

УДК 528.3

О.Я. Гринишина-Полюга

Національний університет “Львівська політехніка”

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ АКТИВНИХ РЕФЕРЕНЦІЙНИХ СТАНЦІЙ МЕРЕЖІ ZAKPOS/UA-EUPOS ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ 2009–2010 рр.

© Гринишина-Полюга О.Я., 2010

Описаны этапы расширения и обработки координат GNSS станций сети ZAKPOS / UA-EUPOS в течение 2009–2010 гг.

Describes the stages to expand and coordinate processing GNSS station network ZAKPOS / UA-EUPOS during the years 2009–2010

Постановка проблеми. Нині постійна мережа GNSS (Глобальні навігаційні супутникові системи) станцій є потужним інструментом для спеціалістів, що працюють в галузі геодезії, топографічних знімань і картографування, оскільки вона може забезпечити технологічними засобами для значного скорочення часу і економічних витрат топографо-геодезичних робіт. Крім того, мережа забезпечує дуже важливу підтримку з вивчення і досліджень деформацій земної кори або моніторингу її зміщень.

На початку лютого 2009 р. було введено в роботу нову постійнодіючу мережу GNSS-станцій, що отримала назву ZAKPOS (Закарпатська служба визначення місцезнаходження). Вона була створена на території Закарпатської області і складалася із п'яти референційних станцій. Мережа ZAKPOS є першою GNSS-мережею активних референційних станцій в Україні, що надає послуги з визначення координат як у режимі постобробки (з використанням діючих і створенням віртуальних референційних станцій), так і у режимі реального часу RTK (коли користувач отримує відповідні поправки). Маючи на початку 2009 р. всього п'ять референційних станцій, мережа ZAKPOS на середину 2010 р. вже об'єднувала 17 станцій, а на кінець 2010 р. – 28 станцій, і в результаті стає мережею національного масштабу під новою назвою UA-EUPOS, підкреслюючи тим самим свою відповідність загальноєвропейським стандартам і традиціям.

Сьогодні мережу UA-EUPOS опрацьовує програмне забезпечення GIPSY-OASIS 6.0 в системі відліку IGS05 (ITRF2005), а для фіксування координат референційних станцій при наданні зазначених вище послуг вони трансформуються у земну референційну систему ETRS89 у реалізації ETRF2000 на епоху спостережень. Головним критерієм якісної роботи обчислювального центру мережі UA-EUPOS є умова стабільності координат референційних станцій. Незалежно від епохи спостережень, кількості станцій у мережі, типу GNSS-обладнання тощо зміна координат референційних станцій не повинна перевищувати 1 см.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Опрацювання мереж GNSS-станцій розглянуто у великій кількості публікацій і методичних матеріалів [3, 7, 8, 10–12]. Майже всі вони базуються на тих самих принципах, що покладені в основу опрацювання перманентних станцій EPN (European Permanent Network) та IGS (International GNSS Service). Стратегія EPN для опрацювання GNSS спостережень ґрунтується на розподіленому принципі, тобто вся мережа станцій поділяється на окремі частини. Ці частини (субмережі), а це близько 30 станцій, опрацьовують місцеві центри аналізу (LAC) згідно з певними стандартами. На підготовчому етапі повинно бути виконано:

1. Завантаження всіх файлів спостереження у форматі RINEX підмережі на період опрацювання. Дані всіх станцій EPN доступні з центрів зберігання [6, 13]. 2. Завантаження файлів орбіт IGS і параметрів обертання Землі (ERP) з центру IGS даних [14]. 3. Завантаження координат і швидкостей станцій з останньої реалізації ITRF [13]. 4. Підготовка таблиць океанічних навантажень для кожної станції або з [13], або з використанням онлайн-сервісу [15]. 5. Підготовка калібрувальної таблиці для приймача і супутникових антен з файла в форматі ANTEX. Детальні опції для налаштування програмного забезпечення при опрацюванні субмереж EPN наведені у “Guidelines for EPN Analysis Centres” [13].

Місцеві та регіональні мережі GNSS станцій є вже мережами згущення щодо станцій EPN/IGS, тому для їх опрацювання існують свої специфічні підходи і технології. Основним керівним документом при цьому є “Guidelines for EUREF Densifications” [4].

Постановка завдання. Метою цієї роботи було порівняння визначених координат активних референсних станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS за даними спостережень 2009–2010 рр. у зв’язку із значним розширенням мережі.

Виклад основного матеріалу. На початку 2009 р. на території Закарпатської області почала функціонувати мережа референсних станцій ZAKPOS, яка на той час об’єднувала 5 GNSS-станцій: **RAKH** (Рахів), **MIZG** (Міжгір’я), **MUKA** (Мукачеве), **KHST** (Хуст), **VBER** (Великий Березний). Схематично мережа ZAKPOS початку 2009 р. (I етап) зображена на рис.1.

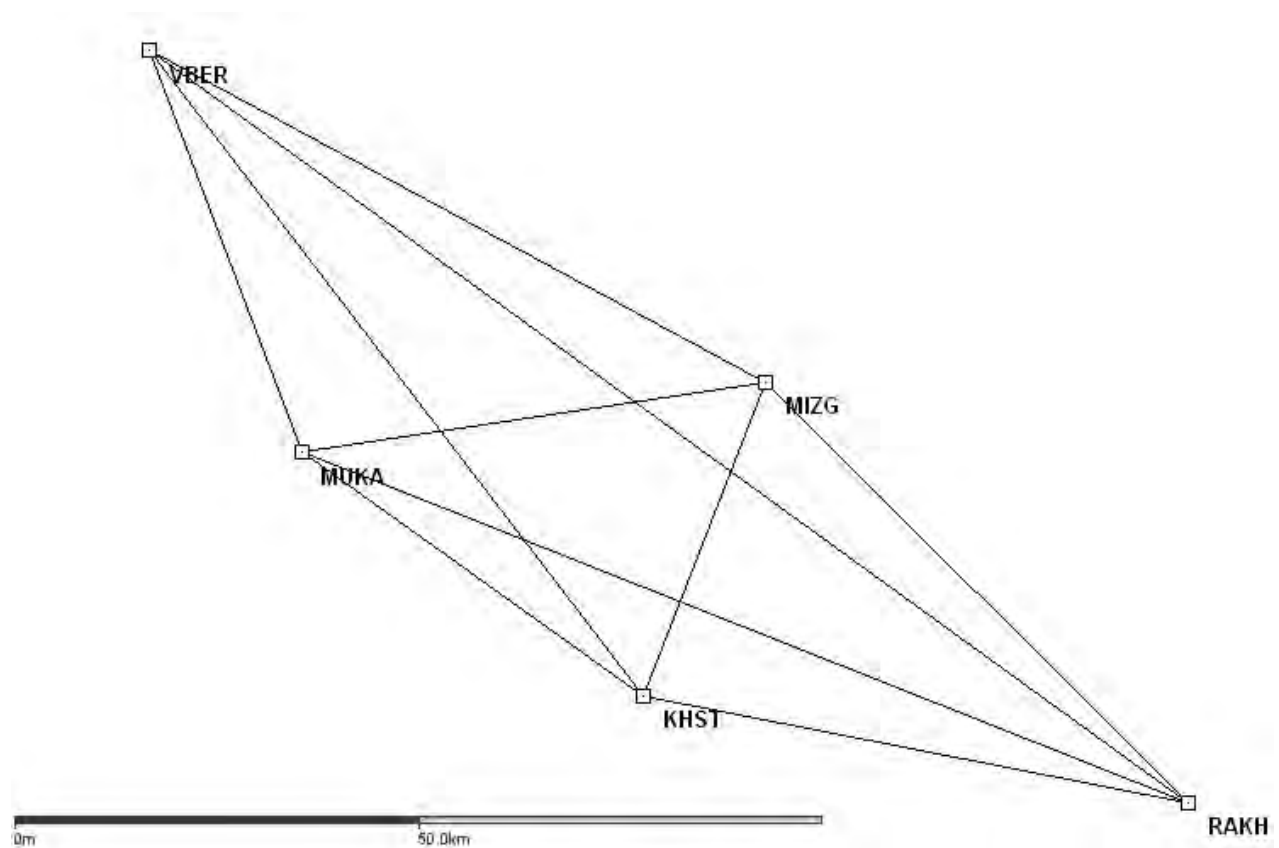


Рис. 1. Схеми розташування референсних станцій мережі ZAKPOS (лютий 2009 р.)

У табл. 1 наведено технічні характеристики щодо обладнання референсних станцій мережі ZAKPOS (типи приймачів та антен, висота антен).

Таблиця 1

Характеристики обладнання станцій мережі ZAKPOS (лютий 2009 р.)

Код станції	Тип приймача	Тип антени	Висота антени до ARP
MIZG	TRIMBLE NetR5	TRM55971.00	0.0000 m
MUKA	TRIMBLE NetR5	TRM55971.00	0.0770 m
RAKH	TRIMBLE NetR5	TRM55971.00	0.0000 m
KHST	TRIMBLE NetR5	TRM55971.00	0.0000 m
VBER	TRIMBLE NetR5	TRM55971.00	0.0000 m

Протягом року (лютий 2009 р. – початок 2010 р.) мережа ZAKPOS постійно розширювалась. Станом на квітень 2010 р. до неї входило вже 17 GNSS-станцій, а саме станції: **KHST, MIZG, MUKA, RAKH, VBER** (станції мережі ZAKPOS), **CRNI** (Чернівці), **FRAN** (Івано-Франківськ), **RVNE** (Рівне), **TERN** (Тернопіль), **SHAZ** (Шацьк, Волинська обл.), **CTIG** (Кишинів, Молдовський технічний університет), **HOZD, HRUB, UZDL** (станції польської мережі ASG-EUPOS), **SKSV, SKTV** (станції словацької мережі SKPOS), **VASA** (станція угорської мережі GNSSnet.hu). Власне з того часу сама мережа ZAKPOS отримала нову назву – ZAKPOS/UA-EUPOS. Схема мережі ZAKPOS/UA-EUPOS станом на квітень 2010 р. (II етап) подана на рис. 2.

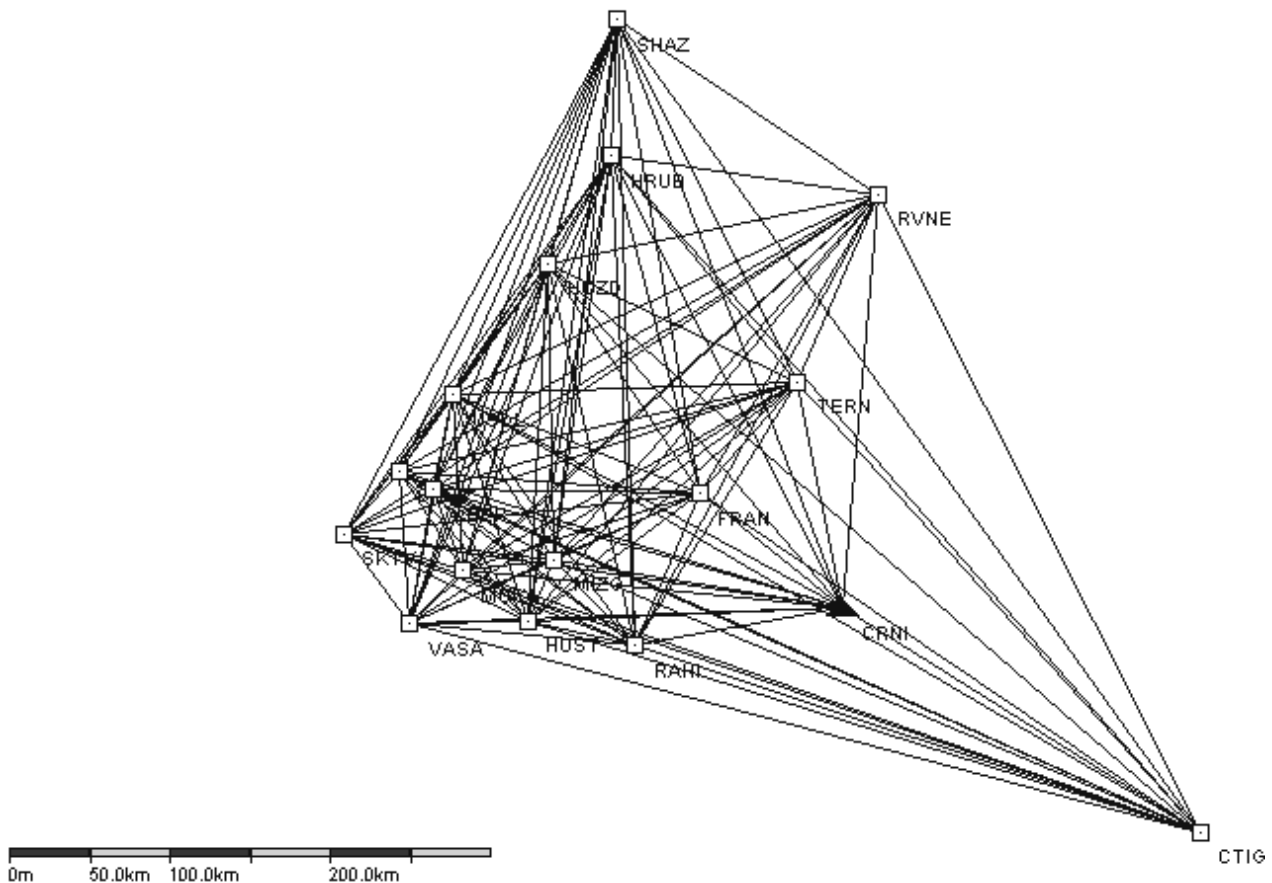


Рис. 2. Схема розташування референцих станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS (квітень 2010 р.)

У табл. 2 наведено характеристики обладнання нових референцих станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS, які увійшли в мережу протягом 2009–2010 рр.

Таблиця 2

Характеристики обладнання станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS (квітень 2010 р.)

Код станції	Тип приймача	Тип антени	Висота антени до ARP
CRNI	TRIMBLE 5700	TRM41249.00	0.0000 m
CTIG	TRIMBLE 5700	TRM41249.00	0.0000 m
FRAN	TPS GB-1000	TPSPG_A1	0.0000 m
HOZD	TRIMBLE NETRS	TRM41249.00	0.0000 m
HRUB	TRIMBLE NETRS	TRM41249.00	0.0000 m
RVNE	TRIMBLE 5700	TRM41249.00	0.0000 m
SHAZ	TRIMBLE 5700	TRM41249.00	0.0000 m
SKSV	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00	0.0000 m
SKTV	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00	0.0000 m
TERN	TRIMBLE 5700	TRM41249.00	0.0000 m
UZDL	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00	0.0000 m
VASA	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG	0.0000 m

Протягом другої половини 2010 р. до мережі референсних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS було під'єднано ще 10 GNSS-станцій. Це передусім окремі станції мережі СКНЗУ (Система координатно-часового і навігаційного забезпечення України) від Національного космічного агентства: **JVRS** (Яворів, Львівська обл.), **KRRS** (Кіровоград), **ODRS** (Одеса), **VNRS** (Вінниця); станція **KYIV** (Київ), що увійшла на правах партнера мережі, а також чотири станції румунської мережі ROMPOS: **BAIA** (Baia Mare), **DORO** (Dorohoi), **SATU** (Satu Mare), **WISE** (Viseu de Sus). Зазначимо, що станція **TREB** від словацької мережі SKPOS з'явилася замість станції **SKTV** від тієї самої мережі. Схема мережі ZAKPOS/UA-EUPOS станом на листопад 2010 р. (III етап) подана на рис. 3.

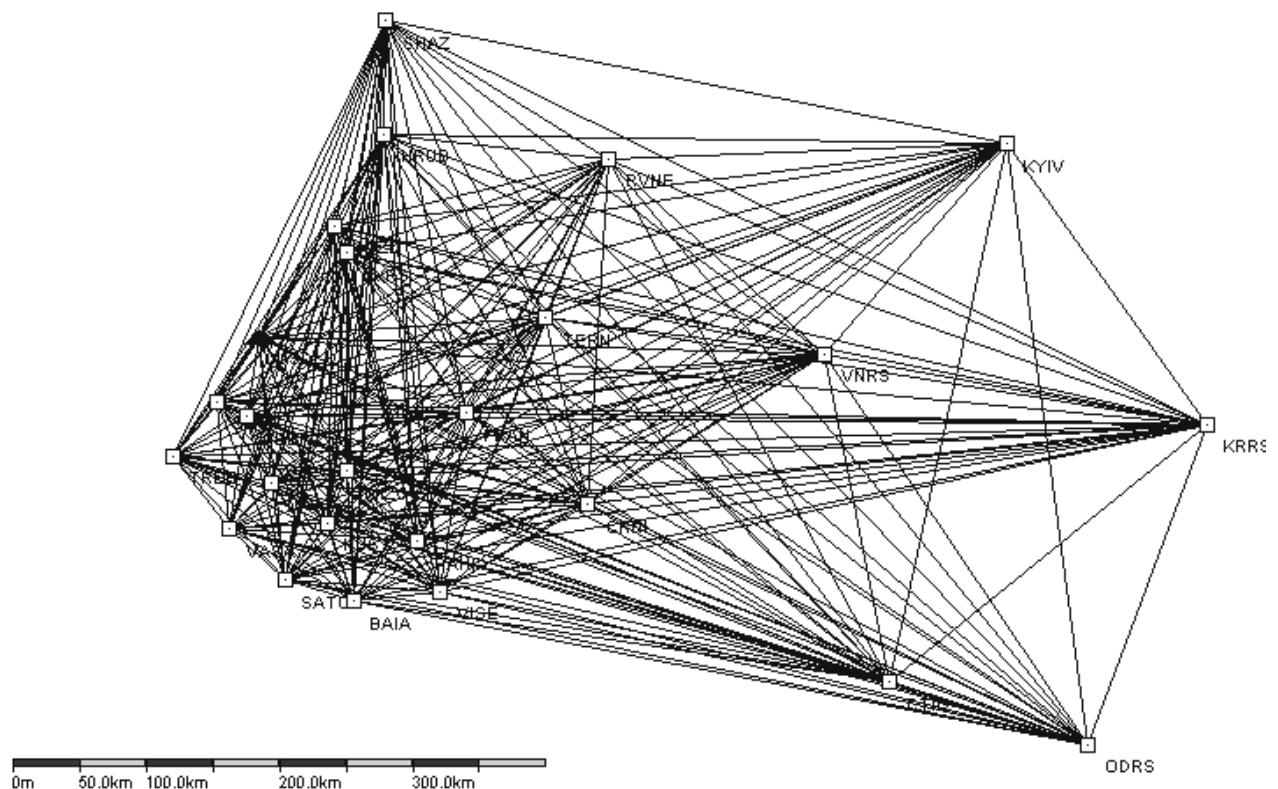


Рис. 3. Схема розташування референсних станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS (листопад 2010 р.)

У табл. 3 наведено характеристики обладнання референсних станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS, які увійшли в мережу протягом другої половини 2010 р.

Таблиця 3

Характеристики обладнання станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS (листопад 2010 р.)

Код станції	Тип приймача	Тип антени	Висота антени до ARP
BAIA	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504	0.0000 m
DORO	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG	0.0000 m
JVRS	NOV OEMV3	NOV702GG	0.0000 m
KRRS	NOV OEMV3	NOV702GG	0.0000 m
KYIV	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00	0.0000 m
ODRS	NOV OEMV3	NOV702GG	0.0000 m
SATU	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG	0.0000 m
TREB	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00	0.0000 m
WISE	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG	0.0000 m
VNRS	TRIMBLE 5700	NOV702GG	0.0000 m

Дані GNSS-спостережень на I етапі опрацьовувались із використанням програмного забезпечення Trimble Total Control версії 2.73. Координати референцних станцій мережі ZAKPOS почергово визначались відносно двох перманентних EPN станцій – UZHL (Ужгород) та SULP (Львів) [13]. Вибір саме цих станцій зумовлений тим, що вони розташовані у безпосередній близькості до мережі ZAKPOS, а також можливістю прямого доступу до результатів спостережень, особливо це стосується перманентної станції SULP. У табл. 4 наведено різниці між координатами мережі ZAKPOS, які визначені окремо від станцій UZHL та окремо від станції SULP. Систематичні різниці у висоті близько 1 см зумовлені проблемою адаптації файла з калібруванням антени TRM29659.00, що встановлена на станції UZHL, у програмне забезпечення Trimble Total Control [1].

Таблиця 4

Різниці між координатами станцій мережі ZAKPOS (1517-1572 GPS-тижні)

Станція	$B_{UZHL} - B_{SULP}$	$L_{UZHL} - L_{SULP}$	$H_{UZHL} - H_{SULP}$
KHST	-0.00007"	0.00008"	-0.011 м
MIZG	0.00009"	-0.00004"	-0.012 м
MUKA	-0.00009"	-0.00006"	-0.013 м
RAKH	-0.00009"	0.00007"	-0.013 м
VBER	0.00008"	0.00007"	-0.012 м

Для регулярного опрацювання даних спостережень зі станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS на II етапі розширення вибрано вихідні перманентні GNSS-станції, які входять у європейську (EPN) та міжнародну (IGS) мережі, і які більш-менш територіально рівномірно розташовані навколо нашої мережі. Такими виявились станції: **BACA**, **BAIA**, **BUCU**, **DEVA** (Румунія), **GANP** (Словаччина), **JOZ2** (Польща), **PENC** (Угорщина), **SULP** та **UZHL** (Україна).

У табл. 5 наведено характеристики обладнання вихідних перманентних станцій мережі EPN/IGS, охоплені опрацюванням.

Таблиця 5

Характеристики обладнання станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS (листопад 2010 р.)

Код станції	Тип приймача	Тип антени	Висота антени до ARP
BACA	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504	0.0000 m
BAIA	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504	0.0000 m
BUCU	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG	0.0970 m
DEVA	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504	0.0000 m
GANP	TRIMBLE NETR8	TRM55971.00	0.3830 m
JOZ2	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG	0.0000 m
PENC	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504 GG	0.0300 m
SULP	TRIMBLE 4700	TRM55971.00	4.7295 m
UZHL	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.0000 m

На станціях мережі ZAKPOS/UA-EUPOS регулярні GNSS-спостереження розпочалися у лютому 2010 р. (1573 GPS-тиждень). Для опрацювання взято 28 GPS-тижнів безперервних спостережень – від 1573 (лютий 2010 р.) до 1600 (вересень 2010 р.). Тривалість добових спостережень становила 24h, а інтервал між епохами – 30^s.

Для того, щоб виконати опрацювання, потрібно було підготувати дані спостережень, а саме:

- перетворити файл GNSS даних із внутрішнього формату приймача у формат RINEX 2.10 та отримати два файли з розширенням *.d та *.n, а з використанням процедури Hatanaka Compact RINEX -файл *.d у файл RINEX *.o;

- здійснити вибірку даних GNSS спостережень з перманентних станцій на дату вимірювань із бази EPN/IGS [6];

- одержати точні ефемериди – GPS та GLONASS (на відміну від I етапу опрацювання, на II етапі ефемериди GLONASS ми не використовували).

Опрацювання даних GNSS-спостережень на II етапі виконувалось за допомогою програмного забезпечення GIPSY/OASIS II (GPS Inferred Positioning SYstem/Orbit Analysis and Simulation Software) версії липень 2009 р.. Пакет програмного забезпечення GIPSY/OASIS розроблений в JPL (лабораторії реактивного руху), США і фінансується NASA (Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору). GIPSY і OASIS – це два окремі програмні пакети. Пакет GIPSY розроблено для стандартних геодезичних застосувань, тоді як OASIS є пакетом коваріаційного аналізу для визначення параметрів орбіти Землі та космічних апаратів.

Основними характеристиками GIPSY є:

- GIPSY може обробляти дані в декількох режимах – від статичного до кінематичного;
- GIPSY забезпечує процес нерізницевих вимірювань, де дані і фази несучої і псевдовідстані фільтруються одночасно;

- GIPSY використовує неперервний процес застосування пакетного послідовного шумового фільтра, де дані фази несучої вибираються у визначеному інтервалі і де дані псевдовідстаней згладжуються;

- GIPSY дають змогу оцінити постійні, а також інші параметри, що залежать від часу. Опрацювання шуму відіграє ключову роль в оцінці стохастичних параметрів;

- GIPSY є відмінним інструментом для обчислення точних орбіт GPS-супутників;
- GIPSY надає можливості для обробки GPS-, SLR-, TOPEX- і DORIS-даних;
- GIPSY здатний визначати дуже точні координати станції, параметри орієнтації Землі, параметри тропосфери, зміщення станції та зміщення ходу годинників.

До особливостей процесу опрацювання можна зарахувати використання: параметрів орбіт супутників, годинників супутників, тиску сонячного випромінювання, параметрів обертання Землі та параметрів тропосфери з фінальних розв'язків IGS, оскільки нашим головним завданням було отримання саме якнайточніших координат референцних станцій, а не інших параметрів.

Опрацювання даних спостережень здійснювалось щодобово, а максимальна кількість пунктів не перевищувала 35. В результаті роботи програми ми отримували щоденні розв'язки IGS05 (ITRF2005) на епоху спостережень, які пізніше трансформували у систему ETRS89/ETRF2000. Для контролю точності наших обчислень ми утворили різниці між одержаними координатами станцій мережі ZAKPOS до розширення мережі (I етап) і станом на квітень 2010 р. (табл. 6), коли у мережу увійшло 17 станцій.

Таблиця 6

Порівняння координат станцій мережі ZAKPOS за період лютий 2009 р. – лютий 2010 р.

Станція	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔZ , мм
KHST	9	3	6
MIZG	8	5	5
MUKA	8	5	7
RAKH	13	6	8
VBER	9	5	4

На III етапі, що розпочався з 1601 GPS-тижня, опрацьовувались дані із 27 референцих станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS та 12 перманентних станцій EPN/IGS. До наведених у табл. 5 дев'яти перманентних станцій додалися дві станції **GLSV** (Голосієво/Київ) та **MIKL** (Миколаїв). Для опрацювання взято 10 GPS-тижнів безперервних спостережень – від 1601 (12–18 вересня 2010 р.) до 1611 (21–27 листопада 2010 р.). У табл. 7 наведено для порівняння різниці між отриманими координатами станцій мережі ZAKPOS до розширення мережі (I етап) і станом на листопад 2010 р., коли у мережу входило 27 станцій.

Таблиця 7

Порівняння координат станцій мережі ZAKPOS за період лютий 2009 р. – листопад 2010 р.

Станція	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔZ , мм
KHST	1	11	5
MIZG	11	9	10
MUKA	8	2	6
RAKH	4	6	6
VBER	8	13	7

Висновки. На основі порівняння координат станцій мережі ZAKPOS (I етап) із їх визначенням після двох періодів розширення кількості станцій від 17 (II етап) до 27 (III етап) виявлено, що їх максимальні зміни практично не перевищують 1 см, а систематичний характер різниць координат вказує на наявність додаткових похибок, пов'язаних із використанням різного програмного забезпечення. Наступним кроком наших досліджень стане переобчислення всіх даних спостережень мережі ZAKPOS/UA-EUPOS за допомогою програмного пакета GAMIT/GLOBK версії 10.4.

1. Савчук С., Гринишина-Полюга О. Встановлення вихідних координат референцих станцій мережі ZAKPOS // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. – 2009. – № 72. – С. 3–13.
 2. Altamimi, Z., X. Collilieux, J. Legrand, B. Garayt and C. Boucher, ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation // *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2007JB004949, 2007.
 3. Boucher C., Altamimi Z. Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign / <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf>.
 4. Bruyninx et al Guidelines for EUREF Densifications – <ftp://epncb.oma.be/epncb/general/>.
 7. Castagnetti C., Casula G., Dubbini M., Capra A. Adjustment and transformation strategies of ItalPoS Permanent GNSS Network // *ANNALS OF GEOPHYSICS*. – Vol.52, N2, 2009. – P. 181–195.
 5. GLONASS ефемериду – <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/glonass/products/>.
 6. GNSS Data Center – <http://igs.bkg.bund.de/>.
 7. GPS ефемериду – <ftp://igsch.jpl.nasa.gov/igsch/product/>.
 8. Jaworski I., Swiatek A., Zdunek R., Zielinski J.B. Data processing of the ASG-EUPOS network test campaign // *Reports on Geodesy*. – Warsaw, N2(85), 2008. – P. 113–124.
 9. Weekly combined EPN SINEX solutions/ <ftp://epncb.oma.be/pub/product/combin/>.
 10. Хода О.А. Центр анализа GPS-данных ГАО НАН Украины: результаты обработки наблюдений для GPS-недель 1236-1399 // *Кинематика и физика небесных тел*. – 2010. – Т. 26, № 6. – С. 56–67.
 11. Литвин М.О. Порівняння результатів обробки даних української перманентної GPS-мережі програмним комплексом GAMIT/ GLOBK з результатами Локального центру аналізу GPS-даних ГАО НАН України // *Космічна наука і технологія*. – 2005. – Т. 11, № 5/6. – С. 56–63.
 12. Садовская Т.С. Мониторинг координат антенн ККС СКНОУ // 3-й Международный радиоэлектронный форум “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития” МРФ-2008. Сборник научных трудов. Том I. Международная конференция “Современные и перспективные системы радиолокации, радиоастрономии и спутниковой навигации”. Ч.1. – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2008. – С. 321–324.
 13. EUREF Permanent Network – <http://www.epncb.oma.be/>.
 14. International GNSS Service – <http://igs.org/>.
 15. Ocean tide loading provider – <http://www.oso.chalmers.se/~loading/>.