

УДК 528.2

Л. М. Янків-Вітковська

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

ПРО ОБЧИСЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІОНОСФЕРИ ЗА ДОПОМОГОЮ СПЕЦІАЛЬНОГО АЛГОРИТМУ: ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ

На основі комплексного аналізу впливу іоносфери на результати вимірювання з використанням глобальних навігаційних систем та аналізу традиційних методів врахування впливу іоносфери створено алгоритм для обчислення параметрів іоносфери STEC та VTEC для мережі вибраних перманентних станцій.

Дослідження впливу іоносфери є важливим завданням як для координатного забезпечення в геодезії, так і для завдань часового забезпечення (синхронізація годинників, шкала часу і частоти). В наших дослідженнях основну увагу зосереджено на підвищенні точності координатного забезпечення. І тому одним із важливих фактів є врахування іоносферних похибок при супутникових спостереженнях, особливо під час надійного розв'язання фазової неоднозначності і прецизійного позиціювання сантиметрової і міліметрової точності.

Є багато моделей, які дають уявлення про розподіл електронів в іоносферному шарі [1, 3]. Відомо декілька підходів врахування впливу іоносфери, зокрема з використанням глобальних навігаційних супутниковых систем (GNSS) [2, 6].

АКТУАЛЬНІСТЬ

Мережа мультичастотних GNSS-станцій, що працюють у режимі реального часу, дозволяє безперервно отримувати дані радіонавігаційних супутниковых вимірювань — псевдовідстані до супутників. Це дає можливість безпосереднього визначення загального вмісту електронів (ТЕС). Прикладом мережі мультичастотних GNSS-станцій, що працюють на території Західної України,

є мережа ZAKPOS/UA-EUPOS [7]. Важливість прямого визначення ТЕС на основі регулярних GNSS-спостережень полягає у тому, що це дозволяє не використовувати моделі іоносфери.

ВІКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Працюючи із оцінками координат для мережі ZAKPOS/UA-EUPOS, ми маємо можливість оцінити вплив іоносфери лише якісно. В обчислювальному центрі мережі ZAKPOS/UA-EUPOS використовується мережеве програмне забезпечення від фірми Trimble. GNSS-інфраструктура цієї фірми на даний час має відповідні додатки, зокрема Trimble Atmosphere App, який власне і дає можливість обчислення ТЕС. Результати представляються у табличній формі, а також у різноманітних графічних формах.

Ми отримуємо дані для оцінки іоносферної корекції в певному напрямку від станції, для якої здійснюється визначення координат. На рис. 1, 2 представлено результати роботи додатку Trimble Atmosphere App для мережі ZAKPOS/UA-EUPOS. За ними можна лише обчислити вплив іоносфери на точність координатних визначень, але неможливо визначити кількісні показники параметрів іоносфери.

Рівняння для визначення загального вмісту електронів (STEC) для кодових (1) та фазових (2) спостережень мають вигляд [5]

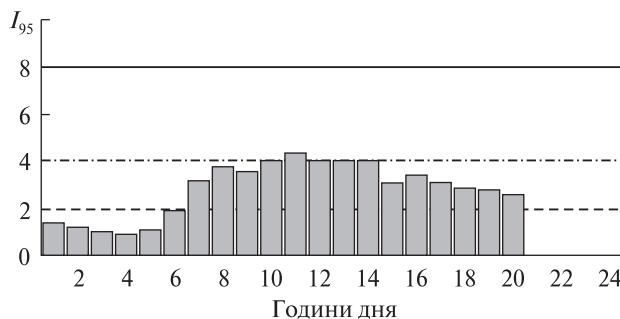


Рис. 1. Варіації іоносферного індексу I_{95} у мережі ZAKPOS протягом 1 вересня 2012 р.: сувільна лінія — висока активність іоносфери, штрих-пунктирна — середня, штрихова — нормальні активності іоносфери

$$STEC = \frac{1}{40.3} \left(\frac{f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} \right) (P_{2j}^i - P_{1j}^i - b^i - b_j + \varepsilon_p), \quad (1)$$

$$STEC = \frac{1}{40.3} \left(\frac{f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} \right) \times \\ \times (L_{1j}^i - L_{2j}^i - B^i - B_j + \lambda_1 N_{1j}^i - \lambda_2 N_{2j}^i + \varepsilon_L)_{arc}, \quad (2)$$

де f_1, f_2 — частоти GNSS-сигналів, P — псевдовідстані, визначені з кодових спостережень псевдовідстаней, b^i, B^i — затримка сигналу в i -му супутнику (так звані файли DCB), b_j, B_j — затримка сигналу на j -й станції, пов'язана з типом антени, кабеля, приймача тощо, λ — довжина хвилі, N — цілочисельна фазова неоднозначність, L — псевдовідстані, визначені з фазових спостережень, ε — залишкові випадкові похибки.

При використанні рівняння (1) найбільшою проблемою є згладження кодових псевдовідстаней P , а при використанні рівняння (2) — визначення фазових неоднозначностей N . Оскільки мова йде про обчислення TEC у режимі реального часу, то додаткове визначення фазових неоднозначностей дуже сильно ускладнює сам процес обчислень. Тому ми розробили практичну реалізацію рівняння (1) у системі реального часу спостережень із застосуванням спеціального алгоритму згладження.

Для початку ми створили відповідний алгоритм, за допомогою якого можна визначати значення TEC для окремої GNSS-станції у режимі реального часу. Визначення TEC відбува-

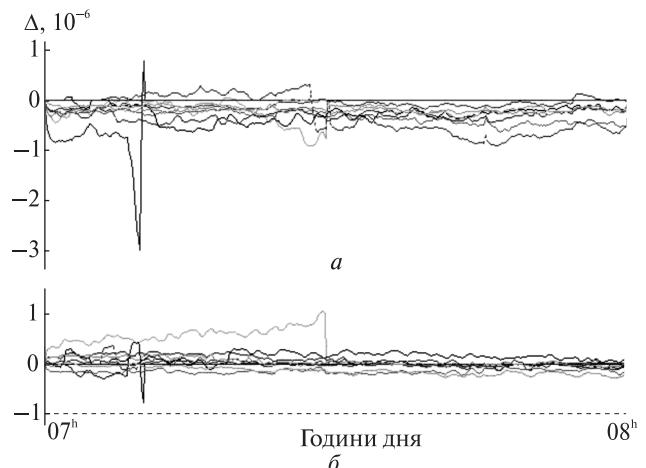


Рис. 2. Варіації іоносферної поправки Δ для різних станцій мережі ZAKPOS від 07^h до 08^h 1 вересня 2012 р.: *a* — у напрямі схід — захід, *b* — у напрямі північ — півден

еться внаслідок автоматизованого опрацювання RINEX-файлів для окремої станції мережі по кожному супутниковому, що спостерігається.

Для початкового аналізу отриманих значень $STEC$ їх, як правило, приводять до зеніту точки спостереження ($VTEC$) [5]:

$$VTEC = M(el)^{-1} \cdot STEC, \quad (3)$$

$$M(el) = \left\{ 1 - \left[\frac{(R + h_s) \cdot \cos(el)^2}{R + H} \right] \right\}^{-1/2}, \quad (4)$$

де $M(el)$ — функція відображення кута місця знаходження GPS-супутника, el — кут нахилу супутника над горизонтом, R — радіус Землі, H — висота одного шару (віддалі до іоносферного шару), h_s — висота LEO-супутника (в нашому випадку $h_s = 450$ км).

Для безпосереднього обчислення $STEC$ та $VTEC$ на основі формул (1), (3), (4) та розробленого спеціального алгоритму згладження кодових спостережень фазовими було створено програму на C++.

Оскільки значення $VTEC$ і $STEC$ отримуються щосекунди, то нами додатково розроблено програму, яка дозволяє статистично опрацювати великі масиви даних і приводити їх до зручного для подальшого аналізу виду, застосувавши при цьому специфічні методи з бібліотеки нелінійної апроксимації Matlab.

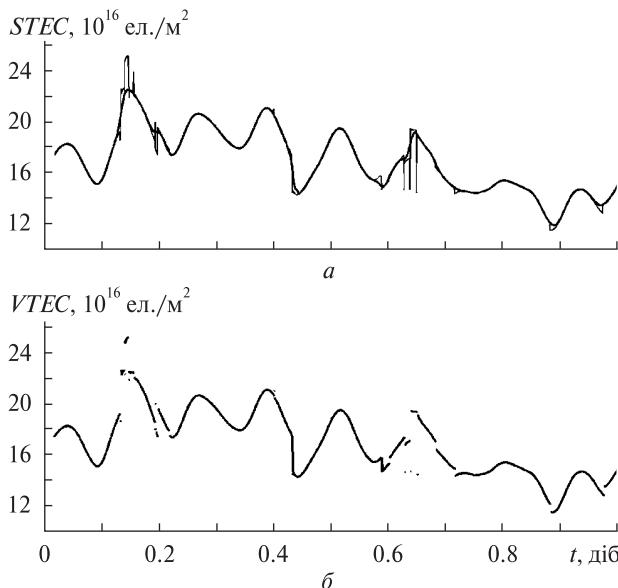


Рис. 3. Приклад згладження кодових спостережень STEC (а) і VTEC (б) ($1 \text{ TEC} = 10^{16} \text{ ел.}/\text{м}^2$)

На рис. 3 представлено результати згладження для отриманих даних STEC та VTEC.

Дані з результатами обчислених STEC та VTEC представлені файлами на сайті станції SULP Національного університету «Львівська політехніка» <http://www.sulp.polynet.lviv.ua>.

ВИСНОВОК

У своїх дослідженнях ми ставили завдання створити відповідний алгоритм, за допомогою якого можна визначати значення STEC та VTEC для окремої GNSS станції у режимі реального часу. Визначення STEC відбувається внаслідок автоматизованого опрацювання RINEX-файлів для окремої GNSS-станції по кожному супутнику, що спостерігається, а VTEC — шляхом їхнього приведення до зеніту.

Важливість прямого визначення TEC на основі регулярних GNSS-спостережень полягає в тому, що це дозволяє не використовувати моделі іоносфери для розв'язання сучасних задач, де вимагається висока точність результатів. Отримані нами дані TEC із безпосередніх GNSS-спостережень дозволяють моделювати іоносферні впливи на мінімально можливі проміжки часу та

отримати максимальну точність координатного забезпечення для заданого регіону.

На даний час в обробку включено лише одну станцію SULP, а в подальших планах — опрацювання даних станцій мережі ZAKPOS/UA-EUPOS з метою створення регіональної іоносферної моделі для задач координатного забезпечення.

1. Брюнелли Б. Е., Намгаладзе А. А. Физика ионосферы. — М.: Наука, 1988. — 528 с.
2. Гофман-Велленгоф Б., Лихтенеггер Г., Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика. — Пер. з англ. під ред. Я. С. Яцківа. — Київ: Наук. думка, 1995. — 380 с.
3. Синкевич О. А., Стаканов И. П. Физика плазмы (стационарные процессы в частино ионизованном газе): учеб. пособие [для вузов]. — М.: Высшая. шк., 1991. — 191 с.
4. Хода О.А. Определение координат перманентных станций региональной сети: GPS vs GPS+GLONAS // Космічна наука і технологія. — 2011. — № 6. — С. 45–53.
5. Key-Rok Choi, Lightsey E. G. Total Electron Content (TEC) Estimation Using GPS Measurements Onboard TerraSAR-X. Center for Space Research, The University of Texas at Austin., Proceedings of the 2008 National Technical Meeting of The Institute of Navigation, San Diego, CA, January 2008. — P. 923–934.
6. Klobuchar J. Ionospheric effects on GPS // GPS World. — 1991. — 2, N 4. — P. 48–54.
7. Savchuk S., Kalynych I., Prodanets I. Creation of ZAKPOS active network reference stations for Transcarpathian Region of Ukraine // Int. Symp. Global Navigation Satellite Systems, Spacebased and Ground-based Augmentation Systems and Applications, Berlin, 11–14 November 2008. — EUPOS Presentations.

Надійшла до редакції 12.10.12

L. M. Yankiv-Vitkovska

ON IONOSPHERE PARAMETER CALCULATING WITH THE USE OF A SPECIAL ALGORITHM: FIRST RESULTS

An algorithm is developed to calculate the ionosphere parameters STEC and VTEC for a network of chosen permanent stations. The algorithm is elaborated on the basis of a comprehensive analysis of the ionosphere impact on measurement results with the use of global navigation systems and an analysis of traditional methods for consideration of the ionosphere influence.