

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 мультиспостових 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 похилих *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);  $k = \overline{1, K_j}$  – 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  $\varphi_i, \lambda_i$  – 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.

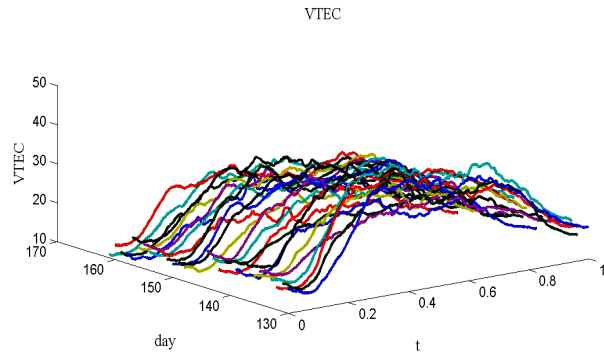


Рис. 1. Графіки зміни значень *VTEC*, середніх по території за різні дні протягом однієї доби

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.

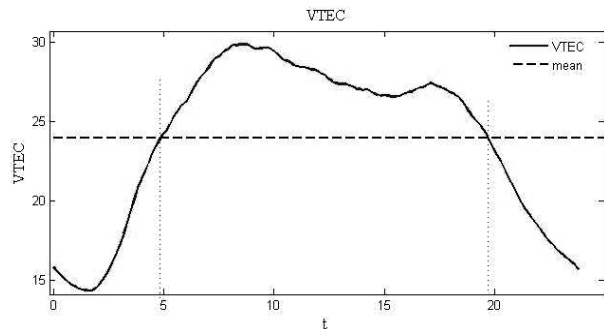


Рис. 2. Графік показника *VTEC*, середнього по території та в часі

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  $\sigma$  у нічні години. Найменше середньоквадратичне відхилення – 1.7. Відхилення  $\sigma$  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.

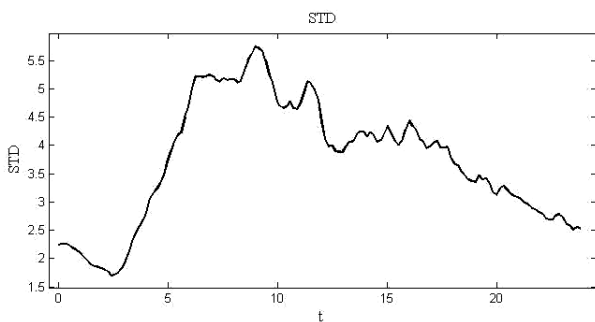


Рис. 3. Графік середньоквадратичного відхилення  $\sigma(t)$

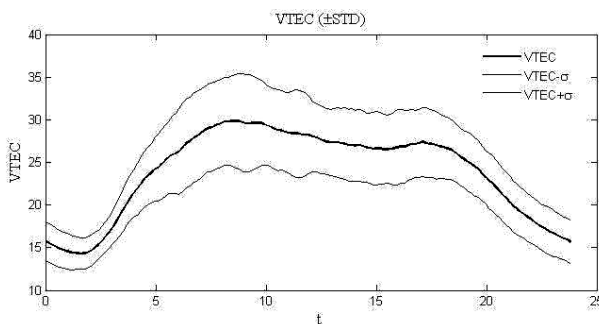


Рис. 4. Графіки  $\bar{v}(t)$ ,  $\bar{v}(t) + \sigma(t)$ ,  $\bar{v}(t) - \sigma(t)$

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.

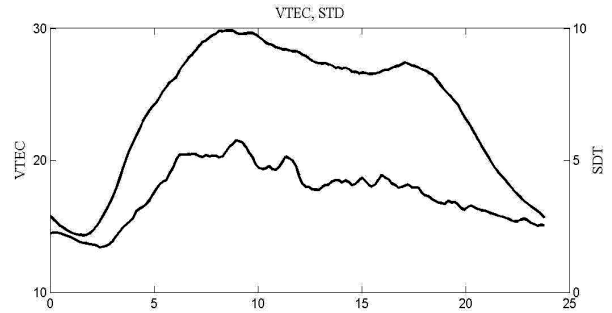


Рис. 5. Графіки показника  $\bar{v}(t)$  (ліва вісь), графік середньоквадратичного відхилення  $\sigma(t)$  (права вісь)

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:

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

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

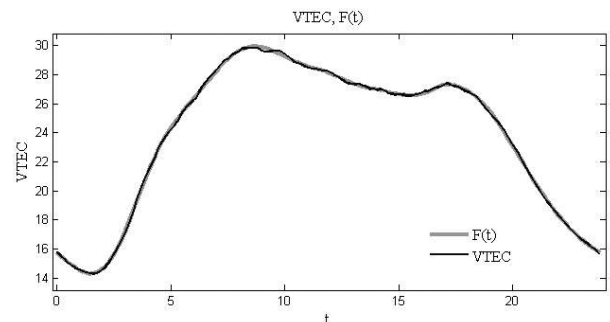


Рис. 6. Графік показника  $\bar{v}(t)$  та його апроксимації  $F(t)$  (сірим тоном)

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 територію 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](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 референцих 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, 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*. 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 suputnykovykh 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%3A-q&catid=18%3A2011-02-09-21-36-03&Itemid=20&lang=ru](http://www.ikd.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=66%3A-q&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.