

МЕТОДИКА ВСТАНОВЛЕННЯ ВИХІДНИХ ЗНАЧЕНЬ КООРДИНАТ УКРАЇНСЬКИХ ПЕРМАНЕНТНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ВИСОКОТОЧНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ

С. Савчук, О. Гринишина-Полюга
Національний університет "Львівська політехніка"

Ключові слова: геодезичні координати, перманентна станція.

Постановка проблеми

Під час виконання геодезичних робіт з використанням супутникових GNSS-спостережень постійно виникає необхідність прив'язки цих спостережень до пункту чи станції з відомими координатами. Уже сьогодні стала практично класичною схема: вихідний пункт – базовий приймач та пункт, координати якого визначаються, – рухомий (роверний) приймач. Ця схема діяла і, на жаль, продовжує діяти ще досі. "На жаль" вжито тут у тому контексті, що при такій схемі за координати вихідного пункту приймалися і продовжують приймаються каталожні значення координат класичної референцної системи СК-42 чи її математичного відображення – СК-63. За основний критерій береться тільки оперативність і простота виконання польових робіт і зовсім не враховуються питання технології та точності. Неоднорідність класичного координатного поля підсилюється невідповідністю трансформацій координат. Єдиний вихід із цієї ситуації – прив'язка до геодезичних пунктів чи постійних станцій супутникових спостережень, координати яких визначені із GNSS-технологій. З розвитком мережі постійнодіючих референцних станцій така прив'язка значно полегшується. Проте постає запитання, які ж координати цих станцій потрібно використовувати? При високоточній прив'язці на перший план виходять такі фактори, як тип референцної системи (її реалізація та епоха) і методика визначення (встановлення) цих координат.

Найкращим виходом з цієї ситуації є так звані офіційні координати перманентних референцних станцій, визначені Міжнародною службою обертання Землі і референцних систем (IERS) із останньої за часом реалізації системи та фіксованої (стандартної) епохи. Ці координати ґрунтуються на комбінації розв'язків різними космічними геодезичними технологіями: GNSS, VLBI, SLR, DORIS. Проте з усіх українських станцій

офіційні координати мають тільки три станції: GLSV (Київ/Голосіїв), POLV (Полтава), UZHL (Ужгород) [1]. Надалі ми будемо називати їх базовими станціями. Для решти українських перманентних станцій офіційних координат не встановлено.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Першочерговим питанням при виборі координат референцних станцій стає вибір системи відліку, тобто референцної системи. Оскільки під час GNSS-спостережень використовуються ефемеридні значення координат супутників у поточній реалізації земної референцної системи ITRS, то зрозуміло, що використання національних систем відліку координат є неприйнятним. Зважаючи на той факт, що координати супутників безперервно уточнюються від наземних станцій керування, які розміщені у різних частинах світу, тобто на різних тектонічних плитах, то вони будуть змінюватися також з часом. Основною причиною такої зміни слугують зміщення тектонічних плит під дією глобальних та регіональних геофізичних процесів. Отже, координати референцної системи ITRS будуть характеризуватися кінематичними характеристиками: значеннями координат на деяку фіксовану епоху та швидкостями їх зміни [2].

Ще у 1990 р. ухвалена резолюція Підкомісії Міжнародної асоціації геодезії (IAG) для Європейської референцної системи (EUREF) про те, щоб встановити для території Європи таку земну референцну систему, яка б збігалась з Міжнародною референцною системою ITRS, а швидкість руху стійкої частини євразійської плити зафіксувати на епоху 1989.0 і вважати її незмінною. Таку систему назвали Європейською земною референцною системою 1989 (ETRS89). В 2003 р. Європейська Комісія прийняла ETRS89 як обов'язкову референцну систему для всіх прикладних застосувань у

Європі. Асоціація EuroGeographics, яка представляє топографо-картографічні та кадастрові агентства більшості європейських країн, також рекомендує здійснювати розроблення основних проектів, пов'язаних із інфраструктурою просторових даних, на основі ETRS89.

Референсна система ETRS89 підтримується EUREF через мережу постійних GNSS референсних станцій (EPN), координати яких регулярно визначаються в ETRS89 і являють собою її реалізацію першого рівня в континентальному плані. На національному рівні ETRS89 реалізується покроковим згущенням й удосконаленням “оригінала” референсної системи EUREF через існуючі станції EPN.

Подібно до міжнародної земної референсної системи ITRS, ETRS89 розвивається стадіями, а кожна стадія розвитку представляється відповідною реалізацією. Остання реалізація завжди є досконалішою за попередню. Для референсної системи ITRS такою останньою реалізацією є ITRF2005 з епохою 2000.0, а ETRS89 відповідно ETRF2000 та епохою 2000.0. Проте треба ще раз зазначити, що координати референсної системи ETRS89 у її реалізаціях, наприклад, ETRF2000 є лише математичним відображенням міжнародної земної референсної системи ITRS і нічим більше.

Надійність координат мережі EPN залежить від загальної тривалості спостережень та можливості використання інших космічних методів спостережень. Координати EPN-станцій доступні у двох референсних системах – ITRS та ETRS89. Залежно від тривалості спостережень і обробки для станцій мережі EPN можна виділити три типи координат:

(А) **щотижневі координати**, обчислені за допомогою комбінування локальних розв'язків з окремих частин мережі EPN;

(Б) **мережеві координати** і швидкості їхньої зміни, обчислені у межах проекту EPN “Time series monitoring”;

(В) **офіційні координати** і швидкості, які видає Міжнародна служба обертання Землі і референсних систем – IERS за результатами комбінування багаторічних координатних розв'язків, отриманих декількома космічними геодезичними методами.

Як показали дослідження, для високоточної прив'язки координати (А) є найменш точними і можуть бути використані лише для координатного контролю. Координати (Б) є точнішими

розв'язками щодо станцій EPN. Вони є придатними для використання, коли постійна станція працює вже багато років, але ще не внесена у список IERS [3]. Навіть якщо станція має період спостереження 1,5–2 роки, то її координати вже еквівалентні ITRF розв'язкам, проте швидкість їх зміни потребує довшого часового ряду. Координати (В) – офіційні координати/швидкості станцій EPN, що видаються IERS.

Постановка завдання

Основною метою нашої роботи є розроблення методики встановлення вихідних (“опорних”) координат українських постійних станцій мережі EPN на основі офіційних координат IERS для їх використання під час високоточної геодезичної прив'язки.

Виклад основного матеріалу

Українська мережа постійних GPS-станцій створена спільними зусиллями різних організацій та установ. Нині на території України повноцінно функціонують 9 постійних GNSS-станцій, які входять у Європейську мережу постійних станцій: Київ/Голосіїв (GLSV), Ужгород (UZHL), Львів (SULP), Полтава (POLV), Миколаїв (MIKL), Харків (KHAR), Євпаторія (EVPA), Чернівці (CNIV), Алчевськ (ALCI). На рис. 1 наведена схема розміщення станцій української постійної мережі.

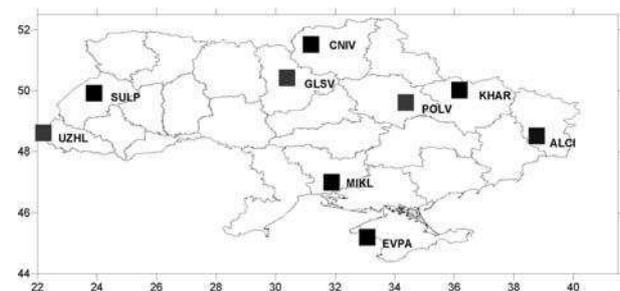


Рис. 1. Розміщення станцій Української постійної мережі

Оскільки перша українська станція EPN – GLSV почала працювати з 1997 року (957 GPS-тиждень), то вихідними даними у виконаному дослідженні були щотижневі комбіновані розв'язки усіх станцій за проміжок часу спостережень від 957 до 1520 GPS-тижнів у реалізаціях ITRF97, ITRF2000, ITRF2005 референс-

ної системи ITRS [6]. Нами створено вихідну базу даних усіх українських перманентних станцій на цей період (рис. 2).

Станція Алчевськ (ALCI) до уваги не бралася тому, що вона працює тільки 3 місяці в тестовому режимі, а перший щотижневий розв'язок припадає лише на 1528 GPS-тиждень. Набір координат становив від ста тижнів для станцій Євпаторія (EVPA) і Чернігів (CNIV) та до 600 для станції Київ/Голосіїв (GLSV).

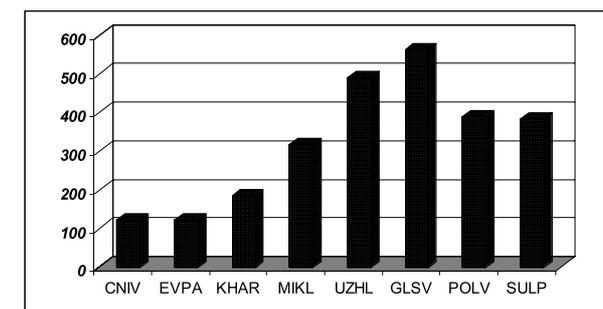


Рис. 2. Вихідна база даних усіх українських перманентних станцій

Об'єм даних за станціями залежно від реалізацій референційної системи ITRS наведено на рис. 3.

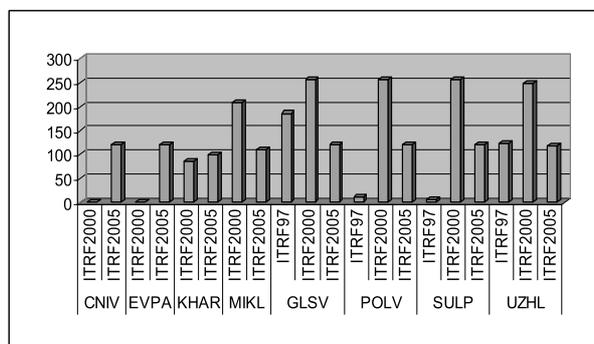


Рис. 3. Кількість вихідних даних за станціями в реалізаціях ITRF97, ITRF2000, ITRF2005

Як видно із рис. 3, тільки чотири українські перманентні станції мали реалізації у всіх трьох зазначених реалізаціях референційної системи ITRS.

Для подальшої трансформації координат ми вибрали швидкості зміни базових українських перманентних станцій (ITRF2005 на епоху 2000.0) [5] (табл. 1) та швидкості зміни координат українських станцій із проекту “Моніторинг часових серій EPN” [4] (табл. 2).

Таблиця 1

Швидкості зміни базових українських перманентних станцій (ITRF2005 на епоху 2000.0)

Назва станції	Координати	Швидкості, м
GLSV	X	-0,0194 ± 0,0001
	Y	0,0141 ± 0,0001
	Z	0,0083 ± 0,0002
POLV	X	-0,0211 ± 0,0004
	Y	0,0129 ± 0,0003
	Z	0,0076 ± 0,0006
UZHL	X	-0,0180 ± 0,0007
	Y	0,0161 ± 0,0004
	Z	0,0092 ± 0,0008

Таблиця 2

Швидкості зміни координат українських станцій із проекту “Моніторинг часових серій EPN”

Назва станції	Координати	Швидкості, м
CNIV	X	-0.0195±0.0004
	Y	0.0140 ± 0.0003
	Z	0.0088 ± 0.0005
EVPA	X	-0.0199 ± 0.0003
	Y	0.0157 ± 0.0003
	Z	0.0094 ± 0.0004
KHAR	X	-0.0191 ± 0.0004
	Y	0.0152 ± 0.0003
	Z	0.0074 ± 0.0005
MIKL	X	-0.0203 ± 0.0002
	Y	0.0144 ± 0.0001
	Z	0.0077 ± 0.0002
SULP	X	-0.0191 ± 0.0001
	Y	0.0150 ± 0.0001
	Z	0.0084 ± 0.0002

Попередня обробка вихідних даних та обчислення координат українських перманентних станцій у системі ITRF2005 на епоху 2000.0

Після того, як була вибрана вихідна база координат за період їх визначення, виконувалась трансформація координат до єдиної епохи 2000.0 за формулою:

$$\begin{aligned}
 X_j^i &= X^i - V_X(t - t_0) \\
 Y_j^i &= Y^i - V_Y(t - t_0) \\
 Z_j^i &= Z^i - V_Z(t - t_0)
 \end{aligned}
 \quad , \quad (1)$$

де i – система ITRFxx; j – епоха; V_x, V_y, V_z – швидкості станції, які визначаються через проект “EPN time series monitoring”, м/рік; t – поточний GPS – тиждень; $t_0 = 1042.9$ – GPS-тиждень, на який припадає стандартна (нині) епоха 2000.0 (відповідає 1 січня 2000 р.). Оскільки щотижневі комбіновані розв’язки задані на поточний GPS-тиждень, а швидкості задані у м/рік, то для їх приведення в одну розмірність нам доводилось ще ділити добуток $V(t-t_0)$ на середню кількість тижнів у році, тобто на 52.2.

За допомогою формули (1) та вибраних швидкостей V_x, V_y, V_z ми привели усі щотижневі комбіновані розв’язки українських перманентних станцій до єдиної епохи 2000.0.

Після приведення результатів щотижневих комбінованих розв’язків (координат) усіх українських перманентних станцій до єдиної епохи 2000.0 наступним нашим кроком була трансформація цих координат з систем ITRF97 та ITRF2000 за формулою

$$\begin{aligned} X_i &= X_j + T_1 + (DX_j - R_3Y_j + R_2Z_j) \\ Y_i &= Y_j + T_2 + (R_3X_j + DY_j - R_1Z_j) \\ Z_i &= Z_j + T_3 + ((-R_2X_j) + R_1Y_j + DZ_j) \end{aligned} \quad (2)$$

до діючої референцної системи ITRF2005. У (2): X_j, Y_j, Z_j – координати у системі ITRF97/ITRF2000 на епоху 2000.0; $T_1, T_2, T_3, D, R_1, R_2, R_3$ – параметри відповідної трансформації.

Аналіз отриманих результатів

Після приведення щотижневих комбінованих розв’язків до єдиної епохи та до єдиної референцної системи наступним нашим кроком було утворення різниць δ між координатами базових станцій ($i = 1, 2, \dots, 6$), які відомі офіційно (IERS) і нами обчислених (обч.) та усереднених за весь період спостережень

$$\begin{aligned} \delta X_i &= (X_{сеп.}^{обч.} - X^{IERS})_i \\ \delta Y_i &= (Y_{сеп.}^{обч.} - Y^{IERS})_i \\ \delta Z_i &= (Z_{сеп.}^{обч.} - Z^{IERS})_i \end{aligned} \quad (3)$$

Одержані різниці утворили групу I. Для підсилення ефекту нами, крім українських станцій GLSV, UZHL та POLV, було додатково залучено ще три закордонні станції: (JOZ2 (Варшава), PENC (Пенс, Угорщина), BUCU (Бухарест).

Аналогічно було отримано різниці координат δ між координатами тих самих базових станцій і нами обчислених (обч.) та усереднених лише за період 309-й день 2006 р. – 64-й день 2009 р. (за весь період дії реалізації ITRF2005) – група II. Третю групу різниць δ становили зміни в координатах базових станцій та одержаних вибірково для них із комбінованих щотижневих розв’язків EPN.

Всі зазначені вище різниці в усередненому вигляді подано у табл. 3.

Таблиця 3

Порівняльна точність координат базових перманентних станцій

Групи	Різниці в координатах, м		
	δX	δY	δZ
I	0.000	0.001	0.003
II	0.003	0.003	0.007
III	0.003	0.004	0.011

Як видно із табл. 3, перша група різниць має найкращий за точністю вигляд, а різниці третьої групи є найменш точними. Це означає, що найближчими до офіційних будуть ті координати, що отримані усередненням із різних реалізацій референцної системи ITRS. У межах однієї реалізації, наприклад ITRF2005, результати координатних визначень будуть дещо гіршими за офіційні. Ще менш точними будуть результати щотижневих комбінованих розв’язків. Саме цей факт і вказує на можливість використання наведеної методики для встановлення “офіційних” координат тих станцій, значення яких ще досі не визначено.

Висновки

1. Здійснено обробку часових рядів (щотижневих розв’язків) трьох українських перманентних станцій, що входять у мережу EPN, та трьох закордонних. Загалом оброблено декілька тисяч таких розв’язків.

2. Виконаний аналіз цієї обробки показав, що усереднені значення координат із щотижневих комбінованих розв'язків, після приведення на одну епоху і на одну систему, по кожній станції, є близькими, в межах похибок визначення, до офіційних координат, якщо станції мають координати не менше ніж у трьох реалізаціях.

3. Запропонований спосіб встановлення “найімовірніших” координат перманентних станцій пропонується використовувати для високоточної геодезичної прив'язки GNSS-вимірювань.

Література

1. Boucher C., Altamimi Z. Memo. Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign. – 2008 / <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf>
2. Coordinate Time Series in ITRS/ http://www.epncb.oma.be/_dataproducs/timeseries/ITRS_ETRS.php
3. Kenyeres, A. Analysis and validation of the ITRF2005 densification solution created by the EPN Time Series Analysis Project. – 2008 / http://www.euref.eu/TWG/EUREF_TWG_minutes/
4. Positions/velocities published by EUREF/ ftp://epncb.oma.be/pub/station/coord/EPN/EPN_ITRF_C1355.SSC
5. Positions/velocities published by the ITRS Product Centre/ <http://www.iers.org/>
6. Weekly combined EPN SINEX solutions/ <ftp://epncb.oma.be/pub/product/combin/>

Методика встановлення вихідних значень координат українських перманентних станцій для високоточної геодезичної прив'язки

С. Савчук, О. Гринишина-Полюга

Наведена методика встановлення значень координат українських перманентних станцій на основі даних попередніх реалізацій референційної системи ITRS.

Методика установления исходных значений координат украинских перманентных станций для высокоточной геодезической привязки

С. Савчук, О. Гринишина-Полюга

Приведена методика установления значений координат украинских перманентных станций на основании данных предыдущих реализаций референционной системы ITRS.

Technique of an establishment of reference values of coordinates of the Ukrainian permanent stations for a high-precision geodetic connection

S. Savchuk, O. Grynshyna-Poljuga

The technique of an establishment of values of coordinates of the Ukrainian permanent stations on the basis of the given previous realisations of reference system ITRS.

XIV МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ СИМПОЗИУМ “ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА: GPS і GIS-ТЕХНОЛОГІЇ”

**відбудеться
8-13 вересня 2009 р. м. Алушта (Крим)**

Інформацію можна отримати за адресою:
Національний університет “Львівська політехніка”
факс (0322) 58-26-98; kornel@polynet.lviv.ua