

УДК 621.396.933:527.8

О.Є. Казаков<sup>1</sup>, А.А. Водяних<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба<sup>2</sup>Державне підприємство «Оризон-Навігація», Сміла

## УРАХУВАННЯ ІОНОСФЕРНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОХИБКИ ПІД ЧАС НАВІГАЦІЙНИХ ВИЗНАЧЕНЬ

*Проведено дослідження методів урахування іоносферної складової похибки під час навігаційних визначень з використанням апаратури споживачів супутникових навігаційних систем. Обґрунтовано використання локальної моделі іоносфери для конкретній місцевості, яка підтверджена отриманими теоретичними розрахунками та експериментальними даними. Запропоновані заходи щодо підвищення точності місцевизначення за рахунок складання локальної моделі іоносфери і використання її при обробці отриманої навігаційної інформації з використанням апаратури споживачів супутникових навігаційних систем.*

*іоносферна похибка, модель, апаратура споживачів, навігаційний космічний апарат, супутникова навігаційна система*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Як відомо найбільш значною змінною складовою похибки під час навігаційних визначень з використанням апаратури споживачів (АС) супутникових навігаційних систем (СНС) є похибка, що визначається впливом іоносфери, тобто так звана іоносферна похибка [1].

Практично повністю вилучити іоносферну складову похибки дозволяє використання двочастотних приймачів, при цьому значно полегшується і вирішення неоднозначності фазових вимірів [2].

Для двочастотних приймачів доцільно використовувати методи, що базуються на складанні локальної моделі іоносфери для конкретній місцевості. В такому випадку отримані результати найбільш точно відповідають дійсності, оскільки для складання моделі залучаються результати двочастотних вимірів по навігаційним космічним апаратам (НКА), що спостерігаються. Перевагою такого виду апроксимації є можливість перерахунку помилок на будь-які одночастотні виміри.

**Аналіз літератури.** Основні принципи впливу середовища навколоземного космічного простору на якість функціонування СНС, що використовують канал розповсюдження радіохвиль «Земля-Космос» розглянуто в ряді робіт [1, 2]. У [3, 4] досліджено вплив геомагнітних збурень на роботу двочастотних приймачів GPS. У роботах [5 – 7] розглянуто результати досліджень фазових флуктуацій і збоїв фазових далекомірних вимірювань СНС в умовах геомагнітних збурень.

Проте з погляду споживача СНС значно більший інтерес демонструють дослідження, присвячені впливу іоносфери на якість функціонування СНС, як системи визначення місцеположення та алгоритму

врахування її впливу на точність визначення навігаційних параметрів апаратурою споживачів СНС GPS, ГЛОНАСС, Galileo та ін.

**Метою статті** є дослідження методів урахування іоносферної складової похибки при навігаційних визначеннях з використанням АС СНС за рахунок складання локальної моделі іоносфери і її використання під час обробки отриманої навігаційної інформації.

### Основний матеріал дослідження

Якість функціонування СНС, що використовують канал розповсюдження радіохвиль «Земля-Космос», істотно обмежена впливом середовища навколоземного космічного простору [5, 6]. При цьому основний внесок припадає на системні іоносферні ефекти розповсюдження радіохвиль: групове і фазове запізнювання, доплерівський зсув частоти. Ступінь прояву вказаних ефектів у багатьох випадках слабо залежить від локального розподілу електронної концентрації, але прямо пов'язана з величиною повного електронного змісту уздовж траєкторії розповсюдження радіосигналу [7].

В основі методів, що досліджуються, лежить частотна залежність затримки сигналу, що проходить через іоносферне середовище. Відповідно, для реалізації алгоритму врахування іоносферної складової похибки необхідно забезпечити прийом коду чи фази по другій несучій частоті навігаційного сигналу.

Існуючі СНС GPS і ГЛОНАСС передають навігаційні сигнали на двох когерентних частотах L1 та L2 [8, 9]. Виміряні значення кодових дальностей можуть бути представлені в наступному вигляді:

$$D_{L1}^{изм} = D^{ист} + \delta D^{троп} + \delta D_{L1}^{ион} + c \cdot T_{DCBL1}^{пер} + c \cdot T_{DCBL1}^{пр} + c \cdot \tau_{шв};$$

$$D_{L2}^{изм} = D^{ист} + \delta D^{троп} + \delta D_{L2}^{ион} + c \cdot T_{DCBL2}^{пер} + c \cdot T_{DCBL2}^{пр} + c \cdot \tau_{шв},$$
(1)

де  $D^{троп}$  – тропосферна помилка вимірів (однакова для обох каналів);  $\delta D_{L1}^{ион}, \delta D_{L2}^{ион}$  – іоносферні помилки відповідно для несучих  $L1$  та  $L2$ ;  $T_{DCBL1}^{пер}, T_{DCBL2}^{пер}, T_{DCBL1}^{пр}, T_{DCBL2}^{пр}$  – час проходження сигналів  $L1$  та  $L2$  відповідно в трактах передавача та приймача (Differential Code Bias);  $\tau_{шв}$  – розходження шкал часу передавача та приймача.

В першому наближенні для помилок справедливий вираз:

$$\delta D_{L2}^{ион} = \gamma \delta D_{L1}^{ион},$$
(2)

де  $\gamma = \left( \frac{f_{L1}}{f_{L2}} \right)^2$ .

Введемо поняття часової групової затримки (ЧГЗ)  $T_{GD}$  проходження сигналу через тракти приймача та передавача:

$$T_{GD}^{пер} = \frac{T_{DCBL1}^{пер} - T_{DCBL2}^{пер}}{1 - \gamma};$$

$$T_{GD}^{пр} = \frac{T_{DCBL1}^{пр} - T_{DCBL2}^{пр}}{1 - \gamma}.$$
(3)

Величина ЧГЗ приймача в загальному випадку відрізняється для кожної пари літерних частот (ГЛОНАСС), тоді як в GPS сигнали передаються на спільних частотах, із-за чого  $T_{GD}$  буде однаковим для всіх вимірів.

Складемо різницю вимірів дальностей (1) з урахуванням (2) і (3):

$$\Delta(D^{изм}) = D_{L1}^{изм} - D_{L2}^{изм} = \delta D_{L1}^{ион} (1 - \gamma) + c \cdot T_{GD}^{пер} (1 - \gamma) + c \cdot T_{GD}^{пр} (1 - \gamma).$$
(4)

Із цього виразу величина  $\delta D_{L1}^{ион}$  може бути оцінена тільки при відомих  $T_{GD}^{пер}$  і  $T_{GD}^{пр}$ .

Остання величина умовно вважається невідомою, оскільки має нерегулярний характер і залежить від багатьох факторів. Параметр  $T_{GD}^{пер}$  для кожного НКА передається в навігаційному повідомленні, хоча має значно велику дискретність 0,46 нс. Виходячи з цього, рівняння для оцінювання величини помилки має вигляд:

$$\delta D_{L1}^{ион} = \frac{(D_{L1}^{изм} - D_{L2}^{изм})}{1 - \gamma} - c \cdot T_{GD}^{пер} - c \cdot T_{GD}^{пр}.$$
(5)

З іншого боку лінійна комбінація вимірних псевдодальностей  $\Delta(D^{изм})$  представляє собою повний час групової затримки, що дозволяє усунути не

тільки іоносферні затримки а ще й апаратні затримки, як в передавачі НКА, так і в приймачі АС. Відносно СНС ГЛОНАСС дана властивість є перевагою цього методу, оскільки з'являється можливість програмної компенсації ЧГЗ приймача на кожній із пар літерних частот. В СНС GPS всі сигнали передаються на одній частоті, у зв'язку з чим для всіх вимірів апаратна помилка приймача буде однаковою. До недоліків можна віднести низьку точність отриманої величини, дисперсія якої в 4-6 разів перевищує дисперсію шумів кодових вимірів, що призведе до збільшення дисперсії скорегованої псевдодальності у 5 – 7 разів.

На рис. 1 показана залежність у часі оцінюваної помилки  $\delta D_{L1}^{ион}$ . Для зменшення дисперсії даної величини інколи виконують згладжування кодових вимірів фазовими. При цьому розбіжність визначених координат, що викликана шумами вимірів, не перевищує декількох сантиметрів, чого достатньо для більшості задач навігації.

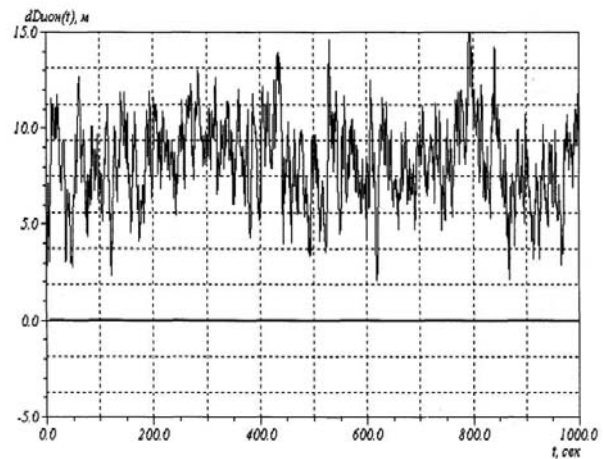


Рис. 1. Залежність у часі іоносферної помилки, визначеної по двом двочастотним кодовим вимірам

Використання двочастотних далекомірних вимірів дозволяє усунути систематичну помилку місця визначення, викликану впливом іоносфери.

Як було сказано вище, в випадку спільної обробки результатів вимірів одночасно по декільком НКА, існує можливість створення математичної моделі іоносфери у просторі. В цьому випадку зручніше всього апроксимувати вертикальну складову  $N_v$ , пов'язану на трасі  $N_n$  виразом:

$$N_n = N_v (N_n / N_v)$$
(6)

де  $N_n / N_v$  – функція нахилоного променя (ФНП), що залежить від кутової висоти НКА над об'єктом.

Найбільш розповсюджена форма запису цієї функції має вигляд:

$$\text{ФНП}(E_l) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{R_e}{R_e + h_{\max}} \right)^2 \cdot \cos(E_l)}},$$
(7)

де  $E_1$  – кут спостереження НКА над обрієм;  $h_{\max} \approx 350$  км – середня висота максимуму електронної щільності іоносферного шару;  $R_e = 6380$  км – радіус Землі.

В якості апроксимуючої функції зручно використовувати багаточлени, наприклад, першого

$$F(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y, \quad (8)$$

або другого порядку

$$F(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy, \quad (9)$$

де  $a$  – вектор оцінюваних параметрів моделі;  $x, y$  – топоцентричні координати під іоносферної точки, що визначається як проекція точки „проколювання” іоносферного шару на земну поверхню.

Для визначення вектора  $a$  методом найменших квадратів при наявності достатньої кількості вимірів складається матриця похідних, яка в другому випадку має вигляд:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & y_1^2 & x_1y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & y_2^2 & x_2y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & y_n^2 & x_ny_n \end{bmatrix}, n \geq 6. \quad (10)$$

Вирішивши систему рівнянь, приведених до лінійного виду, отримуємо оцінку параметрів моделі іоносфери, після чого можна скласти апроксимуючий поліном:

$$\tilde{N}_B(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy. \quad (11)$$

Реалізація цього алгоритму показала, що задовільні результати можуть бути отримані після попередньої обробки величини  $\delta D_{\text{іон}}$  на довгому інтервалі, що обумовлено великим рівнем шумів кодових вимірів.

Разом з перевагами цей метод має значний недолік – для реалізації цього методу необхідно виконувати оцінку ЧГЗ сигналу в аналогових трактах приймача, оскільки величини диференціального міжканального зміщення в іоносфері і в апаратурі ідентичні. Дана обставина потребує виконання калібровки. Відносно СНС ГЛОНАСС використання цього алгоритму без врахування ЧГЗ приймача не має сенсу, оскільки на різних літерних частотах ЧГЗ може сильно відрізнятись. Виключенням є випадок побудови моделі по кожному НКА окремо.

Для СНС GPS ситуація виглядає по-іншому, оскільки ЧГЗ однаковий для всіх каналів прийому сигналу, то він може бути введений в склад оцінюваних параметрів моделі. При цьому апроксимуюча функція буде виглядати наступним чином:

$$\tilde{N}_B(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy + \frac{8\pi^2 \epsilon_0 m}{e^2} f^2 \frac{c \cdot a_6}{\Phi_{\text{НП}}(x, y)}. \quad (12)$$

Як показали результати моделювання, значення параметра  $a_6$  сильно корелює з параметрами  $a_3$  та  $a_4$ ,

що пояснюється коловидним виглядом функції  $1/\Phi_{\text{НП}}(x, y)$ . Однак це не заважає виконувати зворотній перерахунок величини  $\tilde{N}_B(x, y)$  в  $\delta D_{\text{іон}}$ , оскільки дійсна величина ЧГЗ при вирішенні навігаційної задачі методом найменших квадратів входить в склад оцінюваних параметрів разом з величиною розходження шкал часу.

Таким чином, метод складання моделі іоносфери по кодовим вимірам дальності без врахування ЧГЗ приймача для СНС GPS і ГЛОНАСС дає зовсім протилежні результати. В першому випадку позитивний результат: зменшується систематична помилка місцевизначення при збереженні рівня дисперсії; існує можливість використання отриманих параметрів моделі одночастотними приймачами. В другому випадку, зовсім відсутній сенс використання даного методу.

По аналогії з кодовим далекомірним методом можливе визначення іоносферної помилки дальності по фазовим вимірам, при цьому слід очікувати результатів з більш високою точністю [4].

У загальному випадку вимірювання фази несучої на двох когерентних частотах можуть бути представлені у наступному вигляді:

$$\Phi_{L1} = \frac{2\pi}{\lambda_1} (D_{\text{іст}} + \delta D_{\text{троп}} - \delta D_{L1}^{\text{іон}} + N_1\lambda_1); \quad (13)$$

$$\Phi_{L2} = \frac{2\pi}{\lambda_2} (D_{\text{іст}} + \delta D_{\text{троп}} - \delta D_{L2}^{\text{іон}} + N_2\lambda_2),$$

де  $\lambda_1, \lambda_2$  – довжина хвиль прийнятих сигналів;  $N_1, N_2$  – неоднозначності фазових циклів.

При формуванні лінійної комбінації вимірних значень фаз з врахуванням (2), маємо:

$$\begin{aligned} \Phi_{L1}\lambda_1 - \Phi_{L2}\lambda_2 &= \\ &= 2\pi(-\delta D_{L1}^{\text{іон}}(1-\gamma) + (N_1\lambda_1 - N_2\lambda_2)). \end{aligned} \quad (14)$$

Розв'язуючі неоднозначність відносно різниці  $(N_1\lambda_1 - N_2\lambda_2)$ , отримуємо вираз еквівалентний (5):

$$\begin{aligned} \delta D_{L1}^{\text{іон}} &= \\ &= -\frac{(\Phi_{L1} \cdot \lambda_1 - \Phi_{L2} \cdot \lambda_2) / (2\pi) - (N_1\lambda_1 - N_2\lambda_2)}{1-\gamma}. \end{aligned} \quad (15)$$

Даний метод не знайшов широкого використання в апаратурі споживачів із-за важкості розрішення неоднозначності  $(N_1\lambda_1 - N_2\lambda_2)$ , хоча потенційно і має більш високу точність.

Подальшим розвитком цього напрямлення є диференціальний фазовий метод, ідея якого базується на використанні першої різниці величин  $\delta D_{\text{іон}}$ :

$$\Delta(\delta D_{L1}^{\text{іон}}) = \delta D_{L1}^{\text{іон}}(t_2) - \delta D_{L1}^{\text{іон}}(t_1). \quad (16)$$

Величина  $\delta D_{\text{іон}}$  не залежить від величин неоднозначності  $(N_1\lambda_1 - N_2\lambda_2)$ . Фізично це означає, що без особливих труднощів можливо з точністю порядків декількох сантиметрів визначити прирощення

іоносферної помилки за певний інтервал часу. На рис. 2 показані графіки прирощень вказаної помилки для різних НКА відносно моменту часу  $t = 0$ .

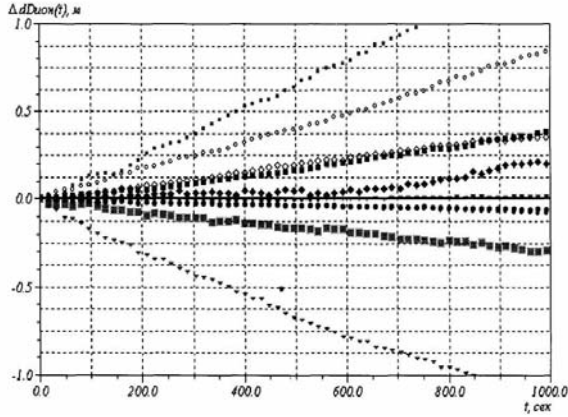


Рис. 2. Прирощення іоносферної помилки у часі для різних НКА

Якщо розглядати прирощення  $\Delta(\delta D^{\text{ион}})$  як різницю іоносферних помилок для двох моментів часу, то з урахуванням (6) можливо записати:

$$\Delta(\delta D^{\text{ион}}) = \frac{e^2}{8\pi^2 \epsilon_0 m f^2} \Delta(N_p); \quad (17)$$

$$\Delta(N_p) = N_b(t_2) \cdot \text{ФНП}(t_2) - N_b(t_1) \cdot \text{ФНП}(t_1),$$

де  $\Delta(N_p)$  – прирощення нахиленого повного електронного змісту (ПЕЗ) за інтервал часу  $(t_1, t_2)$ ;  $N_b(t) = N_b(x, y)$  – величина вертикального ПЕЗ на момент часу  $t$  для точки з координатами  $(x, y)$ ; ФНП  $(t)$  – значення функції нахиленого променя для точки з координатами  $(x, y)$ .

Апроксимуючи  $N_b(t)$  поліномом аналогічним (11), отримуємо вираз, що пов’язує результати вимірювань та параметри моделі іоносфери:

$$\begin{aligned} \Delta(\delta D^{\text{ион}}) = & \frac{e^2}{8\pi^2 \epsilon_0 m f^2} \times \\ & \times \left[ a_0 (\text{ФНП}(x_2, y_2) - \text{ФНП}(x_1, y_1)) + \right. \\ & + a_1 (x_2 \cdot \text{ФНП}(x_2, y_2) - x_1 \cdot \text{ФНП}(x_1, y_1)) + \\ & + a_2 (y_2 \cdot \text{ФНП}(x_2, y_2) - y_1 \cdot \text{ФНП}(x_1, y_1)) + \\ & + a_3 (x_2^2 \cdot \text{ФНП}(x_2, y_2) - x_1^2 \cdot \text{ФНП}(x_1, y_1)) + \\ & + a_4 (y_2^2 \cdot \text{ФНП}(x_2, y_2) - y_1^2 \cdot \text{ФНП}(x_1, y_1)) + \\ & \left. + a_5 (x_2 y_2 \cdot \text{ФНП}(x_2, y_2) - x_1 y_1 \cdot \text{ФНП}(x_1, y_1)) \right]. \end{aligned} \quad (18)$$

Вочевидь, що, при загальній обробці вимірювань прирощень іоносферної помилки відразу по декільком НКА, можливо оцінити параметри моделі. Таким чином, при наявності у зоні видимості достатньої кількості НКА треба визначити параметри іоносфери методом найменших квадратів. При цьому слід звернути увагу на те, що для загальної оброб-

ки допустимо використовувати будь-які навігаційні супутники (GPS, ГЛОНАСС, Galileo та ін.).

Матриця похідних лінійних рівнянь записується наступним чином:

$$\begin{aligned} H_{i,1} &= \text{ФНП}(x_{2i}, y_{2i}) - \text{ФНП}(x_{1i}, y_{1i}); \\ H_{i,2} &= x_{2i} \cdot \text{ФНП}(x_{2i}, y_{2i}) - x_{1i} \cdot \text{ФНП}(x_{1i}, y_{1i}); \\ H_{i,3} &= y_{2i} \cdot \text{ФНП}(x_{2i}, y_{2i}) - y_{1i} \cdot \text{ФНП}(x_{1i}, y_{1i}); \\ H_{i,4} &= x_{2i}^2 \cdot \text{ФНП}(x_{2i}, y_{2i}) - x_{1i}^2 \cdot \text{ФНП}(x_{1i}, y_{1i}); \\ H_{i,5} &= y_{2i}^2 \cdot \text{ФНП}(x_{2i}, y_{2i}) - y_{1i}^2 \cdot \text{ФНП}(x_{1i}, y_{1i}); \\ H_{i,6} &= x_{2i} y_{2i} \cdot \text{ФНП}(x_{2i}, y_{2i}) - x_{1i} y_{1i} \cdot \text{ФНП}(x_{1i}, y_{1i}), \end{aligned} \quad (19)$$

де  $i$  – номер строки матриці (номер вимірювання).

Таким чином, маючи параметри іоносфери, можна записати вираз для зворотного обчислення з метою визначення величини іоносферної помилки вимірювань дальності у вигляді:

$$\delta D_{L1}^{\text{ион}} = \frac{e^2}{8\pi^2 \epsilon_0 m} \cdot \frac{\tilde{N}_b(x, y) \cdot \text{ФНП}(x, y)}{f_{L1}^2}, \quad (20)$$

де  $N_b(x, y)$  – відновлене у відповідності з формулою (12) значення вертикального ПЕЗ.

Порівняльний аналіз методів отримання параметрів моделі іоносфери, показує, що даний алгоритм, краще. В першу чергу це обумовлено високою точністю отриманого результату та меншою кількістю обчислювальних затрат (відсутність необхідності згладжування результату великою кількістю вимірювань). Даний алгоритм має як диференціюючі, так і інтегруючі властивості. Тобто з одного боку відсутній вплив будь-яких систематичних помилок, з іншого боку точність методу зростає зі збільшенням інтервалу вимірювань доплерівського набігу фази, але при цьому необхідно враховувати обертання Землі та можливі варіації іоносфери.

Результати чисельного моделювання показали, що характер вимірювання одержуваної іоносферної помилки відповідає прирощенням, що одержані з результатів вимірювань, що видно з графіків (рис. 3).

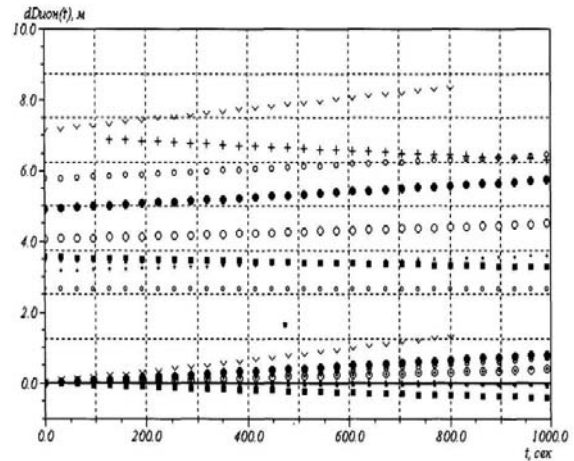


Рис. 3. Одержані іоносферні помилки для різних НКА

## Висновки

Проведене дослідження підтверджує можливість використання двохчастотних фазових вимірювань для обчислення оцінки іоносферної помилки. При цьому потрібно зазначити наступне:

– запропонований метод використання локальної моделі іоносфери для конкретній місцевості підтверджується отриманими теоретичними та експериментальними даними;

– метод отримання локальної моделі іоносфери за фазовими вимірюваннями має диференціюючі та інтегруючі властивості. Перші проявляються у відсутності впливу на результат таких факторів, як: розходження шкал часу, дрейф частоти опорного генератора приймача, невизначеність величини ЧЗ приймача та передавача, релятивістський ефект, тропосферна затримка та ін. Єдиний фактор, який може вплинути на результат, це вимірювання та врахування ЧЗ приймача в інтервалі частот, що приймаються, ширина якого визначається діапазоном доплеровських здвигов та складає  $\pm 10$  кГц, що при частоті несучої більш ніж 1 ГГц дозволяє вважати цю величину малою. Інтегруючі властивості виявляються в зростанні точності при збільшенні інтервалу накопичення доплерівського здвигу фази;

– висока точність фазових вимірювань дозволяє значно зменшити об'єм обчислень за рахунок обробки меншого числа вимірювань, що дозволяє здійснювати моніторинг іоносфери апаратурою споживача у реальному часі;

– диференціальний фазовий метод сумісний з будь-якими навігаційними системами (GPS, ГЛОНАСС, Galileo та ін.). Локальна модель іоно-

сфери, складена по вимірюванням сигналів одних НКА, дійсна для всіх інших.

## Список литературы

1. Яковлев О.И. Космическая радиофизика. – М.: Научная книга, 1996. – 432 с.
2. Гундзе Е., Чжаохань Лю. Мерцания радиоволн в ионосфере // ТИИЭР. – 1982. – Т. 70, N 4. – С. 5.
3. Skone, S. and M. de Jong. Limitations in GPS receiver tracking performance under ionospheric scintillation // *Physics and Chemistry of the Earth*. – 2001. – Part A 26/6-8. – P. 613.
4. Conker R.S., El-Arini M.B., Hegarty C.J., Hsiao T.. Modeling the effects of ionospheric scintillation on GPS/Satellite-Based Augmentation System availability // *Radio Sci.* – 2003. – V. 38, N1. 1001, doi:10.1029/2000RS002604.
5. Afraimovich E.L., Lesyuta O.S. and Voeykov S.V. GPS phase slips on L1-L2 and L1 frequencies during geomagnetic disturbances // *Proceedings of International Beacon Satellite Symposium, June 4-6, 2001. – Boston College, Institute for Scientific Research, Chestnut Hill, MA, USA. – 2001. – P. 191.*
6. Bhattacharyya A., Beach T.L., Basu S., Kintner P.M. Nighttime equatorial ionosphere: GPS scintillations and differential carrier phase fluctuations // *Radio Sci.* – 2000. – V. 35. – P. 209.
7. Aarons J., Mendillo M., Yantosca R. GPS phase fluctuations in the equatorial region during sunspot minimum // *Radio Sci.* – 1997. – V.32. – P. 1535.
8. ICD-GPS-200, Navstar GPS Space Segment / Navigation User Interfaces. Interface Control Document. – 2000.
9. Глобальная Навигационная Спутниковая Система ГЛОНАСС Интерфейсный Контрольный Документ (редакция 5.0). – 2002.

Надійшла до редколегії 27.02.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## УЧЕТ ИОНОСФЕРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ ВО ВРЕМЯ НАВИГАЦИОННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Казакон А.Е., Водяных А.А.

Проведены исследования методов учета ионосферной составляющей ошибки во время проведения навигационных определений с использованием аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем. Обосновано использование локальной модели ионосферы для конкретной местности, которая подтверждена полученными теоретическими расчетами и экспериментальными данными. Предложены мероприятия по улучшению точности местоопределения за счет составления локальной модели ионосферы и использования ее при обработке полученной навигационной информации с использованием аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем.

**Ключевые слова:** ионосферная ошибка, модель, аппаратура потребителей, навигационный космический аппарат, спутниковая навигационная система.

## ACCOUNT OF IONOSPHERE MAKING ERROR DURING DETERMINATIONS OF NAVIGATIONS

Kazakov A.E., Vodyanyh A.A.

Researches of methods of account of ionosphere making error are conducted during the lead through of navigation determinations with the use of apparatus of users of satellite navigational. The use of local model of ionosphere is grounded for concrete locality which is confirmed got the theoretical sacks and experimental information. Measures are offered on the improvement of exactness of due to drafting of local model of ionosphere and use of it at treatment of the got navigation information with the use of apparatus of users of satellite navigational.

**Keywords:** ionosphere error, model, apparatus of users, navigation space vehicle, satellite navigational.