

## ОСОБЛИВОСТІ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ РЕФЕРЕНЦНИХ СТАНЦІЙ GNSS-МЕРЕЖ УКРАЇНИ

Real-time Kinematic (RTK) Global Navigation Satellite System (GNSS) - це високоточна система позиціонування, яка використовує сигнали супутників для досягнення субсантиметрової точності. RTK GNSS працює на основі двох приймачів: базового та роверного. Базовий приймач встановлюється на відомій геодезичній точці, а роверний приймач переміщується по невідомим точкам, координати яких необхідно визначити.

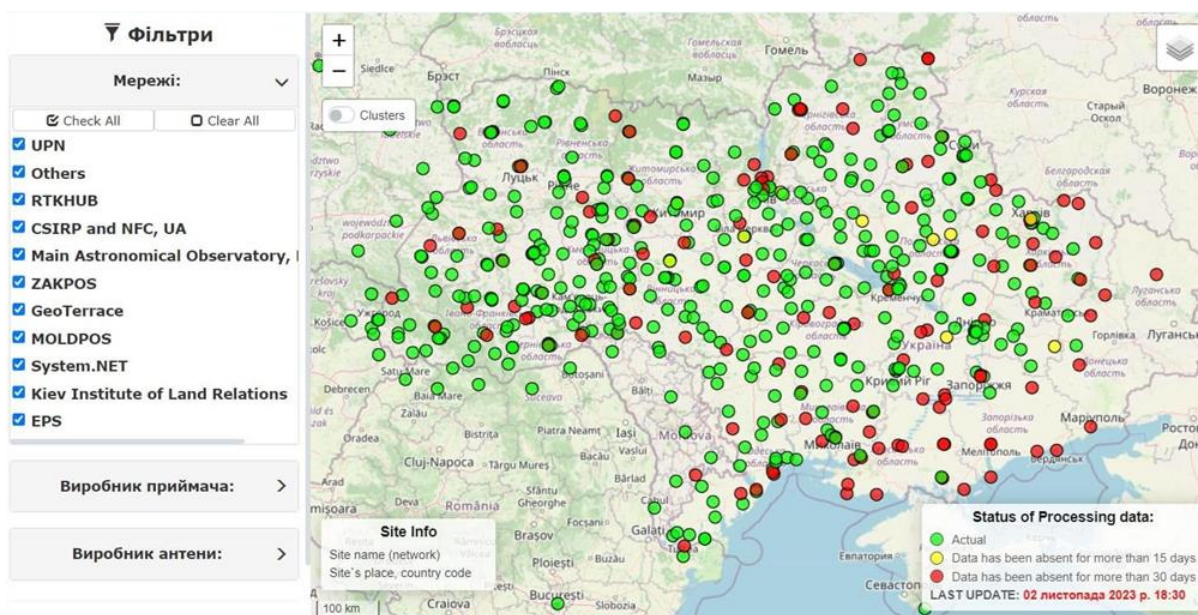


Рис.1 Карта покриття референцними GNSS станціями території України (станом на листопад 2023 р.)

Обробка даних у мережі референцних станцій режиму реального часу складається з трьох основних кроків. На першому етапі обробки проводиться фіксація фазових неоднозначностей у мережі референцних станцій. Тільки спостереження зі встановленими неоднозначностями можуть використовуватися для точного моделювання різниць координат, що залежать від відстаней. Порівняно великі відстані між референцними станціями (20-100 км) та вимога встановлення неоднозначностей у реальному часі роблять даний крок надзвичайно важливим для мережі RTK. Це мережне рішення неоднозначностей досить суттєво відрізняється від рішення неоднозначностей при статичних спостереженнях, оскільки координати станції заздалегідь мають бути відомі. При цьому повинна використовуватися також вся априорна інформація, здатна зменшити похибки спостережень: ультрашвидкі прогнози ефемериди супутників, іоносферні та тропосферні поправки засновані на недавніх результатах обробки мережі, коригування фази несучої хвилі через багатошляховість проходження сигналів та оцінка зміни фазового центру антени через її калібрування та інші [1].

На другому кроці обробки визначаються та оцінюються коефіцієнти моделі поправок, які залежать від відстані між референцними станціями та приймачем користувача, а на третьому етапі розраховується оптимальний набір спостережень, заснований на моделях поправок, що передаються до роверного приймача.

Для правильного функціонування мережі активних референцних станцій необхідно знати їх координати настільки точно, наскільки це можливо. Іншим важливим критерієм, що визначає дієздатність мережі, є однозначне визначення фазових центрів антен у процесі обробки. Воно може виконуватися або за результатами спеціального індивідуального калібрування GNSS-антени, або за даними калібрування на тестових полігонах конкретних моделей антен та їх подальшого використання.

Координати EPN-станцій доступні у двох референцних системах – ITRS та ETRS89. Залежно від тривалості спостережень та обробки станцій мережі EPN можна виділити три типи координат [2]:

1. Щотижневі координати обчислені шляхом комбінування локальних рішень з окремих частин мережі EPN;
2. Мережеві координати та швидкості їх зміни, обчислені в рамках проекту EPN "Time series monitoring";

3. Офіційні координати та швидкості, що видаються Міжнародною службою обертання Землі та референцних систем - IERS за результатами комбінування багаторічних координатних рішень, отриманих кількома космічними геодезичними методами.

Відомо, що координати першого типу мають недостатню точність визначення референцної системи і їх можливо використовувати лише для грубого координатного контролю. Координати другого типу є точнішими рішеннями щодо станцій EPN. Вони придатні для використання в тому випадку, коли перманентна станція працює протягом багатьох років, але ще не включена до списку IERS. Важливо, щоб координати станції були задані щонайменше у двох останніх послідовних ITRF рішеннях. Навіть якщо станція має період спостереження 1.5-2 роки, то її координати вже еквівалентні ITRF рішенням, проте швидкість їхньої зміни потребує більш тривалого часового ряду. (швидкість потребує довшого спостереження набору) [3].

Координати референцних станцій повинні визначатися згідно з рекомендаціями Технічної робочої групи EUREF та основ IGS (International GNSS Service). Ці рекомендації визначають порядок визначення координат і спрямовані на те, щоб координати референцних станцій були пов'язані виключно з референцною системою, що підтримується через EPN і повинні представляти національну ETRS89 реалізацію. В нашому випадку це система координат УСК-2000 [4].

Основні рекомендації щодо визначення координат референцних станцій зводяться до наступного:

- обрання станції EPN таким чином, щоб вони охоплювали ділянку мережі референцних станцій з усіх боків;
- проведення спостережної кампанії щонайменше 3-4 тижнів, використовуючи станції EPN;
- Визначити зміни фазового центру антени необхідно за результатами індивідуального калібрування, якщо такі дані є. У разі їх відсутності слід використовувати IGS-модельні значення калібрування антени певного типу;
- при обробці даних спостережень генерувати вільне мережеве рішення координат станцій;
- одержують регуляризоване рішення шляхом встановлення координат вихідних станцій EPN;
- трансформують результати вирівнювання в ITRF2005/ETRF2000 на епоху 2000.0.

Використовуючи дані рекомендації протягом певного періоду спостережень, можна досягти точності координат референцних станцій на міліметровому рівні 1 мм як у плані так і по висоті [5].

#### Список використаних джерел

1. Savchuk, S., Kablak, N., Kalynych, I., & Reity, O. (2014). METEOROLOGY MONITORING OF THE PRECIPITABLE WATER VAPOR DISTRIBUTION IN THE ATMOSPHERE BASED ON OPERATIONAL GNSS DATA PROCESSING AT REFERENCE STATION NETWORK ZAKPOS. International scientific journal.

2. Savchuk, S., & Kalynych, I. (2017). Development and usage networks of active reference stations in Ukraine. BALTIC SURVEYING, 21.

3. Kablak, N., & Savchuk, S. (2020). Exploitation of Big Real-Time GNSS Databases for Weather Prediction. In Knowledge Discovery in Big Data from Astronomy and Earth Observation (pp. 405-417). Elsevier.

4. Savchuk, S., & Doskich, S. (2017). Monitoring of crustal movements in Ukraine using the network of reference GNSS-stations. Scientific journal "Geodynamics, 2(23), 7-13. European Forest Fire Information System EFFIS URL: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>

5. Булакевич, С. В., Ревуцький, В. Р., Волошина, О. О., & Куницький, М. О. (2017). Дослідження реалізації DGPS/RTK режиму супутникового позиціонування при частково закритому горизонті. Молодий вчений, (1), 33-36.