

НАУКОВА РОЛЬ МЕРЕЖІ АКТИВНИХ РЕФЕРЕНЦНИХ GNSS-СТАНЦІЙ

© Калинич І.В., 2010

Рассмотрены возможности использования современных сетей активных референционных станций в научных задачах геомониторинга.

The possibilities of using modern network of active reference stations in the scientific problems of geomonitoring are considered.

Постановка проблеми. Головним критерієм функціонування сучасних мереж активних референціальних GNSS-станцій – систем високоточного позиціонування – є передусім підвищення ефективності розв’язування практичних задач координатного забезпечення у різних галузях народного господарства. Саме мережа активних референціальних станцій, яка базується на найсучаснішій RTK-технології і є централізованою та максимально автоматизованою, дає змогу реально отримувати об’єктивні дані про місцезнаходження об’єкта із сантиметровою точністю у єдиній системі координат і розв’язувати цілий комплекс проблемних питань, наприклад, з якісного геодезичного забезпечення земельно-кадастрових робіт.

Проте наявність такої високотехнологічної інфраструктури допомагає розв’язувати не тільки практичні задачі з забезпечення координатною основою, але й суто наукові задачі, що мають важливе значення у всіх науках про Землю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток сучасної GNSS-інфраструктури та створення на її основі мереж активних референціальних станцій з високою швидкістю і малою затримкою передачі даних спостережень зосередили увагу наукового співтовариства на оптимальному використанні цих даних [1, 2]. Сучасні GNSS-мережі забезпечують істотне доповнення до інших геофізичних мереж (наприклад, сейсмічних, геодинамічних, гравіметричних), оскільки мають високу точність, чутливість до тривалості періоду спостереження, простоту розгортання, а також здатність виконувати вимірювання зміщень від місцевих до глобальних масштабів [3–5]. Нові технології вимірювань та методи їх опрацювання забезпечують доступ до GNSS-даних і похідних від них продуктів зі щораз більшою частотою дискретизації і меншою часовою затримкою. Це сприяє значному розширенню сфери процесів, які можуть бути при цьому вивчені. Так, наприклад, науковці, які беруть участь у проекті EarthScope, нещодавно виклали свої завдання на найближчі роки [9], серед яких необхідність використання режиму реального часу GNSS у наукових дослідженнях, пов’язаних з Землею. Ці перспективні плани, а також поява великої кількості подібних публікацій на конференціях і семінарах різного рівня [6–8] вказують на зростання зацікавленості різних сфер суспільства.

Постановка завдання. Основною метою нашої роботи є аналізування можливостей використання потенціалу мережі активних референціальних GNSS-станцій для наукових досліджень.

Виклад основного матеріалу. З наукового погляду основна перевага даних з високою швидкістю і малою затримкою (тобто “в режимі реального часу”) впливає, власне, з високої швидкості передачі інформації, що дає змогу якісніше виявляти певні закономірності зі спостережень природних процесів на Землі. У більшості інших видів геофізичних приладів (наприклад, сейсмометрів, свердловинних тензометрів, лазерних тензометрів, метеорологічних інструментів, нахиломірів тощо) інтервал дискретизації становить значно менше за 1 с, а сам процес вимірювань сягає навіть десятиліть. Наявність даних “у режимі реального часу” надає якіснішу можливість вивчення кількісних

характеристик процесів, серед яких землетруси, сейсмічні хвилі, виверження вулканів, магматичних інтрузій, структуру і динаміку атмосфери та іоносфери, геодинамічні зсуви тощо.

Для наукових досліджень наявність малої затримки в даних є позитивним моментом, навіть якщо вона не є абсолютно необхідною для відновлення подій після їх виникнення. Проте в деяких випадках наявність малої затримки даних істотно підвищує результати досліджень. Перша перевага в тому, що мала затримка приводить до високошвидкісної передачі даних у центри аналізу, які їх використовують. І якщо раніше тривалі спостереження могли бути потім недоступними через пошкодження ліній передачі даних або навіть і знищені (під час виверження вулкана, землетрусу, зсувів земної поверхні тощо), то з цих та інших технічних причин передавати дані з високою швидкістю краще за все з малими затримками. По-друге, наявність малих затримок даних дає змогу науковцям спрямовано і скоординовано швидко реагувати на події. Наприклад, нові GNSS-станції можна розгорнути у певних місцях, налаштування приймачів можна змінити залежно від характеру події тощо.

Що мають на увазі під терміном “реальний час” або “мала затримка” даних? Якщо взяти основне рівняння диференціальних фазових вимірювань з j -го супутника

$$\lambda^j \Phi_{mob}^j(t)^{corr} = [\rho_{mob}^j(t) + \delta\rho_{mob}^j(t) + \delta\rho^j(t) + \delta\rho_{mob}(t) + \lambda^j N_{mob}^j] - \left\{ [\delta\rho_{ref}^j(t_0) + \delta\rho^j(t_0) + \delta\rho_{ref}(t_0) + \lambda^j N_{ref}^j] + RRC_{ref}^j \times (t - t_0) \right\},$$

то $t - t_0$ є запізненням диференціальних корекцій або затримкою даних, RRC_{ref}^j – швидкість зміни диференціальної корекції на референційній (ref) станції. Відповідно, якість отриманих результатів прямо залежить від цього запізнення. Для визначення координат мобільного (mob) приймача диференціальним методом GPS (DGPS або DGNSS) застосовують корекції псевдовіддалі (на основі фазових даних), які екстраполюються на момент спостереження $t - t_0$, тоді як для визначення координат мобільного приймача відносним методом використовуються одночасні спостереження, що здійснюються на кінцевих станціях базису, тобто $t = t_0$. У разі визначення координат мобільного приймача у режимі реального часу (RTK-методом) необроблені вимірювання фази передаються йому із референційної станції, а обчислення здійснюють на опорний момент часу в мобільному модулі t_0 .

Дослідження “сейсмічних” джерел часто розглядають як дослідження земних деформацій, що можуть спостерігатися, але тільки частина з яких справджується через надлишкову енергію, що поширюється у вигляді пружних хвиль від джерела. Багато деформаційних процесів, пов'язаних із циклами в землетрусах, вулканічної діяльності і нетектонічних процесів, не породжують сейсмічних хвиль і можуть відбуватися в дуже широкому діапазоні часових масштабів. Використання високошвидкісних методів геодезичного моніторингу у цих випадках абсолютно необхідне, щоб зрозуміти характер подій.

У майбутньому рівень інтеграції між сейсмічними та геодезичними методами швидше за все зросте через збільшення обсягів GPS-даних у режимі реального часу. Інтеграція сейсмічних і GPS-даних на рівні часових рядів є для сейсмології дуже перспективним.

GPS-вимірювання статичних зміщень земної кори можна використати для створення досконалих і швидкодоступних моделей землетрусу та пов'язаних з ними деформацій поверхні. Такі дані становлять наукову цінність, а карти деформацій можуть допомогти аварійно-рятувальним службам і фахівцям з планування територій визначити місця, де можливі руйнування наземної інфраструктури. Основна перевага високої швидкості отримання GPS-даних й режиму реального часу для таких досліджень полягає у швидкому доступі до якісних джерел землетрусу, реагування на них і здійснення відповідних рятувальних робіт.

Дослідження тропосфери, як правило, зосереджені на глибшому розумінні погодних і кліматичних процесів, і, зрештою, поліпшенні прогнозування погоди. Атмосферний прогноз значною мірою залежить від даних про циркуляцію атмосфери, в якій фізичні процеси динамічного перемішування маси і енергії (а також радіаційного впливу та інших) повинні бути відомими.

Динаміка тропосфери значно ускладнюється швидкими змінами фази водяної пари. Тому GPS-вимірювання є потенційним внеском у моделювання погоди та клімату у тропосфері через можливість вимірювання інтегральної атмосферної водяної пари в затримках GPS-сигналу. Оскільки водяна пара є ключовим параметром для динамічних процесів в атмосфері, то вимірювання її змін є надзвичайно важливим для моделювання погоди.

Оперативний прогноз погоди зазвичай оснований на спостереженнях відносної вологості поряд з тиском і температурою, що визначаються за допомогою радіозондів і наземних метеорологічних приладів. Супутникова технологія вимірювання інтегрованої водяної пари ґрунтується на оцінці тропосферної затримки сигналів GNSS-супутників. У супутниковій геодезії такі затримки розглядають як перешкоди. Саме вони можуть бути безпосередньо пов'язані з кількістю водяної пари в атмосфері і, отже, є продуктом, що має істотне значення для метеорологів. Важливим є те, що отримані на основі GNSS оцінки водяної пари не залежать від випадання дощу і наявності хмар, а його реалізація є надзвичайно ефективною саме на наявній GNSS-інфраструктурі (мережі активних референціальних станцій з єдиним центром управління). Залежно від географічного розташування референціальних GNSS-станцій можливе детальне вивчення просторово-часового розподілу водяної пари.

Важливим науковим завданням є також дослідження стану іоносфери. Опрацювання даних з референціальних станцій мережі, довжини ліній між якими коливаються у широких межах (десятки і сотні кілометрів), дає можливість кількісно оцінити величини іоносферних ефектів, які, в поєднанні з іншими науковими даними, можна використати в задачах безперервного моніторингу клімату, для дослідження поширення сигналів зв'язку, екологічних досліджень та інших програм наук про Землю. Основним засобом у цих дослідженнях можуть бути регіональні карти іоносферної моделі у режимі квазіреального часу, які створюються у обчислювальному центрі мережі референціальних станцій.

Висновки. Сучасні мережі активних референціальних станцій дають змогу розв'язувати не тільки практичні задачі з геодезії та навігації, але й суто наукові задачі, що мають важливе значення для геомоніторингу.

1. *История GPS навигации // электронный ресурс: http://www.mobimag.ru/Articles/884/Vsya_pravda_o_GPS-navigacii.htm. 2. Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // *Геопрофи.* – 2008, № 1–2. 3. Интернет-ресурс Німецької мережі SAPOS // <http://www.sapos.de/>. 4. Офіційний сайт Європейської GNSS-мережі EUPOS // www.eupos.org. 5. Savchuk S., Kalynych I., Prodanets I. *Creation of ZAKPOS active network reference stations for Transcarpathian region of Ukraine.* – Берлін. – 2008. 6. Genrich J.F. and Y. Bock (2006), *Instantaneous geodetic positioning with 10–50 Hz GPS measurements: Noise characteristics and implications for monitoring networks*, *J. Geophys. Res.*, 111, B3. 7. Larson, K.M. (2009), *GPS seismology*, *J. Geodesy*, 83, 227–233. 8. Segall, P., and J. L. Davis (1997), *GPS applications for geodynamics and earthquake studies*, *Ann. Review Earth Planet. Sci.*, 25, 301–336. 9. Williams, M.L., K.M. Fischer, J.T. Freymueller, B. Tikoff, A.M. Trehu and others (2010). *Unlocking the secrets of the North American continent: An EarthScope science plan for 2010–2020*, online document: http://earthscope.org/es_doc/reports/es_sci_plan.pdf, accessed May 24, 2010.*