

УДК 528.2:629.78+528.06:51-7

Л.М. ЯНКІВ-ВІТКОВСЬКА

Кафедра вищої геодезії та астрономії, Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013, ел. пошта luba_y@ukr.net.

МЕТОДИКА УСЕРЕДНЕННЯ ДАНИХ ДЛЯ ПОБУДОВИ РЕГІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ІОНОСФЕРИ

Мета. Розробити алгоритм регулярного усереднення часових рядів *VTEC* для дослідження добового ходу параметра іоносфери із застосуванням емпіричних методів аналізу. **Методика.** Для вдосконалення підготовки даних, які використовуються для побудови регіональної моделі іоносфери, здійснено усереднення показника *VTEC* на 17 станціях з мережі ZAKPOS. Значення *VTEC* визначено за допомогою створеного авторами алгоритму за 25 днів 2013 року. **Результати.** На основі проведених досліджень розроблено методику для регулярного усереднення параметра *VTEC* по території та в часі, а також обчислено їх середньоквадратичні відхилення. Дсліджено динаміку усереднених значень *VTEC* за період від 131 по 161 день 2013 року для 17 станцій з мережі ZAKPOS. Розраховано, що для компенсації залишкового впливу *VTEC* під час GNSS-вимірювання у різні дні доцільно виконувати приблизно через 50 хв після того, як показник *VTEC* досягнув мінімуму. **Наукова новизна.** Науковою новизною є вдосконалення запропонованого раніше методу визначення *TEC*, що є найоптимальнішим для реалізації у режимі реального часу під час розв'язання задач координатного забезпечення. **Практична значущість.** Отримані висновки стосуються рекомендацій щодо того, в який час доби доцільно виконувати GNSS-вимірювання для досягнення відповідної точності. Запропоновану методику усереднення рекомендовано використовувати для вдосконалення моделі іоносфери на територію Західної України.

Ключові слова: іоносфера; параметри іоносфери; GNSS-вимірювання; регіональна модель іоносфери.

Вступ

На сучасному етапі розвитку супутникових технологій значна увага приділяється розвитку і впровадженню супутникових радіонавігаційних систем (GNSS). Глобальні супутникові системи забезпечують всепогодні високоточні визначення просторово-часових координат і швидкостей рухомих і нерухомих об'єктів.

Ці інформаційно-вимірювальні комплекси застосовуються під час контролю та управління військами, управління повітряним рухом і мореплавством, виконання завдань просторового орієнтування у ракетно-космічній техніці, навігації, геодезії, гідрографії та інших галузях (Hofmann-Wellenhof, 2001, 2008; Евстафьев О.В., 2008; Синякин А.К., 2009). Тому, розглядаючи фізичні аспекти функціонування цих систем, необхідно детальніше вивчати їх на сьогоднішньому етапі.

Моніторинг земної іоносфери переходить на новий методичний і технологічний рівень, зумовлений сучасною модернізацією GNSS та розвитком нових підходів і алгоритмів, призначених для визначення параметрів іоносфери Землі. Цей перехід є новою ерою в іоносферних

дослідженнях, оскільки основні властивості цих систем – можливість проводити вимірювання безперервно у часі і у просторі у будь-якій точці земної кулі – безпосередньо переносяться на іоносферний моніторинг і дають змогу забезпечити дослідження глобальних та регіональних явищ в іоносфері (Bilitza D. 1990; Van der Marel H., 1993; Tsugawa T., 2004; Ivanov-Kholodny 1986).

У задачах геодезичної спрямованості, де оцінюють вплив іоносфери на точність визначення координат, є ще багато неоднозначностей та припущень. Однак за допомогою мережі мультиточотних GNSS-станцій, що працюють у режимі реального часу, можна безперервно отримувати дані радіонавігаційних супутникових вимірювань і безпосередньо визначити загальний вміст електронів (*TEC*) (Klobuchar J.A., 1996; Komjathy A, 1996; Mannucci A.J., 1993).

У цьому напрямку проведено багато досліджень у межах проектів Європейської космічної агенції (Belehaki A., 2006; Stanislawska I., 2010; Stanislawska I., 2012), де запропонована методика дослідження та моніторингу іоносфери з використанням GNSS-технологій.

Важливість оцінки і вивчення просторово-часових змін *TEC* над територією України з використанням GNSS-спостережень наземної мережі перманентних референціальних станцій визначається тим, що це завдання включене до міжнародного проекту “Ionosat-Micro” (<http://www.ikd.kiev.ua>).

Прикладом мережі мультиспостережень GNSS-станцій, що працюють на території Західної України, є мережа ZAKPOS/UA-EUPOS (<http://zakpos.zakgeo.com.ua/>). Працюючи з даними визначення координат для мережі ZAKPOS/UA-EUPOS, ми отримуємо дані похилх *STEC* та вертикальних *VTEC*-значень загального вмісту електронів із безпосередніх спостережень окремих станцій. Це дало нам змогу створити свою систему моніторингу іоносфери, що ґрунтується на мережі GNSS-станцій, розміщених у західній частині України. Обчислення параметрів іоносфери за запропонованою методикою дає можливість визначити значення параметра іоносфери у будь-який час, для будь-якої точки території, де розміщені GNSS-станції (Янків-Вітковська Л.М., 2012, 2013, Янків-Вітковська Л.М., Савчук С.Г., 2013).

Для розв’язування задач координатного забезпечення ми запропонували і використовуємо найоптимальніший для реалізації у

режимі реального часу метод визначення *TEC*, в якому кодові спостереження згладжуємо фазовими (Янків-Вітковська Л.М., 2012). Однак і після цього процесу згладження маємо неоднозначності такого роду, як “розриви” чи “скачки” функції, побудованої за результатами обчислень за даними *VTEC*, які ми отримуємо для кожної станції з досліджуваної мережі кожні 15 секунд від кожного супутника (від 9 до 16).

Мета

Мета роботи – розробити алгоритм регулярного усереднення часових рядів *VTEC* для дослідження добового ходу параметра іоносфери із застосуванням емпіричних методів аналізу.

Методика

З метою вдосконалення підготовки даних для побудови регіональної моделі іоносфери здійснюємо усереднення показника *VTEC* на 17 станціях з мережі ZAKPOS. Перелік цих станцій подано у табл. 1. Значення *VTEC* визначаємо за допомогою створеного алгоритму (Янків-Вітковська Л.М., Савчук С.Г., 2013, Савчук С.Г., 2013) за 25 днів від 130 до 161 дня 2013 року.

Таблиця 1

Перелік станцій мережі ZAKPOS

№ з/п	Назва станції	Місце знаходження	№ з/п	Назва станції	Місце знаходження
1	CHRT	м. Чортків, Тернопільської обл.	10	SULP	м. Львів
2	CRNI	м. Чернівці	11	TERN	м. Тернопіль
3	HOZD	Годжель Здруй, Польща	12	VBER	В. Березний, Закарпатської обл.
4	HRUB	Грубешів, Польща	13	VRHV	м. Верховина, Ів.-Франківської обл.
5	HUST	м. Хуст, Закарпатської обл.	14	RVNE	м. Рівне
6	MUKA	м. Мукачеве, Закарпатської обл.	15	MIZG	м. Міжгір'я, Закарпатської обл.
7	RAHI	м. Рахів, Закарпатської обл.	16	HMEL	м. Хмельницький
8	SHAZ	м. Шацьк, Волинської обл.	17	SKON	м. Старокостянтинів, Хмельницької обл.
9	SKOL	м. Сколе, Львівської обл.			

Для усереднення *VTEC* на території вибраних станцій застосовуємо такий алгоритм.

Нехай

$$\tilde{v}_{ij}(\tilde{t}_{jk}) \quad (1)$$

значення *VTEC*, визначене на *i*-й станції у момент часу \tilde{t}_{jk} протягом *j*-го дня, де $i = \overline{1, n}$; $n = 17$ – кількість станцій (див. табл. 1); *k* – номер вимірювання протягом дня ($k = \overline{1, K_j}$); K_j – кількість вимірювань протягом *j*-го дня; $j = \overline{1, m}$; $m = 25$ – кількість днів.

Інтерполюємо дискретні залежності (1) сплайнами

$$V_{ij}(t) \quad (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}), \quad (2)$$

де $t \in [t_{\min}, t_{\max}]$; $t_{\min} = \max_{j=1, m} t_{j1}$; $t_{\max} = \min_{j=1, m} t_{jK_j}$ – відповідно найменше і найбільше значення часу протягом дня, для якого був визначений показник *VTEC*.

Виберемо на проміжку $t \in [t_{\min}, t_{\max}]$ *N* рівномірно розміщених вузлів t_k ($k = \overline{1, N}$). В обчисленнях взято $N = 300$. Виразуємо значення сплайнів (2) у цих точках:

$$v_{ij}(t_k) \quad (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}; k = \overline{1, N}). \quad (3)$$

Ці значення описують *VTEC* для усіх станцій в одні й ті самі моменти часу для усіх днів.

Нехай φ_i, λ_i – відповідно широта і довгота *i*-ї станції. Координати центру усіх станцій:

$$\bar{\varphi} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \varphi_i, \quad \bar{\lambda} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

Відстані між станціями та їхнім центром описують просторову густоту розміщення станцій:

$$r_i = \sqrt{(\bar{\varphi} - \varphi_i)^2 + (\bar{\lambda} - \lambda_i)^2} \quad (i = \overline{1, n}).$$

Величини, обернені до відстаней r_i ($i = \overline{1, n}$), мають сенс вагових коефіцієнтів зваженого усереднення: $\tilde{w}_i = 1/r_i$ ($i = \overline{1, n}$). Щоб застосувати ці коефіцієнти для зваженого усереднення, нормуємо їх на одиницю: $w_i = \tilde{w}_i \left[\sum_{j=1}^n \tilde{w}_j \right]^{-1}$ ($i = \overline{1, n}$).

Середні значення *VTEC* на території вибраних станцій:

$$\bar{v}_j(t_k) = \sum_{i=1}^n w_i v_{ij}(t_k) \quad (j = \overline{1, m}; k = \overline{1, N}). \quad (4)$$

Графіки залежностей (4) показано на рис. 1. Різні кольори відповідають різним станціям з мережі ZAKPOS.

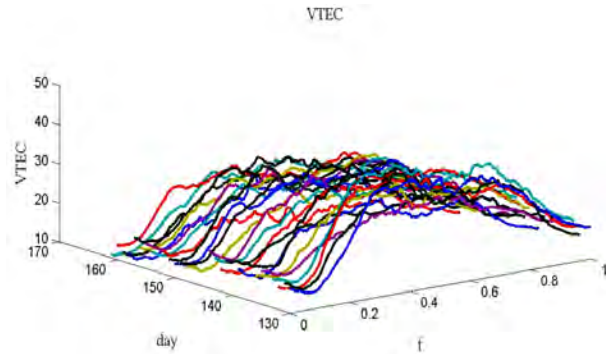


Рис. 1. Графіки зміни значень *VTEC*, середніх по території за різні дні протягом однієї доби

Значення *VTEC*, середнє по території та в часі:

$$\bar{v}(t_k) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \bar{v}_i(t_k) \quad (k = \overline{1, N}). \quad (5)$$

Графік середнього значення (5) показано на рис. 2.

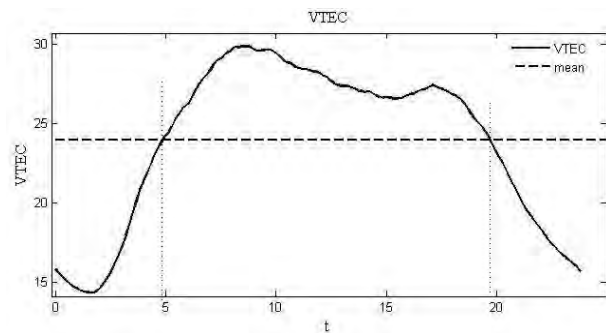


Рис. 2. Графік показника *VTEC*, середнього по території та в часі

Проаналізувавши результати розрахунків, показані на графіку, і значення показника *VTEC*, усередненого по території та в часі, можемо зазначити таке.

На графіку $\bar{v}(t)$ (рис. 2) бачимо характерний мінімум *VTEC* незадовго після півночі. На ньому є два максимуми протягом світлої частини доби, а також, що закономірно, стрімке збільшення та зменшення *VTEC* під час сходу і заходу Сонця.

Середнє значення показника *VTEC* за добу дорівнює 23.9. Середнє значення показника *VTEC* за нічну частину доби дорівнює 17.6. Середнє значення показника *VTEC* за світлі години доби дорівнює 27.1. За світлу частину доби взято час від 5 до 21 години для періоду дослідження

Усереднення *VTEC* по днях, виконане за формулою (4), має похибку, яка пов'язана з добовою зміною *VTEC*. Щоб оцінити цю похиб-

ку, вираховано середньоквадратичне відхилення $\sigma(t_k)$ ($k = \overline{1, N}$) показників (3). Показник $\bar{v}(t)$ досягає найменшого значення 14.3 о 16 годині.

Значення показника середньоквадратичного відхилення $\sigma(t)$ показані на графіку (рис. 3). На цьому рисунку бачимо гострий мінімум σ у нічні години. Найменше середньоквадратичне відхилення – 1.7. Відхилення σ досягає мінімуму о 24 годині. В середньому на території станцій ZAKPOS усереднення по днях є найменшим після 2-ї години. Це означає, що для компенсації залишкового впливу VTEC, GNSS-вимірювання доцільно вимірювати незадовго після 2-ї години. Однак це прямо не стосується покращення точності вимірювання, а стосується задачі зменшення середньоквадратичних похибок вимірювань одних і тих самих координат, виконаних у різні дні.

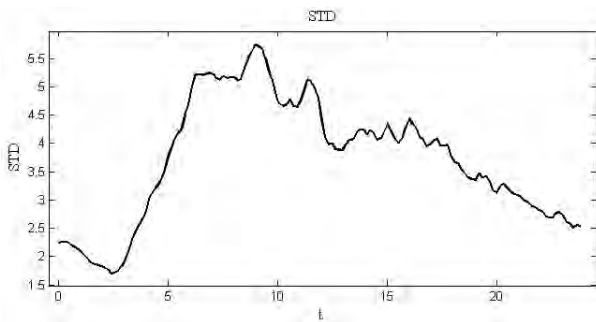


Рис. 3. Графік середньоквадратичного відхилення $\sigma(t)$

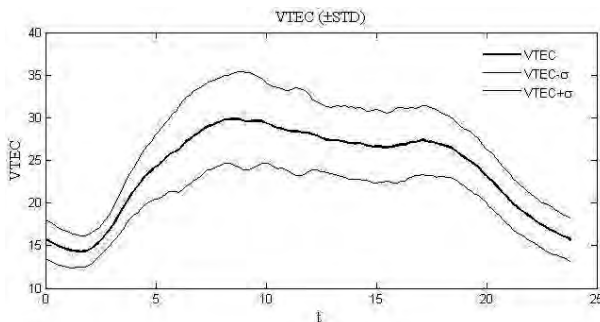


Рис. 4. Графіки $\bar{v}(t)$, $\bar{v}(t) + \sigma(t)$, $\bar{v}(t) - \sigma(t)$

На рис. 4 зображено графіки $\bar{v}(t)$, $\bar{v}(t) + \sigma(t)$, $\bar{v}(t) - \sigma(t)$. З цього рисунка бачимо зміну похибки усереднення (5) протягом дня. Найбільша похибка усереднення від 8 до 10 години. Протягом проміжку часу від 8 до 19 години похибка усереднення є доволі значною. На проміжку часу від 3 до 4 години похибка усереднення є найменшою.

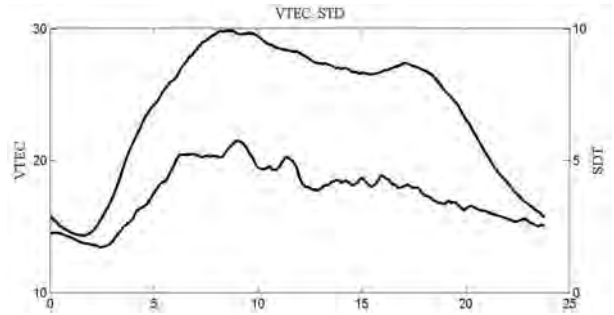


Рис. 5. Графіки показника $\bar{v}(t)$ (ліва вісь), графік середньоквадратичного відхилення $\sigma(t)$ (права вісь)

На рис. 5 зображено графіки $\bar{v}(t)$ (ліва вісь ординат), $\sigma(t)$ (права вісь). З цього графіка бачимо, що мінімум середньоквадратичного відхилення настає пізніше, ніж мінімум показника $\bar{v}(t)$. Це означає, що похибка $\sigma(t)$ динамічно залежить від значень $\bar{v}(t)$. Попередня зміна $\bar{v}(t)$ впливає на наступну зміну $\sigma(t)$. Мінімум $\sigma(t)$ настає через 0.8 год (47.9 хв) після мінімуму показника $\bar{v}(t)$. Це означає, що для компенсації залишкового впливу VTEC під час GNSS-вимірювання у різні дні доцільно виконувати приблизно через 50 хв після того, як показник VTEC досяг мінімуму.

Наведені висновки встановлено на основі наших досліджень параметрів іоносфери за 25 днів, визначених на 17 станціях. Щоб уніфікувати такий метод визначення похибок усереднення VTEC залежність $\bar{v}(t_k)$ ($k = \overline{1, N}$) апроксимовано нелінійною функцією $F(t)$. В результаті обчислювальних експериментів вибрано таку функцію:

$$F(t) = \sum_{i=1}^8 a_i \exp\left(-[(t-b_i)/c_i]^2\right). \quad (6)$$

Параметри цієї функції подано у табл. 2. Графік показника (5) та його апроксимації (6) показано на рис. 6.

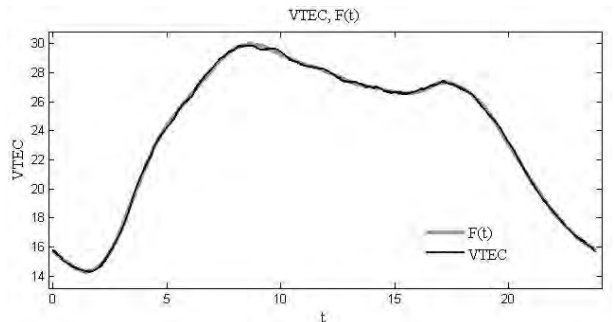


Рис. 6. Графік показника $\bar{v}(t)$ та його апроксимації $F(t)$ (сірим тоном)

Таблиця 2

Коефіцієнти апроксимації усередненого показника *VTEC*

a1	6.131868784184	c3	0.554210070062	b6	15.467728124870
b1	4.254142705689	a4	-0.654882271871	c6	2.592834582528
c1	1.979591566358	b4	13.155221316489	a7	-40.864003049062
a2	-378.562340530483	c4	1.127461495894	b7	19.336571511872
b2	7.449079828538	a5	344.844985362082	c7	8.217776412927
c2	5.266564603571	b5	7.441358188741	a8	81.218121456135
a3	0.254661058626	c5	4.937012251068	b8	13.435653440216
b3	17.017308181250	a6	-7.416281064702	c8	13.798628895659

Виконаний аналіз даних показника *VTEC* розкриває типову зміну його усереднених значень протягом кількох днів на території вибраних станцій. Отримані висновки стосуються рекомендацій щодо того, в яку пору доби доцільно виконувати GNSS-вимірювання для досягнення відповідної точності.

Висновки

На основі проведених досліджень ми розробили методику для регулярного усереднення параметра *VTEC* по території та в часі, а також обчислили їхні середньоквадратичні відхилення. Досліджено динаміку усереднених значень *VTEC* за період від 131 по 161 день 2013 року для 17 станцій з мережі ZAKPOS. Отримані результати планується використовувати для вдосконалення моделі іоносфери на території Західної України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // Геопрофи. – 2008. – № 1–2.45.
- Савчук С.Г., Янків-Вітковська Л.М. Визначення параметрів іоносфери у мережі супутникових станцій Західної України // Зб. тез 13-ї Української конф. з космічних досліджень, м. Євпаторія, Крим. – Євпаторія, 2013. – С. 60.
- Синякин А.К., Кошелев А.В. Физические принципы работы GPS/ГЛОНАСС [Текст]: монография. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 110 с.
- Янків-Вітковська Л.М. Про дослідження параметрів іоносфери для GNSS-станцій SULP, RVNE та SHAZ // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2013. – Вип. 78. – С. 169–172.
- Янків-Вітковська Л.М. Про обчислення параметрів іоносфери за допомогою спеціального алгоритму: перші результати // Космічна наука і технологія. – 2012. – Т. 18, № 6. – С.73–75.
- Офіційний сайт Інституту космічних досліджень НАН України: http://www.ikd.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=66%3A-qq&catid=18%3A2011-02-09-21-36-03&Itemid=20&lang=ru.
- ZAKPOS – мережа референціальних GPS-станцій. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakpos.zakgeo.com.ua/>.
- Belehaki A., Lj. Cander, B. Zolesi, J. Bremer, C. Juren, I. Stanislawski, D. Dialetis, M. Hatzopoulos, 2006, Monitoring and forecasting the ionosphere over Europe: The DIAS project, Space Weather, 4, S12002, doi:10.1029/2006SW000270.
- Bilitza D. (1990). International reference ionosphere 1990, report 90-22. Technical report, National Space Science Data Center/World Data Center A for Rockets and Satellites, Code 930.2, Goddard Space Flight Center.
- Ivanov-Kholodny G. S. and A. V. Mikhailov (1986). *The Prediction of Ionosphere Conditions*. Institute of applied geophysics, geocohydrology, Moscow, U.S.S.R.
- Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, and J. Collins (2001). *Global Positioning System: Theory and practice*. 5th revised edition: Springer-Verlag.
- Hofmann-Wellenhof B., H. Lichtenegger and E. Wasle (2008). *Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more*. Springer Wien NewYork.
- Klobuchar J. A., 1996. Ionospheric Effects on GPS. In: *Global Positioning System: Theory and Applications*, Volume 1, ed. by B. W. Parkinson and J. J. Spilker, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 370 L'Enfant Promenade, SW. Washington DC, 20024.
- Komjathy A. and R. B. Langley, 1996. An Assessment of Predicted and Measured Ionospheric Total Electron Content Using a Regional GPS Network. In: <http://gauss.gge.unb.ca/grads/attila/papers/papers.htm>, accessed 17 September 1998.
- MAnnucci A. J., B. D. Wilson and C. D. Edwards, 1993. A New Method for Monitoring the Earth's Ionospheric Total Electron Content Using GPS Global Network. Proceedings of ION GPS-93, Salt Lake City, UT, 22-24 September, The Institute of Navigation, Alexandria, VA, 1323-1332.

- Stanislawska I., J. Lstovicka, A. Bourdillon, B. Zolesi, Lj. R. Cander, 2010, Monitoring and modeling of ionospheric characteristics in the framework of European COST 296 Action MIERS, Space Weather, Doi:10.1029/2009SW000493.
- Stanislawska I., Jakowski N., Béniguel Y. De Franceschi G., Hernandez Pajares M., Jacobsen, Knut Stanley; Tomasik L., Warnant R., Wautelet G. *Monitoring, tracking and forecasting ionospheric perturbations using GNSS techniques* / JOURNAL OF SPACE WEATHER AND SPACE CLIMATE, 2012, 10.1051/2012022.
- Tsugawa T., A. Saito and Y. Otsuka (2004). A statistical study of large-scale traveling ionospheric disturbances using the gps network in japan. *Journal of Geophysical Research* 109. doi:10.1029/2003JA010302.
- Van der Marel H. (1993). Modelling of GPS ionospheric delays for geodetic applications. In *URSI commisie G meeting*, March 12, Eindhoven, The Netherlands.

Л.Н. ЯНКІВ-ВІТКОВСКАЯ

Кафедра высшей геодезии и астрономии, Национальный университет “Львовская политехника”, ул. С. Бандеры 12, Львов, Украина, 79013

МЕТОДИКА УСРЕДНЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИОНОСФЕРЫ

Цель. Целью статьи является разработка алгоритма регулярного усреднения временных рядов *VTEC* для исследования суточного хода параметра ионосферы с применением эмпирических методов анализа. **Методика.** Для совершенствования подготовки данных, которые используются для построения региональной модели ионосферы, осуществлено усреднение показателя *VTEC* на 17 станциях из сети ZAKPOS. Значение *VTEC* определено с помощью созданного авторами алгоритма за 25 дней 2013 года. **Результаты.** На основе проведенных исследований авторами разработана методика для регулярного усреднения параметра *VTEC* по территории и во времени, а также вычислено их среднеквадратичные отклонения. Исследована динамика усредненных значений *VTEC* за период с 131 по 161 день 2013 для 17-ти станций из сети ZAKPOS. Рассчитано, что для компенсации остаточного влияния *VTEC* при GNSS-измерениях в разные дни целесообразно выполнять приблизительно через 50 мин после того, как показатель *VTEC* достиг минимума. **Научная новизна.** Научной новизной является усовершенствование предложенного нами ранее метода определения ТЭС, что является наиболее оптимальным для реализации в режиме реального времени при решении задач координатного обеспечения. **Практическая значимость.** Полученные выводы касаются рекомендаций относительно того, в какое время суток целесообразно выполнять GNSS-измерения для достижения соответствующей точности результатов. Предложенную методику усреднения рекомендуем использовать для совершенствования модели ионосферы над территорией Западной Украины.

Ключевые слова: ионосфера; параметры ионосферы; GNSS-измерения; региональная модель ионосферы.

L.M. YANKIV-VITKOVSKA

Department “Higher geodesy and astronomy” of National university Lviv polytechnic, 12 Bandera street, Lviv, Ukraine, 79013

THE TECHNIQUE OF AVERAGING DATA FOR CONSTRUCTION OF THE REGIONAL IONOSPHERE MODEL

Purpose. The purpose of this paper is to develop an algorithm of regular averaging time series *VTEC* to investigate the daily course of ionospheric parameters with the use of empirical methods of analysis. **Methodology.** In order to improve the preparation of data which was used for the construction regional model of the ionosphere, we carry out the averaging parameter *VTEC* at 17 stations on the ZAKPOS network. We define the value of the parameter *VTEC* using the algorithm created by authors for 25 days in 2013. **Results.** Based on these studies, we have developed a technique for the regular averaging parameter *VTEC* around the grounds and time and their mean square deviations were calculated. Investigated the dynamics of the averaged *VTEC* values for the period from 131 to 161 days in 2013 for a 17-station network of ZAKPOS. Calculated that compensate *VTEC* for GNSS-measurements on different days advisable to carry approximately 50 minutes after the index reached a minimum *VTEC* values. **Originality.** Scientific novelty is the improvement of our early proposed method for determining the *TEC*, that is most optimal for implementation in real time in solving problems of coordinate support. **Practical significance.** It were made the conclusions relating to the recommendations as to what time of day it is expedient to carry out GNSS-measurement to achieve appropriate accuracy of the results. Offered technique of averaging we recommend to use for improvement of the model of the ionosphere on the territory of Western Ukraine.

Key words: ionosphere, ionospheric parameters; GNSS-measurement; regional model of the ionosphere.

REFERENCES

- Evstafyev O.V. *Nazemnaya infrastruktura GNSS dlja tochnogo pozycionirovaniya* [Terrestrial infrastructure for precise GNSS in zitsionirovaniya]. Geoprofi, 2008, № 1–2.45.
- Savchuk S.G., Yankiv-Vitkovska L.M. *Vyznachennia parametriv ionosfery u merezhi suputnykovyh stanciy Zahidnoi Ukrainy* [The definitions of the parameters the ionosphere on the network GNSS-stations in Western Ukraine]. Abstract 13- Ukrainian conference of space studies. Krym, Evpatoria, 2013, P. 60.
- Synyakin A. K., Koshelev A. V. *Fizicheskiye principy raboty GPS/Glonass* [Physical principles of GPS / GLONASS [Text]: monograph]. Novosibirsk: SGA, 2009, p 110.
- Yankiv-Vitkovska L.M. *Pro doslidzhennia parametriv ionosfery dla GNSS-stanciy SULP, RVNE ta SHAZ* [About the study of the ionosphere parameters for GNSS-stations SULP, RVNE and SHAZ]. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*. no. 78, 2013, Lviv, pp. 169–172.
- Yankiv-Vitkovska L.M. *Pro obchyslennia parametriv ionosfery za dopomogoyu specialnogo algoritmu: pershi rezultaty* [On ionosphere parameter calculating with the use of a special algorithm: first results]. *Space science and technology*, 2012. T. 18. no. 6, P.73–75.
- Official website of the Institute for Space Studies NAN of Ukraine: http://www.ikd.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=66%3Aqq&catid=18%3A2011-02-09-21-36-03&Itemid=20&lang=ru.
- ZAKPOS – network of reference GPS-stations // <http://zakpos.zakgeo.com.ua/>.
- Behlaker A., Lj. Cander, B. Zolesi, J. Bremer, C. Juren, I. Stanislawka, D. Dialetis, M. Hatzopoulos, 2006, Monitoring and forecasting the ionosphere over Europe: The DIAS project, *Space Weather*, 4, S12002, doi:10.1029/2006SW000270.
- Bilitza D. (1990). International reference ionosphere 1990, report 90-22. Technical report, National Space Science Data Center/World Data Center A for Rockets and Satellites, Code 930.2, Goddard Space Flight Center.
- Ivanov-Kholodny G. S. and A. V. Mikhailov (1986). The Prediction of Ionosphere Conditions. Institute of applied geophysics, geocohydromet. Moscow, U.S.S.R.
- Hofmann-Wellenhof B., H. Lichtenegger and J. Collins (2001). *Global Positioning System: Theory and practice*. 5th revised edition: Springer-Verlag.
- Hofmann-Wellenhof B., H. Lichtenegger and E. Wasle (2008). *Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and more*. SpringerWienNewYork.
- Klobuchar J. A., 1996. Ionospheric Effects on GPS. *In: Global Positioning System: Theory and Applications*, Volume 1, ed. by B. W. Parkinson and J. J. Spilker, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 370 L'Enfant Promenade, SW. Washington DC, 20024.
- Komjathy A. and R. B. Langley, 1996. An Assessment of Predicted and Measured Ionospheric Total Electron Content Using a Regional GPS Network. *In: http://gauss.gge.unb.ca/grads/attila/papers/papers.htm*, accessed 17 September 1998.
- Mannucci A. J., B. D. Wilson and C. D. Edwards, 1993. A New Method for Monitoring the Earth's Ionospheric Total Electron Content Using GPS Global Network. Proceedings of ION GPS-93, Salt Lake City, UT, 22-24 September, The Institute of Navigation, Alexandria, VA, 1323–1332.
- Stanislawka I., J. Lstovicka, A. Bourdillon, B. Zolesi, Lj. R. Cander, 2010, Monitoring and modeling of ionospheric characteristics in the framework of European COST 296 Action MIERS, *Space Weather*, Doi:10.1029/2009SW000493.
- Stanislawka I., Jakowski N., Béniguel Y., De Franceschi G., Hernandez Pajares M., Jacobsen, Knut Stanley; Tomasik L., Warnant R., Wautelet G. *Monitoring, tracking and forecasting ionospheric perturbations using GNSS techniques* / *JOURNAL OF SPACE WEATHER AND SPACE CLIMATE*, 2012, 10.1051/2012022.
- Tsugawa T., A. Saito and Y. Otsuka (2004). A statistical study of large-scale traveling ionospheric disturbances using the gps network in japan. *Journal of Geophysical Research* 109. doi:10.1029/2003JA010302.
- Van der Marel H. (1993). Modelling of GPS ionospheric delays for geodetic applications. *In URSI commissie G meeting*, March 12, Eindhoven, The Netherlands.

Надійшла 5.12.2013 р.