

Аврутов В.В., д.т.н., доцент;  
 Позняк Д.О., студент;  
 КПІ ім. Ігоря Сікорського, каф. КІОНС, ПБФ

## КОМПЕНСАЦІЯ МЕТОДИЧНОЇ ПОХИБКИ АВТОНОМНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ШИРОТИ

**Вступ.** Сьогодні основними засобами навігації є супутникові навігаційні системи (СНС). Робота СНС не є автономною, тому що може бути порушена системами радіоелектронної боротьби.

Автономними навігаційними системами є інерціальні навігаційні системи. Для їх нормальної роботи необхідно мати початкові значення координат місцезнаходження. Початкові координати відомі, якщо рух транспортних засобів здійснюється з місць з відомими координатами (аеропорти, космодроми або морські порти).

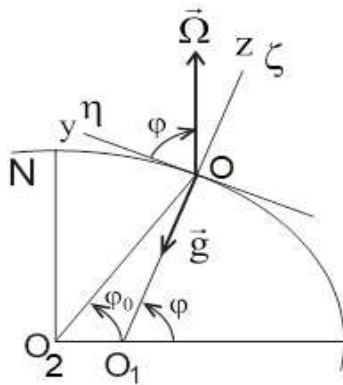


Рис. 1. Геодезична та геоцентрична широти

Якщо ж об'єкт стартує з нових місць, то початкові значення координат місця можна визначити, використовуючи астрономічні пристрої, або, застосовуючи приймачі супутникової навігаційної системи або засоби радіозв'язку.

Однак астрономічні методи залежать від погодних умов, а супутникові засоби і засоби радіозв'язку не є автономними.

**Постановка проблеми.** Розглянемо автономний метод визначення широти, який використовує інерціально-вимірювальний модуль (ІВМ) [1]. ІВМ повинен містити як мінімум три акселерометра, три гіроскопа - датчика кутової швидкості, а також сервісні електронні схеми. Введемо в розгляд наступні системи координат:  $O\xi\eta\zeta$  – географічна система координат (рис.1), причому вісь  $O\eta$  спрямована на північ, вісь  $O\xi$  – на схід, а  $O\zeta$  – місцева вертикаль,  $Oxyz$  – система координат, пов'язана з ІВМ.

Позначимо через  $\varphi$  – геодезичну широту місця,  $\varphi_0$  – геоцентричну широту місця,  $\vec{g}$  – вектор прискорення сили тяжіння,  $\vec{\Omega}$  – вектор кутової швидкості обертання Землі. На основі скалярного добутку двох векторів отримана формула для визначення географічної широти:

$$\sin \varphi = -\frac{1}{\Omega \cdot g} (\Omega_x \cdot g_x + \Omega_y \cdot g_y + \Omega_z \cdot g_z). \quad (1)$$

Отже, для обчислення широти місця необхідно знати значення проєкцій кутової швидкості обертання Землі і проєкції прискорення сили тяжіння на осі, пов'язані з ІВМ.

Інструментальними похибками визначення широти місця є похибки, які викликані похибками гіроскопів і акселерометрів. Крім того, існує методична похибка, викликана різницею між геоцентричною та геодезичною широтами. Якщо за еталонне значення широти приймати геоцентричне значення широти, отримане від приймача, наприклад, GPS, то таке значення буде відрізнятися від геодезичного значення широти. Визначимо таку методичну похибку, тобто різницю (поправку) між геодезичною  $\varphi$  і геоцентричною  $\varphi_0$  широтами.

**Методологія досліджень.** Відомо співвідношення між геоцентричною  $\varphi_0$  і геодезичною  $\varphi$  широтами [2]:

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{b_i^2}{a_i^2} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

де  $a_i$ ,  $b_i$  – велика і мала півосі земного еліпсоїда.

Якщо в якості моделі Землі приймають еліпсоїд Красовського, то  $a_1 = 6378245$  м,  $b_1 = 6356863$  м [3], якщо ж в якості референц-еліпсоїда приймають модель WGS-84, то  $a_2 = 6378137$  м,  $b_2 = 6356752.3142$  м [4].

Позначимо різницю (поправку) між геодезичною  $\varphi$  і геоцентричною  $\varphi_0$  широтами через  $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$ , визначимо її за виразом:

$$\Delta\varphi_i = \operatorname{arctg} \frac{\left(1 - \frac{b_i^2}{a_i^2}\right) \operatorname{tg} \varphi}{1 + \frac{b_i^2}{a_i^2} \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi}, \quad i = 1, 2. \quad (3)$$

**Результати.** На рис.2 представлено графічні залежності  $\Delta\varphi_i$  від геодезичної  $\varphi$  широти для двох моделей референц-еліпсоїда Землі: 1-а лінія – модель Красовського, 2-я – модель WGS-84. Графічно криві співпадають. Однак, числові значення залежності (3) відрізняються для двох моделей референц-еліпсоїда Землі.

Похибки лінійної координати становлять  $\Delta s_i = \Delta\varphi_i \cdot R$ , де  $R$  – радіус Землі. Похибка визначення лінійної координати, що залежить від різниці  $\Delta\varphi = |\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2|$ , визначається аналогічно  $\Delta s = \Delta\varphi \cdot R$ .

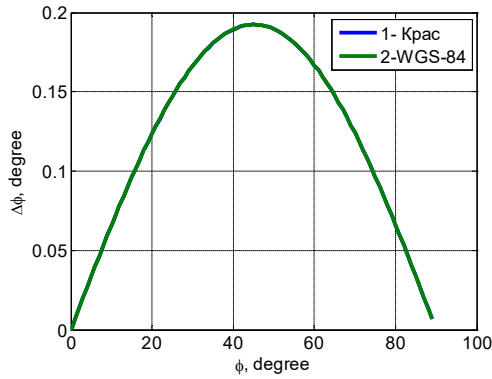


Рис. 2. Залежність  $\Delta\phi$  від геодезичної широти

Встановлено, що необхідно враховувати поправку  $\Delta\phi_i$ , викликану відміною геодезичної широти від геоцентричної широти.

#### Джерела

1. Аврутов В.В. Автономное определение начальной широты с помощью инерциально-измерительного модуля // Прикл. механика. – 2018. – 54, №5. – с. 116-122.
2. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.
3. Одинцов А.А. Теория и расчет гироскопических приборов. – К.: Вища шк., 1986. – 392 с.
4. Titterton D. H. and Weston J. L. Strapdown Inertial Navigation Technology. - IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 17, 2004. – pp. 558.

На широті  $45^\circ$  (на південь від м. Одеса) спостерігається максимум величини  $\Delta\phi$ . Для даної широти похибка лінійної координати  $\Delta s$ , викликана відмінністю моделей референц-еліпсоїда Землі, складе 3,05 м, а похибка визначення лінійної координати більша за 21 км.

**Висновки.** Розглянуто методичну похибку автономного визначення широти місця за допомоги ІВМ, викликану різницею між геоцентричною та геодезичною широтами.