



## ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ГНСС-СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА АКТИВНИХ РЕФЕРЕНЦНИХ СТАНЦІЯХ (2013-2014 рр.)

*Описывается история формирования сети активных референционных станций на территории Украины, на которых проводились ГНСС-наблюдения в 2013-2014 гг. Координаты почти 100 таких станций получено в текущей референционной системе IGB08. Главное внимание уделяется технологии обработки больших массивов ГНСС-данных и объяснению причин возможных изменений координат используемых станций. Проведено трансформирование окончательных координат в референционные системы ETRS89/ETRF2000 и UCS-2000.*

*The history of formation of network of active reference stations in Ukraine is described where GNSS observations were held in 2013-2014. Coordinates of nearly 100 such stations were obtained in the current IGB08 reference frame. Most of the focus is on the technology of GNSS data package processing and explanation of causes of possible changes in coordinates of used stations. The transformation of final coordinates into ETRS89/ETRF2000 and UCS-2000 reference systems was performed.*

**Постановка проблеми.** Можливості супутникових технологій достатньо ефективні та універсальні, а тому їх широко застосовують при розв'язанні геодезичних задач найвищої точності. З урахуванням цього потреба у тимчасових базових станціях, що донедавна були основою відносного методу при ГНСС-спостереженнях, практично відпала. Сьогодні облаштовуються станції, що працюють за принципами перманентних станцій EUREF (Reference Frame Sub-Commission for Europe) чи IGS (International GNSS Service). Такі станції називають референцними, оскільки їх координати реально визначаються, уточнюються, тобто їх безпосередньо моніторять.

На відміну від "класичних", перманентних, референцних станцій об'єднуються у мережу і працюють для реалізації RTK (Real Time Kinematic)-технології, стають активними станціями, тобто станціями, які у режимі реального часу "спілкуються" зі своїм обчислювальним центром. Власне саме тому і виникли нові поняття – "активна референцна станція" та "активна мережа референцних станцій". [Як відомо, "класичні" станції лише час від часу (мінімум кожну годину) передають дані спостережень у відповідні центри зберігання та аналізу з метою їх подальшого статичного опрацювання].

У геодезичному сенсі активна мережа референцних станцій є мережею згущення від мережі перманентних станцій, хоча й відрізняється своїми функціями, точністю, інфраструктурою тощо.

Якщо основною геодезичною задачею мережі перманентних станцій IGS та її складової EPN (European Permanent Network) [16] є підтримання загальноземної референцної системи координат ITRS та її практичних реалізацій – ITRF (за допомогою всіх доступних методів космічної геодезії) чи IGB (на основі тільки ГНСС) [15], то завданням активних мереж референцних станцій як мереж згущення від IGS/EPN є координатне забезпечення користувачів за рахунок поширення реалізацій загальноземних / регіональних / національних референцних систем на локальний рівень.

© С. Г. Савчук, 2015

Точність реалізацій ITRF/IGB для перманентних станцій наразі становить 3-5 мм для координат і менше 1 мм/рік для швидкості їх зміни. Такої точності досягають за певних умов розташування антени приймача і при стабільному режимі роботи станції протягом декількох років.

Точність мережі згущення, тобто мережі активних референцних станцій, зважаючи на її локалізацію і конфігурацію, розташування, стабільність кріплення та калібрування антен ГНСС-приймачів, тривалість їхньої безперервної роботи тощо, не повинна перевищувати 1-2 см. Це пояснюється тим, що послуги мережі активних референцних станцій (технології RTK та віртуальних референцних станцій) повинні гарантувати користувачам, що виконують знімальні топографо-геодезичні роботи, точність визначення координат на рівні 3-5 см, а їх використання у звичному статичному режимі – 2-3 см.

Інфраструктура мережі активних референцних станцій обов'язково повинна включати відповідне програмне забезпечення, яке на основі даних із таких станцій у режимі реального часу формує мережевий розв'язок – основу всіх ГНСС-послуг для користувачів. Рівень цих послуг забезпечується репрезентативністю опорних координат референцних станцій, який контролюється мережевим програмним забезпеченням шляхом їх моніторингу, та якісними спостереженнями на цих станціях.

Отже, для функціонування мережі активних референцних станцій особливе значення має технологія опрацювання ГНСС-спостережень для встановлення та моніторингу їх координат.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Якщо мережа перманентних станцій є фактично опорною фундаментальною мережею, що покликана вирішувати науково-технічні задачі найвищої точності, то мережа активних референцних станцій повинна забезпечити користувачів, які працюють у сфері координатного забезпечення, можливість практичного отримання координат будь-якої доступної для супутникових технологій точки на земній поверхні чи у навколишньому просторі з достатньою точністю (в сантиметрах) та оперативністю (в секундах / хвилинах). Але і в першому і в другому випадках визначення



координат ГНСС-станцій проходить з однією умовою: досягнути якомога більшої точності.

Опрацювання і переопрацювання даних ГНСС-спостережень на перманентних станціях, що входять у мережу EPN/IGS, достатньо добре висвітлено у спеціальній літературі та методичних розробках [10-14]. Основними програмними пакетами для такого опрацювання є: GAMIT/GLOBK від Massachusetts Institute of Technology (MIT), GIPSY-OASIS від Jet Propulsion Laboratory (JPL), Bernese від Astronomical Institute of the University of Bern (AIUB) та NAPEOS від European Space Operations Centre. Зазначимо, що перших два пакети ВНЗ можуть отримати без ліцензійних платежів (кафедра вищої геодезії та астрономії НУ "Львівська політехніка" їх має). Інші два пакети є комерційними.

Україна вже має досвід опрацювання ГНСС-мереж пакетами Bernese (Головна астрономічна обсерваторія (ГАО) НАН України) [6] та GAMIT/GLOBK (Науково-дослідний інститут геодезії і картографії (НДІГК) [5]). Опрацювання в ГАО проводилось виключно на регіональній мережі перманентних станцій IGS/EPN і фактично повторило розв'язок, виконаний міжнародними і європейськими центрами аналізу ГНСС-даних [8]. У НДІГК опрацювання даних спостережень було здійснено із залученням пунктів Державної геодезичної мережі та перманентних станцій, але воно мало одноразовий характер [5]. Треба визнати, що використання результатів цього опрацювання для визначення нормальної висоти потребувало наявності даних про висоти геоїда. Як було показано у праці [2], для високоточного визначення висоти на території України використовувати безпосередньо глобальні моделі гравітаційного поля недоцільно.

На відміну від багатьох країн, де побудова мережі активних референціальних станцій відбувалася на всій території практично одночасно (упродовж року-двох) і процес опрацювання можна було здійснити відразу для всіх станцій мережі, в Україні він розвивається поступово [3], що вимагає регулярного уточнення координат станцій [1,4]. Особливістю процесу побудови мережі активних референціальних станцій є участь у ньому багатьох установ та організацій, застосування різнотипних ГНСС-приймачів та антен, які інколи не мають відповідних калібрувальних параметрів. Бажання встановити "свої" станції часто призводить до "співіснування" в одному локальному районі (в околі до 10 км) декількох референціальних станцій, що ускладнює конфігурацію мережі (м. Київ – 5 станцій, м. Харків – 3, м. Миколаїв – 3 станції) [4].

**Постановка завдання.** Мета дослідження полягала в отриманні однорідного ряду координат активних референціальних станцій України на основі опрацювання даних ГНСС-спостережень за 2013-2014 рр. та в проведенні аналізу результатів.

**Виклад основного матеріалу.** На відміну від більшості країн Європи, де мережі активних референціальних ГНСС-станцій будувалися за державною ініціативою і за безпосередньою участю національних топографо-геодезичних установ та охоплювали всю територію держави одразу, в Україні цей

процес розпочався стихійно і спочатку мав локальний характер. Якщо піком формування національних мереж активних референціальних станцій на території Європи була середина та кінець першого десятиріччя ХХІ ст., то в нас перша мережа таких станцій була створена приблизно у той самий час, але складалася вона лише з п'яти станцій і покривала тільки терени Закарпатської обл.

Отже, першу мережу активних референціальних ГНСС-станцій на території України ZAKPOS (Transcarpathian Position Determination System) було створено у 2008 р. ініціативною групою і за приватні кошти на території Закарпатської області з обчислювальним центром у м. Мукачеве [3]. Мета створення системи – задоволення потреб геодезичних підприємств та приватних підприємців, що працюють у Західному регіоні України, у проведенні високоточних ГНСС-спостережень насамперед у режимі RTK.

Мережу побудовано на основі апаратного і програмного забезпечення фірми Trimble за принципами та вимогами, розробленими для Європейського регіону. Єдиним винятком із цих вимог, більшість яких мали рекомендаційний характер та диктувалися комерційними інтересами, було недотримання умов максимальних відстаней між референціальними станціями. Проте, як показали подальші дослідження [3], ця вимога порівняно з іншими факторами (використання "своїх" базових станцій, трансформування координат у систему СК-63, приведення спостережень до фазових центрів антен тощо) не видається надмірною.

Упродовж 2009-2011 рр. мережу ZAKPOS було розвинуто на території сусідніх областей: Львівської, Волинської, Рівненської, Чернівецької, Івано-Франківської, Тернопільської та Хмельницької. У 2010-2011 рр. було підписано Угоди про обмін даними із прикордонними з Україною сусідніми державами: Румунією, Словаччиною, Угорщиною, Польщею, а дещо пізніше (2013 р.) із Молдовою. Фактично на кінець 2012 р. мережа ZAKPOS набула статусу мережі активних референціальних ГНСС-станцій Західного регіону нашої країни. Після того, як відбулися двосторонні переговори з іншими операторами референціальних станцій щодо сумісного використання даних спостережень, мережа охопила своїми послугами практично всю територію України, за винятком деяких крайніх районів північного сходу та Криму.

За 2008-2014 рр. було вирішено багато питань, пов'язаних із діяльністю цієї мережі, оскільки вона зазнавала і досі зазнає постійних удосконалень: мережа розширюється, практично кожного місяця додається нова станція у новому місці або змінюється місце розташування наявних станцій чи обладнання на них, відбувається заміна основних каналів доступу до серверу мережі для підвищення швидкості й надійності доступу до його ресурсів, упроваджуються нові види послуг тощо [18].

Позитивними результатами цієї діяльності можна вважати те, що на сьогодні:

- розроблено та впроваджено технологію використання загальноєвропейської референціальної системи



координат ETRS89/ETRF2000 для роботи в мережі ZAKPOS (2009 р.);

- впроваджено трансформаційне поле НДІГК у практику діяльності мережі активних референціальних станцій (2010 р.);

- запроваджено використання поля висотних поправок у модель геоїда EGM2008 для визначення висот у Балтійській системі із ГНСС-спостережень у мережі ZAKPOS (2010 р.);

- у польові контролери Trimble впроваджено технологію використання трансформаційних перетворень для отримання координат і висот безпосередньо в польових умовах (2011 р.);

- розроблено технологію згущення мережі IGS/EPN для активних референціальних ГНСС-станцій (2011 р.);

- у мережеве програмне забезпечення впроваджено технологію використання трансформаційних повідомлень у форматі RTCM 3.1 для отримання координат і висот безпосередньо у польових умовах для всіх типів роверних приймачів (2013 р.).

Паралельно із розвитком мережі ZAKPOS розширювалась мережа референціальних ГНСС-станцій Державного космічного агентства України (ДКАУ), основним завданням якого стало підтримання системи координатно-часового і навігаційного забезпечення України (СКНЗУ) [19]. Ця система мала на меті в реальному часі досягти точності визначення координат будь-якої точки близько одного метра по всій території країни, субметрового рівня на відстані до 150 км від референціальних станцій та сантиметрового в 20-кілометровій зоні поблизу кожної станції. Не вдаючись до аналізу функціонування мережі станцій ДКАУ, зазначимо, що практично всі вони були включені в мережу ZAKPOS і сприяли забезпеченню нею послуг.

У 2012 р. з'явилися перші подібні референціальні станції Львівської політехніки (мережа GEONET), компанії "Навігаційно-геодезичний центр" (мережа NGCNet) [22], групи компаній "Є.П.С". Наразі їхня діяльність носить локальний характер (GEONET, NGCNet) або вони лише підтримують роботу окремих станцій ("Є.П.С"). Як уже зазначалося, за взаємною згодою більшість із цих станцій включено у мережеве обслуговування ZAKPOS з метою надання користувачам відповідних послуг на території всієї країни.

Самостійними операторами мережі референціальних станцій є дистриб'ютор японської корпорації TOPCON в Україні – фірма TNT-TPI (мережа TNT ГНСС Network – це близько 50-ти власних станцій [20]) та спільне українсько-швейцарське підприємство – приватне акціонерне товариство "System Solutions" (мережа System.NET складається з майже 100-та власних станцій [21]).

Одним із важливих завдань операторів активних референціальних ГНСС-станцій в Україні є створення технічної та нормативно-правової основи функціонування мереж. При цьому необхідно дотримуватись таких умов:

- контроль за дотриманням сучасних вимог щодо роботи операторів у питаннях координатно-часового і навігаційного забезпечення;

- розроблення загальних технічних вимог до обладнання станцій, опрацювання даних та поширення (обмін) інформації між мережами, архівування і накопичення даних тощо;

- координація діяльності операторів мереж з використання технологій та сервісів точного позиціонування і навігації в інтересах національної безпеки й оборони, проведення наукових досліджень, розроблення природних ресурсів в інтересах різних галузей економіки держави;

- підготовка угод між операторами мереж про спільне використання даних, зібраних на референціальних станціях;

- створення єдиних центрів опрацювання (аналізу) ГНСС-даних, які надходять від усіх референціальних станцій України;

- участь у транскордонному та міжнародному співробітництві з іноземними операторами подібних ГНСС-мереж і центрами опрацювання (аналізу) даних.

Сьогодні, маючи певні набутки в розробленні технологій згущення мережі IGS/EPN [13] та використання загальноєвропейської референціальної системи координат ETRS89/ETRF2000 для мережі активних референціальних ГНСС-станцій ZAKPOS, у рамках створення технічної і нормативно-правової бази для їх функціонування варто вивчити досвід роботи Центру опрацювання ГНСС-даних, що функціонує при кафедрі вищої геодезії та астрономії Львівської політехніки.

Комплекс робіт з підготовки даних, а також зведеного каталогу координат референціальних станцій України називають проектом WGA LPI. Опрацювання даних ГНСС-спостережень на більшості референціальних станцій країни методично проводиться виключно за рекомендаціями IGS і EPN, а практична реалізація виконується з використанням програмного пакету GIPSY-OASIS v.6.3 (останнім часом – GAMIT/GLOBK v.10.5).

Згідно з цими рекомендаціями було використано організаційну схему, яка включає такі структури:

- **станції спостереження:** на них на постійній основі встановлено ГНСС-приймачі та закріплено на геодезичних центрах антени, що безперервно спостерігають за супутниками і формують вихідні дані;

- **операційні центри:** тут перевіряють дані від станцій спостережень, перетворюють вихідні дані з формату приймача у незалежний формат RINEX, архівують їх та завантажують у центр даних відповідної мережі через Інтернет. У більшості випадків роль операційних центрів виконують самі станції через відповідний комплекс спеціалізованого програмного забезпечення або обчислювальні центри мережі;

- **центр даних регіональної мережі** шляхом відповідного сортування (годинних і добових файлів) збирає дані з усіх станцій спостережень, що входять у конкретну мережу, та операційних центрів і розміщує їх на своєму ftp-сервері. Для нас такими були центри даних від ZAKPOS і TNT-TPI;



• **центр аналізу даних** збирає відомості з усіх центрів регіональних мереж та центру даних EPN з метою їх подальшого використання. Згідно з проектом WGA LPI він отримав назву LPI.

За станції спостережень ми обрали 118 ГНСС-станцій, з яких 12 – це станції IGS/EPN, 86 – референційні станції українських операторів, 20 – закордонні [23-27]. Кількісний склад станцій спостережень мереж IGS/EPN, ZAKPOS та TNT-TPI наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Кількісний склад станцій ГНСС-спостережень

Назва мережі	Власник мережі	Кількість станцій
IGS/EPN		12
ZAKPOS	ZAKPOS	14
	СКНЗУ (Державне космічне агентство України)	12
	GEONET (НУ "Львівська політехніка")	9
	NGCNet (Навігаційно-геодезичний центр)	3
	System.Net (ПпАТ "System Solutions")	1
	EPS (Група компаній "Є.П.С.")	6
	Закордонні (Польща, Словаччина, Угорщина, Румунія, Молдова)	20
TNT GNSS Network	Фірма TNT-TPI	41

Отже, добові дані з тридцятисекундним інтервалом спостережень від різних джерел надходять на сервер Львівської політехніки (ftp-сервер LPI: astrgeo@195.22.112.44) у форматі RINEX у папку GNSS\_Data (мал. 1), де в автоматичному режимі вони формуються блоками залежно від дня поточного GPS-тижня. Туди ж надходять дані спостережень та продуктів IGS/EPN: файли ГНСС-спостережень від 12-ти перманентних станцій; точні й навігаційні ефемериди супутників GPS і ГЛОНАСС, параметри орієнтації Землі, поправок годинників супутників, фазових центрів антен супутників і приймачів, іоносфери; координати європейських перманентних станцій і швидкості їх зміни.

У ході попереднього опрацювання добових файлів автоматично перевіряється якість спостережень на рівні RINEX-файлів (програма TEQC) та у візуально-ручному режимі вилучаються станції з малою за часом тривалістю спостережень. Через велику кількість станцій і складну конфігурацію мережі при цьому застосовується блочна система, тобто окремі станції (близько 50-ти) об'єднуються в блоки. Ми розділили їх на три територіальні блоки, які охоплюють східну (блок "East"), центральну (блок "Center") і західну (блок "West") частини території України (табл. 2). До кожного блоку обов'язково входили всі вибрані нами для опрацювання перманентні IGS/EPN-станції, координати однієї з них фіксувалися як опорні. Такими опорними станціями, враховуючи їх статус в ієрархії EPN (клас А) [17], ми обрали перманентні станції SULP (м. Львів) для

західного блоку, GLSV (м. Київ) – для центрального та MIKL (м. Миколаїв) – для східного блоків. Зазначимо, що деяка кількість станцій одного блоку, крім перманентних IGS/EPN-станцій, входила і в сусідній блок, тобто дані по окремих станціях опрацьовувались двічі. Таке "перекриття" блоків дозволяло аналізувати хід процесу опрацювання та оцінювати отримані результати.

Таблиця 2. Поділ мережі референційних станцій на блоки

Станції	Блоки		
	західний	центральний	східний
Станції IGS/EPN	12	12	12
Національні референційні станції	22	34	35
Закордонні референційні станції	16	4	3
Всі станції	50	50	50
Опорна станція	SULP	GLSV	MIKL

Процедура опрацювання передбачала потижневий хід процесу, починаючи з початкового дня тижня (0 – неділя) і закінчуючи його останнім днем (6 – субота).

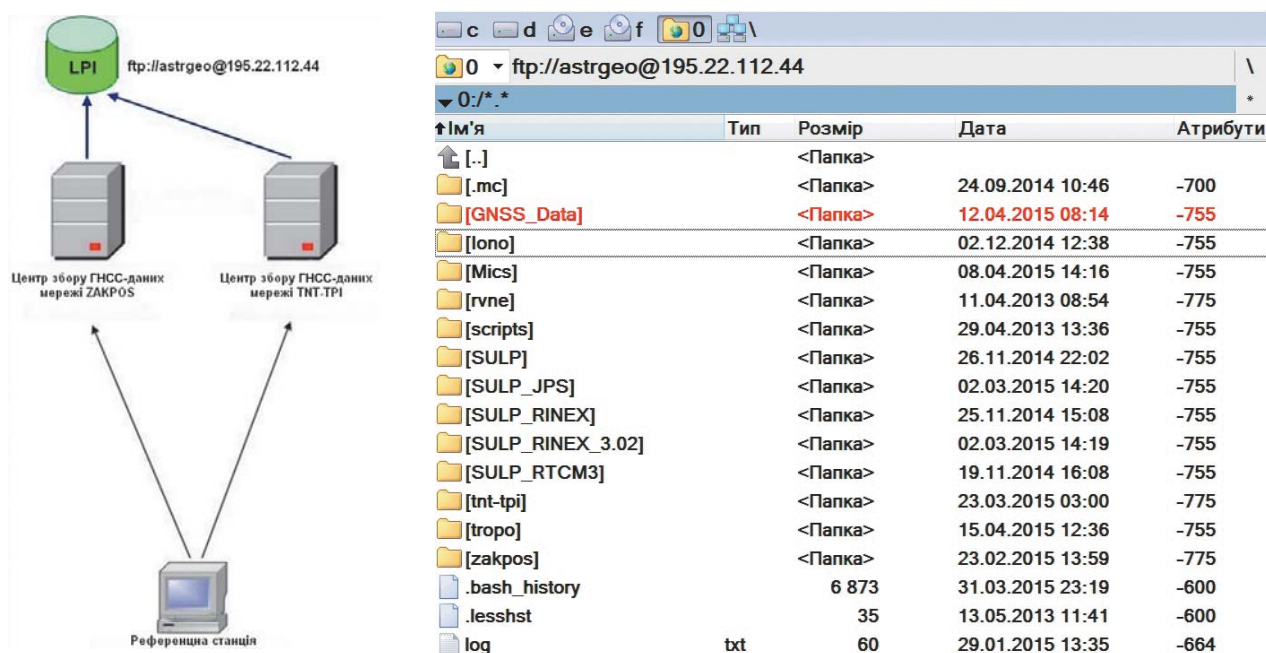
Апріорні координати перманентних станцій і швидкості їх змін (зі списку IGS/EPN) взято із джерела [17] у системі IGB08 на епоху 2005.0, а для решти станцій їх спочатку обирали із заголовків RINEX-файлів (для початкового дня тижня), а потім – із файлів-розв'язків за попередні дні.

Процес обчислень по окремих блоках станцій (частини мережі) базувався на методі мінімальних обмежень і передбачав:

- перетворення вхідних даних у внутрішні форми;
- попереднє опрацювання даних кодових спостережень, оцінювання поправок до годинників приймачів, розташованих на референційних станціях.
- опрацювання даних фазових спостережень, визначення моментів стрибків фази, виявлення вилучень, малих інтервалів спостережень і спостережень за супутниками з кутом місця менше ніж 5°;
- маркування вилучень, малих інтервалів спостережень і спостережень за супутниками з кутом місця менше як 5°;
- вилучення з опрацювання даних по супутниках з великою кількістю маркованих спостережень;
- обрання однієї зі станцій мережі IGS/EPN за опорну;
- отримання добового розв'язку з фактичними значеннями фазових неоднозначностей та оцінювання параметрів тропосфери.

У результаті отримали SINEX-файл розв'язку, який містить інформацію про станції, параметри опрацювання даних спостережень, результати опрацювання та оцінювання точності.

Наступним кроком опрацювання результатів спостережень за методом мінімальних обмежень стало застосування процедури трансформування координат за Гельмертом. Основною програмою



Мал. 1. Схема організації потоків ГНСС-даних

при цьому став пакет 7Tgrans для пошуку семи параметрів трансформації між координатами EPN-станцій, що визначаються центром аналізу EPN та приведених на поточну дату наших спостережень, і координатами тих самих станцій, обчислених за допомогою програмного пакету GIPSY-OASIS.

У табл. 3 наведено отримані параметри трансформації за Гельмертом з одного добового розв'язку для трьох блоків мережі. Зважаючи на отримані оцінки, можна стверджувати, що метод мінімальних обмежень дозволяє обчислити однорідні за точністю координати мережі у локальній системі координат, яка може відрізнитися від глобальних систем до 10-ти і більше сантиметрів. Саме параметри Гельмерта дають змогу провести процедуру зближення, тобто за отриманими параметрами трансформації обчислити координати всіх референційних станцій України, що були в опрацюванні, в референційній системі, близькій до розв'язку EPN.

Таблиця 3. Параметри Гельмерта для добового розв'язку

Параметр	Блок		
	західний	центральний	східний
Лінійне зміщення вздовж осі X, мм	-4,4	-14,5	-24,3
Лінійне зміщення вздовж осі Y, мм	-130,2	-112,5	-75,9
Лінійне зміщення вздовж осі Z, мм	-60,1	-24,9	-17,9
Кутове зміщення вздовж осі X, секунди	-3,88×10 <sup>-3</sup>	-3,40×10 <sup>-3</sup>	-2,22×10 <sup>-3</sup>
Кутове зміщення вздовж осі Y, секунди	-0,91×10 <sup>-3</sup>	-0,31×10 <sup>-3</sup>	-0,52×10 <sup>-3</sup>
Кутове зміщення вздовж осі Z, секунди	-2,39×10 <sup>-3</sup>	-1,73×10 <sup>-3</sup>	-1,20×10 <sup>-3</sup>
Масштабний множник	2,43×10 <sup>-9</sup>	0,26×10 <sup>-9</sup>	1,10×10 <sup>-9</sup>

Оскільки у пакеті 7Tgrans на вході використовуються еліпсоїдні координати  $B, L, H$ , то на початковому та кінцевому етапах його застосування ми використовували ще такі додаткові програми:

- POS\_BLN. Ця програма призначена для створення двох робочих файлів: один з розширенням \*.ern (координати  $B, L, H$  європейських перманентних станцій з EPN-розв'язку на дату спостережень), а другий з розширенням \*.lpi (координати  $B, L, H$  усіх станцій, у т. ч. й станцій EPN, отриманих із нашого розв'язку);

- BLN\_POS. Програма використовується для перетворення геодезичних координат  $B, L, H$  у просторові прямокутні координати  $X, Y, Z$  формату \*.lpi. Цей формат виглядає так: gfile\_pos, в якому роль символу \_ виконують буквені позначення частини мережі це "w" (тоді: gfilew.pos), центральної – "c" (тоді: gfilec.pos) і східної – "e" (тоді: gfilee.pos).

Результати опрацювання кожного блоку у вигляді gfile\_pos та LPIXXXXD.snх сортуються по днях: D – номер дня в тижні (0,1,...,6) у межах поточного тижня; XXXX – номер GPS-тижня (1800,...) (див, мал. 2, в). Там же наводиться і файл LPIXXXXD.res з оцінкою точності розв'язку (у міліметрах), який формується на основі різниць координат станцій IGS/EPN, отриманих з опрацювання блоків та за розв'язком EPN.

Після опрацювання блоків мережі за описаною вище технологією програмою AVED\_POS створюється добовий комбінований розв'язок, який формується в аналогічному форматі LPIXXXXD.ITR.

Кінцевим етапом процесу опрацювання є формування програмою AVEN тижневих комбінованих розв'язків LPIXXXX7.ITR на основі отриманих добових файлів, розміщених уже у папках порядкового номера дня тижня (0,1,...,6) (див. мал. 2, б).



а

Ім'я	Тип	Розмір	Дата
[.]	<Папка>		10.04.2015 10:11
[1825]	<Папка>		10.04.2015 10:11
[1826]	<Папка>		10.04.2015 10:11
[1827]	<Папка>		10.04.2015 10:11
[1828]	<Папка>		10.04.2015 10:11
[1829]	<Папка>		10.04.2015 10:11
[1829Tira]	<Папка>		10.04.2015 10:11
[1830]	<Папка>		10.04.2015 10:11
[1831]	<Папка>		10.04.2015 10:11
[1832]	<Папка>		10.04.2015 10:11
[1833]	<Папка>		10.04.2015 10:12
[1834]	<Папка>		10.04.2015 10:12

б

Ім'я	Тип	Розмір	Дата
[.]	<Папка>		10.04.2015 10:12
[0]	<Папка>		10.04.2015 10:12
[1]	<Папка>		10.04.2015 10:12
[2]	<Папка>		10.04.2015 10:12
[3]	<Папка>		10.04.2015 10:12
[4]	<Папка>		10.04.2015 10:12
[5]	<Папка>		10.04.2015 10:12
[6]	<Папка>		10.04.2015 10:12
LPI18337	ETR	4 347	25.03.2015 15:23
LPI18337	ITR	4 344	25.03.2015 15:23
LPI18337	RES	388	25.03.2015 15:23
LPI18337	USK	4 347	25.03.2015 15:23

в

Ім'я	Тип	Розмір	Дата
[.]	<Папка>		10.04.2015 10:12
gfilee	pos	5 997	23.03.2015 13:24
gfilew	pos	10 712	24.03.2015 10:14
gfilec	pos	7 842	23.03.2015 10:55
lpc18332	snx	195 207	23.03.2015 10:54
lpe18332	snx	118 338	23.03.2015 13:22
LPI18332	ITR	4 324	24.03.2015 11:16
LPI18332	RES	279	24.03.2015 11:16
lpw18332	snx	353 421	24.03.2015 10:14

Мал. 2. Організація розміщення файлів опрацювання

Отримані розв'язки – комбіновані добові й тижневі – одержуємо в поточній реалізації ITRS-IGb08 на епоху спостережень. Усі вони мають розширення файлів - \*.ITR. На етапі комбінованих тижневих розв'язків координати всіх референсних станцій за відповідними алгоритмами трансформуються у референсній системі ETRS89/ ETRF2000 (файл LPIXXXX7.ETR) та USK-2000 (файл LPIXXXX7.USK) (див. мал. 2. б). Як і для добових файлів, тут також формується контрольний файл LPIXXXX7.res.

На мал. 3 показано фрагмент добового комбінованого розв'язку (файл LPI18332.ITR), в якому наводяться координати перманентних станцій IGS/EPN та референсних станцій мережі України в системі IGb08 на 1833-й GPS-тиждень, що відповідає епосі 2015.153 (24.02.2015 р.).

Для створення зведеного каталогу координат усіх референс-

них станцій України ми вибрали результати опрацювання ГНСС-спостережень від 1722-го до 1824-го GPS-тижнів (721-го добового розв'язку), що охоплює період від 6.01.2013 р. до 27.12.2014 р. включно. На мал. 4 відображено структуру вихідних даних.

*Зведений каталог координат референсних станцій створювався у два етапи. На **першому** передбача-*

IGS/EPN & UKRAINIAN GNSS STATIONS			
REFERENCE FRAME:	IGb08	AT EPOCH OF	2015.153
GPS Week:1833	GPS Week Number:18332	Day of Year:	55
RELEASED BY UKRAINIAN REFERENCE FRAME COORDINATOR (STEPAN SAVCHUK, LVIV POLYTECHNIC, UKRAINE)			
BAIA	3945839.5961	1720428.4350	4691082.8077
CNIV	3397784.9859	2066990.6572	4969811.6084
GLSV	3512888.7614	2068980.0314	4888903.2909
IGEO	3814975.0787	2101075.3190	4644144.0650
KNAR	3312984.1221	2428203.5833	4863307.9161
KTVL	3785991.6031	2550749.2113	4439438.3041
MIKL	3698553.7838	2308676.1642	4639769.5830
POLV	3411557.1301	2348464.1124	4834396.9583
SULP	3765296.7974	1677559.3542	4851297.4929
USDL	3837557.7008	1596303.4109	4822409.9368
UZHL	3907587.2808	1602428.8623	4763783.8537
CRNI	3824750.1743	1860009.0028	4737620.4707
CTIG	3817635.9748	2104405.5080	4640546.7215
HMEL	3706268.9641	1885665.7929	4820450.2155
HUST	3913941.8218	1685120.2000	4730124.2192
MIZG	3881155.0325	1687860.7465	4756281.9048
MUKA	3909874.0081	1637331.2849	4750029.3782
RAHI	3896206.8812	1751119.3892	4721217.7657
SHAZ	3631977.7994	1609614.6391	4973373.1640
SKON	3673288.2986	1884882.1729	4845675.6473
TERN	3740711.9464	1788698.6129	4830767.4111
SARN	3569794.4665	1788894.7313	4957203.6428

Мал. 3. Фрагмент комбінованого добового розв'язку в системі IGb08



Мал. 4. Вихідні дані (структура файлів) для зведеного каталогу

лося отримання часових рядів координат кожної станції, їхній усесторонній аналіз та формування "очищених" тижневих файлів. **Другий етап** передбачав формування кумулятивних файлів на основі "очищених" окремих тижневих файлів та складання на їх основі зведеного каталогу.

Розглянемо детальніше кожен етап.

Для отримання часових рядів координат для кожної станції, зважаючи на значний масив даних, ми створили додаткову програму "Station", яка на основі добових файлів LPIXXXXD.ITR формувала послідовний ряд координат кожної станції.

Виявлення закономірностей змін координат станцій у часі – складний і трудомісткий процес дослідження, оскільки ці зміни викликає безліч факторів, що діють у різних напрямках. За характером безпосереднього впливу на часовий ряд координат ГНСС-станцій ці фактори можна поділити на дві групи. До першої відносимо фактори, що визначають основну тенденцію динаміки (зростання або зниження значень). Друга група факторів викликає випадкові коливання, відхиляє значення ряду від загальної тенденції то в одному, то в іншому напрямку.

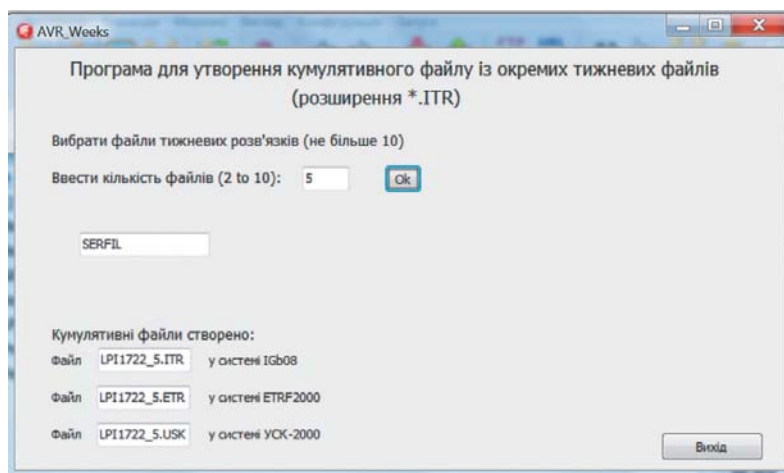
Загальна тенденція динаміки змін координат ГНСС-станцій пов'язана з рухом тектонічних плит, а зміни координат окремої станції можуть бути викликані змінами метеорологічної ситуації, сонячної активності, місцевими особливостями у розміщенні станцій, змінами обладнання на них та алгоритмів опрацювання даних тощо.

Для активних референсних станцій, що працюють в Україні, характерними причинами змін координат можуть бути також: постійні зміни конфігурації мережі станцій в результаті введення або зміни їх місця розташування, використання для станцій антен, що не відповідають вимогам IGS, тобто вони не калібровані, а ще через тривалі перерви в роботі або просто непостійний характер роботи. З урахуванням зазначених особливостей і проводився аналіз змін координат шляхом використання статистичних та графічних процедур. Основною умовою проведення фільтрації

на наявність загальної тенденції до змін координат референсних станцій було виявлення відхилень координат від деякого "теоретичного" їх ходу, спричиненого змінами координат перманентних IGS/EPN ГНСС-станцій. Умовою фільтрації показників змін координат було виявлення в ході статистичних та графічних процедур одиничних "скачків" невстановленого характеру у часовому ряді. У результаті на основі добових було отримано та сформовано тижневі "очищені" файли координат кожної станції. Загалом ступінь "очищення" не перевищував 1% від усього масиву вихідних даних.

Для проведення другого етапу, тобто утворення кумулятивних (усереднених за певний період з врахуванням кількості станцій) файлів на основі "очищених" окремих тижневих файлів було створено ще одну додаткову програму – AVR\_Weeks. На мал. 5 зображено її головне вікно.

Основне завдання цієї програми – створення кількотижневих (від 2-х до 10-ти) кумулятивних файлів у різних референсних системах координат (IGb08, ETRF2000, УСК-2000). Для того щоб не спотворювати тенденцію в динаміці змін координат ГНСС-станцій, викликану рухом тектонічних плит, було обрано період усереднення у п'ять тижнів. Вибір саме такого періоду усереднення показує, що при максимально можливій зміні координат станцій унаслідок руху тектонічної плити в нашому регіоні зі швидкістю 20 мм/рік це призведе до помилки менше 1 мм для середини цього періоду. Якщо кумулятивні файли LPI1722\_5.ITR, LPI1727\_5.ITR, ..., LPI1822\_5.ITR у системі IGb08 у подальшому можуть використовуватися для визначення швидкостей зміни координат референсних станцій України, то відповідні файли у системах ETRF2000 та УСК-2000 призначені для утворення зведеного каталогу координат цих станцій. Саме на їх основі з використанням стандартних статистичних програм і були створені такі каталоги.



Мал. 5. Програма для формування кумулятивних файлів

**Висновки.** У статті описано технологію опрацювання ГНСС-даних зі спостережень на референсних станціях України, прикордонних референсних станціях сусідніх країн та частини станцій мережі IGS/EPN і формування зведеного каталогу їх координат:

1. Наведено узагальнену характеристику мереж



активних референсних станцій в Україні.

2. Сформульовано принципи, що можуть бути покладені в основу технічного та нормативно-правового забезпечення діяльності українських операторів мереж активних референсних станцій.

3. Описано технологію опрацювання ГНСС-спостережень для великої кількості референсних станцій (понад 100) методом згущення мережі IGS/EPN та поділу на окремі блоки.

4. Запропоновано технологію створення зведеного каталогу координат референсних станцій за результатами опрацювання ГНСС-спостережень від 1722-го до 1824-го GPS-тижнів (2013-2014 рр.). При цьому:

- проаналізовано значний масив даних часових рядів координат референсних станцій України з метою визначити якість унаслідок зміни їх значень, викликаних рухами тектонічних плит та іншими змінними факторами;

- виявлено, що понад 99 % усього масиву даних мають реальну точність координат, що не перевищує 1 см;

- сформовано кумулятивні (усереднені за певний період з урахуванням кількості станцій) файли на основі "очищених" тижневих файлів у різних референсних системах координат;

- створено зведений каталог координат референсних станцій України у системах ETRF2000 та UСК-2000.

**Перспективою подальших досліджень** започаткованої теми є порівняння технологій опрацювання ГНСС-спостережень великої кількості референсних станцій з використанням різних пакетів програм та альтернативних шляхів створення зведених каталогів координат референсних станцій.

### Література

1. *Гринишина-Полюга, О.Я.* Порівняльна характеристика визначення координат активних референсних станцій мережі UA-EUPOS/ZAKPOS за даними спостережень 2009-2010 рр. // *О.Я. Гринишина-Полюга // Геодез., картогр. і аерофотознім.* – 2010. – № 73. – С. 7-14.

2. *Кучер, О.В.* Про використання глобальних моделей EGM08 та EGG08 для визначення висот квазігеоїда на територію України / *О.В. Кучер, О.М. Марченко, Д.О. Марченко, І.М. Заєць // Вісн. геодез. та картогр.* – 2012. – № 4. – С.13-17.

3. *Савчук, С.* Перша мережа активних референсних станцій в Україні ZAKPOS. Етапи становлення та початок діяльності / *С. Савчук, І. Проданець, І. Калинич // Геопрофіль.* – 2010. – № 1. – С. 16-23.

4. *Савчук, С.Г.* Встановлення вихідних координат референсних станцій мережі ZAKPOS / *С.Г. Савчук, О.Я. Гринишина-Полюга // Геодез., картогр. і аерофотознім.* – 2009. – № 72. – С. 3-13.

5. *Стопхай, Ю.* Обробка GPS-спостережень, виконаних на пунктах фундаментальної геодезичної мережі України в 2000 році / *Ю. Стопхай, Р. Висотенко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.* – Л.: Вид-во "Ліра-Прес", 2003. – С. 48-54.

6. *Хо́да, О.А.* Центр анализа GPS-данных ГАО НАН Украины: результаты обработки наблюдений для GPS-недель 1236-1399 / *О.А. Хо́да // Кинематика и физика небесных тел.* – 2010. – Т. 26. – № 6. – С. 56-67.

7. *Gurtner, W.* The use of IGS Products for the Densification of Regional/Local Networks / *W. Gurtner // EUREF Publication. No. 3. Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München.* – 1994. – P. 184-199.

8. *Ishchenko, M.* The quality estimation homogeneous coordinate time series for GPS weeks 935-1399 in the IGS05 reference frame / *M. Ishchenko // Artificial satellites.* – 2014. – Vol. 49. – № 3. – P. 137-150.

9. *Legrand, J.* EPN Reference Frame Alignment: Consistency of the Station Positions / *J. Legrand, C. Bruyninx // Bulletin of Geodesy and Geomatics.* – 2009. – Vol. LXVIII. – № 1. – P. 19-34.

10. *Rebischung, P.* IGS08: the IGS realization of ITRF2008 / *P. Rebischung, J. Griffiths, J. Ray [et al.] // GPS Solutions.* – 2012. – 16(4). – P. 483-494.

11. *Völksen, C.* Reprocessing of a regional GPS network in Europe / *C. Völksen // International of Geodesy Symposium: Springer, 2008.* – Vol. 133. – P. 57-74.

### Інтернет-джерела

12. *Guidelines for EPN Analysis Centers* [http://www.epncb.oma.be/\\_organisation/guidelines/guidelines\\_analysis\\_centres.php](http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/guidelines_analysis_centres.php)

13. *Guidelines for EUREF Densifications* [ftp://epncb.oma.be/pub/general/Guidelines\\_for\\_EUREF\\_Densifications.pdf](ftp://epncb.oma.be/pub/general/Guidelines_for_EUREF_Densifications.pdf)

14. *Boucher, C.* Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign / *C. Boucher, Z. Altamimi.* – <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V8.pdf>

15. *Rebischung, P.* [IGSMail-6663] IGS08: an update on IGS08, available from / *P. Rebischung.* – <http://igs.cbl.nasa.gov/pipermail/igsmail/2012/007853.html>

16. *EPN* – Європейська перманентна мережа. – <http://www.epncb.oma.be/>

17. *Координати класу А для станцій EPN.* – [ftp://epncb.oma.be/epncb/station/coord/EPN/EPN\\_A\\_IGb08.SSC](ftp://epncb.oma.be/epncb/station/coord/EPN/EPN_A_IGb08.SSC)

18. *ГНСС-мережа ZAKPOS.* – [www.zakpos.zakgeo.com.ua](http://www.zakpos.zakgeo.com.ua)

19. *Центр контролю навігаційного поля України.* – <http://www.gcknp.com.ua/>

20. *ГНСС-мережа від фірми Торсон в Україні* – TNT ГНСС Network. – [www.net.tnt-tpi.com](http://www.net.tnt-tpi.com)

21. *ГНСС-мережа від фірми "System Solutions" – System.NET.* – <http://ГНСС.org.ua/spiderweb/frmIndex.aspx>

22. *ГНСС-мережа від фірми "Навігаційно-геодезичний центр" – NGCNET.* – <http://www.ngcnet.com.ua/index.php>

23. *ГНСС-мережа Польщі – ASG-EUPOS.* – [www.asgeupos.pl](http://www.asgeupos.pl)

24. *ГНСС-мережа Словаччини – SKPOS.* – [www.skpos.gku.sk](http://www.skpos.gku.sk)

25. *ГНСС-мережа Румунії – ROMPOS.* – [www.rompos.ro](http://www.rompos.ro)

26. *ГНСС-мережа Угорщини – ГНССnet.hu.* – [www.ГНССnet.hu](http://www.ГНССnet.hu)

27. *ГНСС-мережа Молдови – MOLDPOS.* – <http://moldpos.md/ГНСС/ГНСС/RO/homepage>

Надійшла 14.08.15