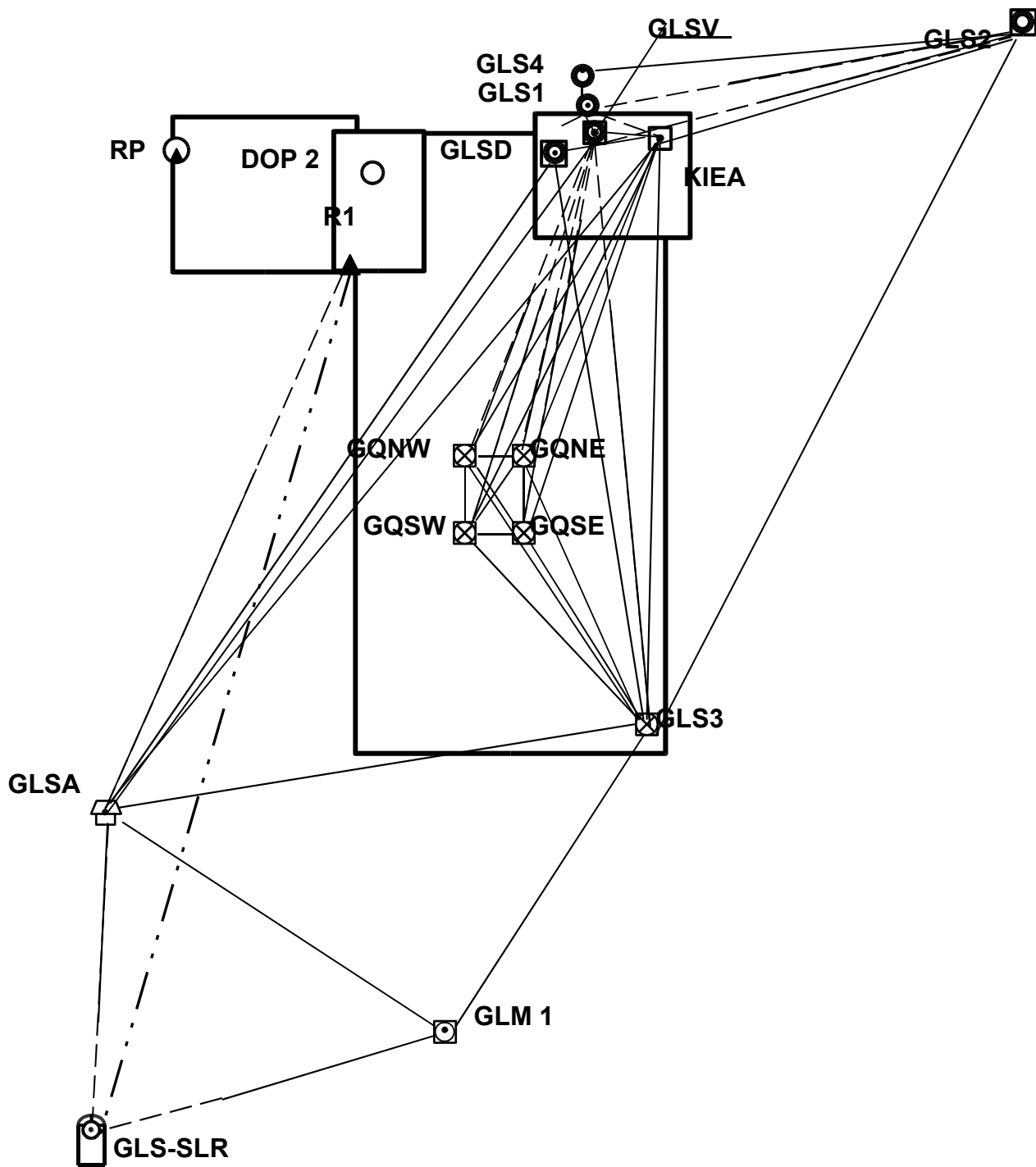


Рис. 1. Схема локальної геодезичної мережі на геодинамічному полігоні
 ГАО НАН України