

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ВЕКТОРА НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ ЗА ЗНАЧЕННЯМ КУТА МАГНІТНОГО НАХИЛЕННЯ

© Раєвський М., 2011

Реалізована процедура визначення вертикальної складової вектора напруженості магнітного поля Землі за значенням кута нахилання. Вертикальна складова магнітного поля Землі використовується при розрахунку істинного азимута для корекції можливого нахилу платформи з чутливими елементами.

Ключові слова: магнітне поле, азимут, магнітометр, кут магнітного нахилання, широта.

The procedure of determining the vertical component of the Earth magnetic field is implemented. The procedure is based on using of dip angle. The vertical component of the Earth magnetic field is used for the correction of potential platform inclination when the true azimuth is calculated.

Keywords: magnetic field, azimuth, magnetometer, dip angle, latitude.

Вступ

На сучасному етапі розвитку датчиків напруженості магнітного поля Землі поширення набули цифрові (або електронні) компаси.

Цифрові компаси використовуються у транспортних засобах різного призначення, мобільних пристроях для орієнтації пристрою у просторі відносно магнітних полюсів Землі.

Інформація щодо орієнтації пристрою відносно магнітних полюсів використовується у картографічних програмах з метою навігації об'єкта на місцевості.

Постановка задачі

Магнітне поле Землі (геомагнітне поле) у кожній точці простору характеризується вектором напруженості, напрямком якого визначається у прямокутній системі координат горизонтальною (яка складається з двох складових: північної та східної) та вертикальною складовою. Вектор напруженості магнітного поля може бути також описаний за допомогою трьох елементів Землі: вертикальної складової напруженості, кута магнітного нахилання (кут між вертикальною складовою та площиною географічного меридіана) та кута між вектором напруженості та площиною горизонту.

Алгоритм визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі представлено у роботі [1]. Під визначенням горизонтальної складової слід розуміти отримання інформації стосовно рівня напруженості магнітного поля залежно від орієнтації платформи з чутливими елементами у горизонтальній площині. Значення напруженості, визначені за допомогою чутливих елементів, використовуються для визначення положення платформи відносно орієнтира – магнітного полюса Землі. В якості чутливих елементів для визначення горизонтальної складової вектора напруженості магнітного поля Землі авторами [1] було запропоновано використовувати двовісний магнітометр НМС1052L (Honeywell) [2].

Для визначення вертикальної складової вектора напруженості магнітного поля Землі, величина якої використовується для компенсації кутів нахилу платформи електронного компаса,

необхідно знайти кут магнітного нахилення (dip angle). Необхідно зазначити, що величина кута магнітного нахилення (рис.1) у першому наближенні залежить від широти (L – широта місцевості в градусах) місцевості.

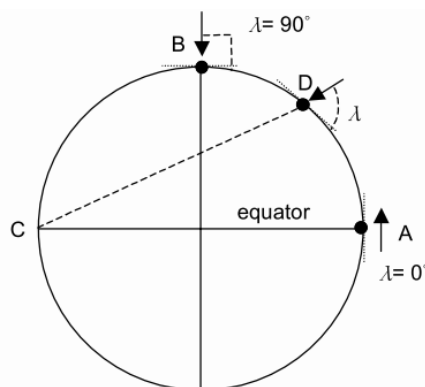


Рис. 1. Фізичний сенс кута магнітного нахилення

Тому метою роботи є аналітичне (без використання чутливого елемента) визначення величини вертикальної складової вектора напруженості магнітного поля Землі. Вертикальна складова вектора напруженості використовується для визначення кутів нахилу платформи електронного компаса. Коректний розрахунок кутів нахилу платформи електронного компаса є необхідним критерієм для визначення істинного азимута.

Розрахунок вертикальної складової вектора напруженості магнітного поля Землі

Кут магнітного нахилення (КМН) у першому наближенні визначається за допомогою виразу [3, 4]:

$$I = a \tan(2 \cdot \tan(L)) \quad (1)$$

Для м. Сміли Черкаської області України ($L = 49$ градусів, 12 хвилин) кут КМН дорівнюватиме:

$$I = a \tan(2 \cdot \tan(49,2)) \cdot \frac{180}{p} = 66,65^\circ$$

Цей вираз дає змогу визначити КМН у першому наближенні. Використовуючи значення КМН у першому наближенні (де j, q – кути крену (roll angle) та тангажу (pitch angle), X_{REAL}, Y_{REAL} – дані, що отримуються від датчиків) визначається вертикальна складова вектора напруженості:

$$Z_{ES} = \frac{\sin(I) + X_{REAL} \cdot \sin(q) - Y_{REAL} \cdot \cos(q) \cdot \sin(j)}{\cos(q) \cdot \cos(j)} \quad (2)$$

Графік вертикальної складової вектора напруженості зображено на рис.2. На рисунку також зображено графіки, що також відображують північну та східну горизонтальні складові [5,6].

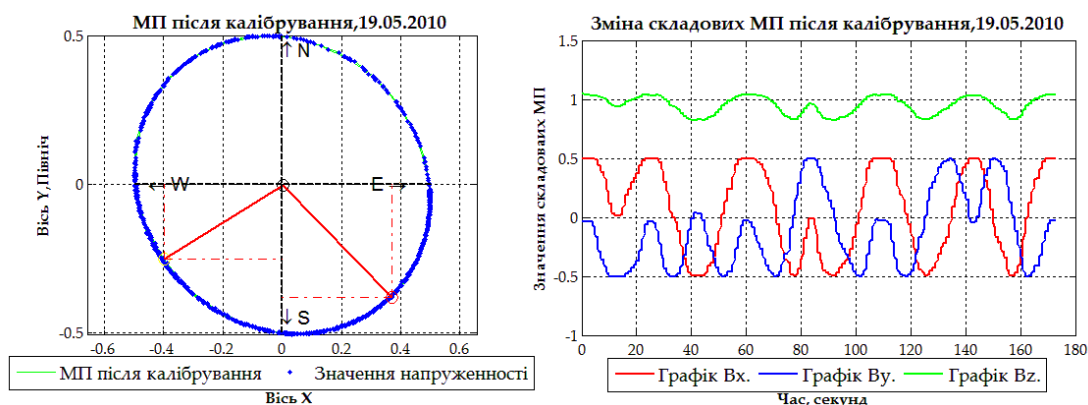


Рис. 2. Складові магнітного поля Землі

Розрахунок кутів нахилу платформи з чуттєвими елементами

Маючи визначені за допомогою магнітометрів значення складових магнітного поля за осями X, Y й аналітично визначені значення вертикальної складової за віссю Z, можливо реалізувати процедуру визначення горизонтальних компонент вектора напруженості магнітного поля Землі з врахуванням кутів нахилу платформи компаса (j, q – кути крену та тангажу, X_{REAL}, Y_{REAL} – дані, що отримують від датчиків) [6,7]:

$$\begin{cases} X_{TILT C} = Y_{REAL} \cdot \cos(q) + Y_{REAL} \cdot \sin(q) \cdot \sin(j) + Z_{ES} \cdot \sin(q) \cdot \cos(j) \\ Y_{TILT C} = Y_{REAL} \cdot \cos(j) - Z_{ES} \cdot \sin(j) \end{cases} \quad (3)$$

Графіки визначених горизонтальних складових з врахуванням кутів нахилу наведено на рис.3.

У результаті внесення поправок у висхідні дані було визначено кути нахилу платформи вздовж кожної із горизонтальної осей та компенсовано спотворення картини напруженості магнітного поля Землі, що виникає.

Отримані в результаті компенсації кутів нахилу величини не є кінцевими для розрахунку істинного азимута.

Для визначення азимута ($Azimuth = a \tan(X_{REAL}/Y_{REAL})$) використовують значення складових вектора напруженості магнітного поля, що отримують після компенсації Soft Iron Distortion [1] та реалізації відповідних алгоритмів.

За цими міркуваннями визначення азимута за значеннями $X_{TILT C}$ та $Y_{TILT C}$ є неприпустимим та некоректним, а істинний азимут розраховують тільки після компенсації Soft Iron Distortion.

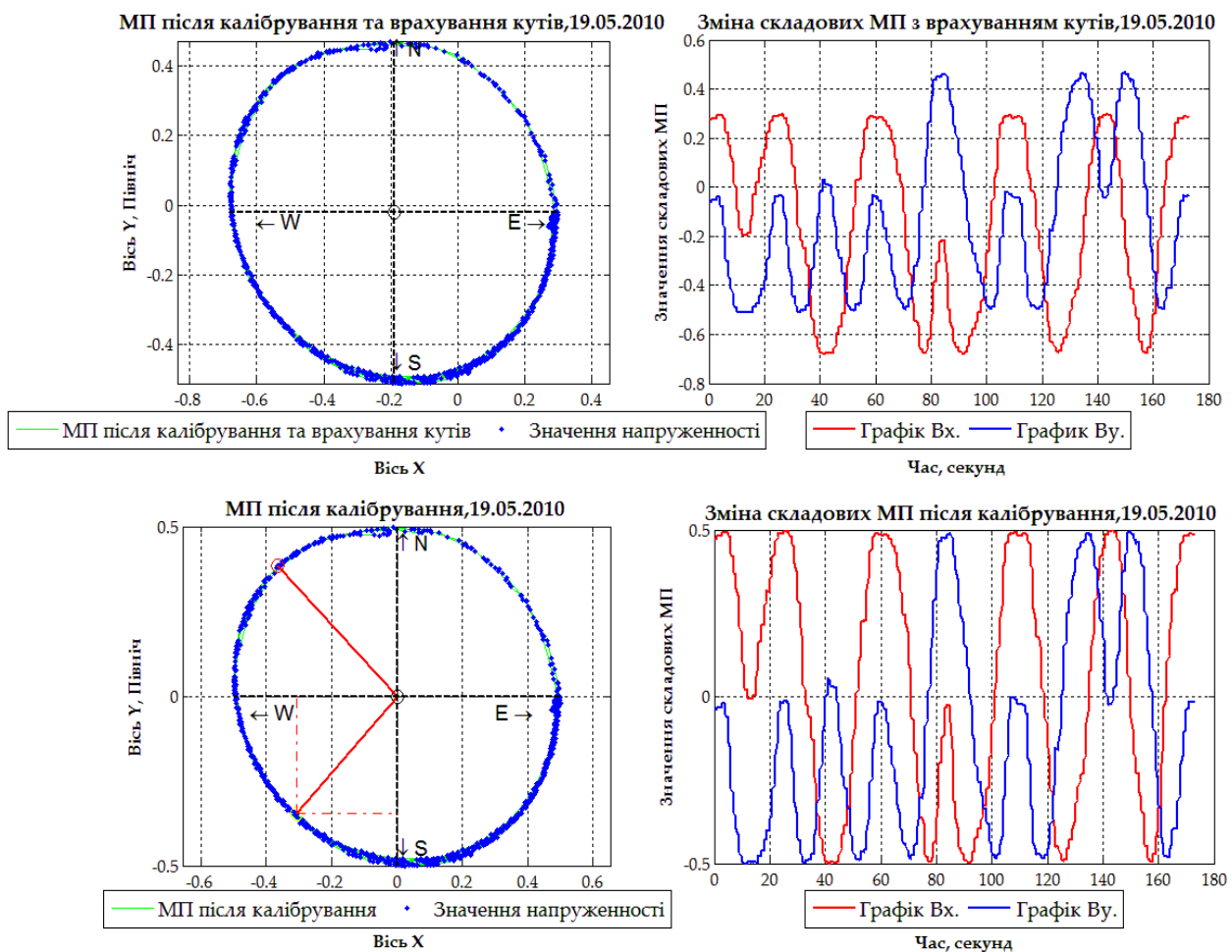


Рис. 3. Магнітне поле Землі після компенсації кутів нахилу платформи

Розрахунок розширеного кута нахилення

Використовуючи значення горизонтальних та вертикальної складових вектора напруженості магнітного поля Землі, розраховується значення розширеного кута магнітного нахилення – РКМН (Extended Dip Angle, EDA) [3,4]:

$$I_{EXTENDED} = a \tan \left(\frac{X_{REAL_n} \cdot \sin(q) \cdot \sin(j) - \cos(j) \cdot \tan(Azimuth) - Y_{REAL} \cdot \cos(j)}{\sin(q) \cdot \cos(j) \cdot \tan(Azimuth) - \sin(j)} \right) \quad (4)$$

При використанні виразу (4) для визначення РКМН (рис.4) можливим є факт виникнення наступних складностей:

1. Знаменник виразу (4) може дорівнювати нулеві. Ця ситуація матиме місце у таких випадках:

- платформу із чутливими елементами розташовано суто горизонтально – кут тангажу дорівнюватиме нулеві;
- платформу із чутливими елементами розташовано суто перпендикулярно до поверхні земної кулі, а кут крену при цьому дорівнюватиме 90 градусів.

При виникненні однієї з описаних ситуація неминуче ділення на 0.

2. Необхідно володіти інформацією щодо азимута, визначеного у першому наближенні.

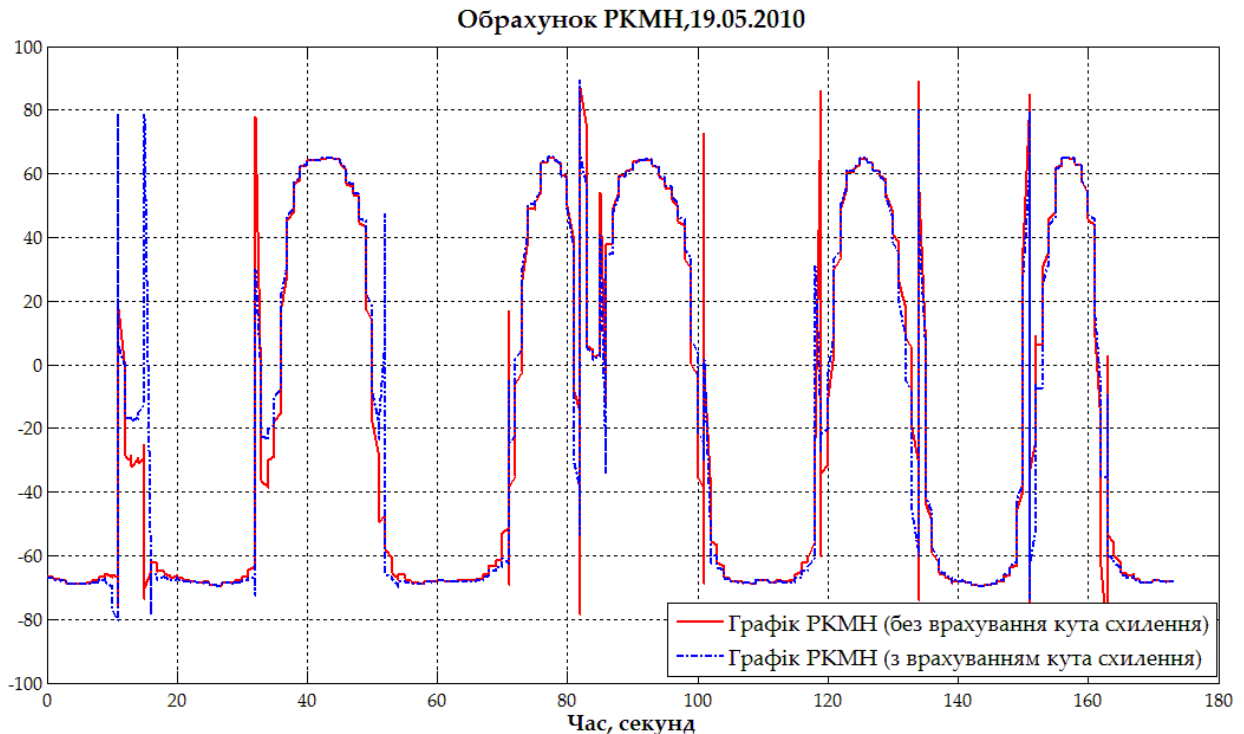


Рис. 4. Розширений кут магнітного нахилення (Extended Dip Angle, EDA)

З метою запобігання виникненню вищезгаданих негативних явищ необхідним є наступне:

1. Визначення азимута під час знаходження пристрою/платформи у горизонтальній площині не визначаючи РКМН, але, використовуючи значення КМН, визначене аналітично за широтою місцевості. Отримана інформація щодо азимута може бути використана для таких розрахунків.

2. Після визначення азимута платформу із чутливими елементами необхідно повернути впродовж однієї з осей, X або Y. В результаті повороту кут тангажу вже не буде нульовим; ділення на нуль та відповідна невизначеність стануть неможливими.

Використовуючи значення азимута та виміряні значення кутів нахилу, реалізується процедура розрахунку $I_{EXTENDED}$.

Масив значень, який являє собою результат розрахунку розширеного кута магнітного нахилення для кожної точки шляху, пройденого транспортним засобом, використовується для уточненого розрахунку вертикальної складової напруженості магнітного поля Землі [3,4]:

$$Z_{EXT_ES} = \frac{\sin(I_{EXTENDED}) + X_{REAL} \cdot \sin(q) - Y_{REAL} \cdot \cos(q) \cdot \sin(j)}{\cos(q) \cdot \cos(j)} \quad (5)$$

Використовуючи значення Z_{EXT_ES} , реалізується процедура перерахунку кутів нахилу [6]:

$$\begin{cases} X_{TILTC EX} = Y_{REAL} \cdot \cos(q) + Y_{REAL} \cdot \sin(q) \cdot \sin(j) + Z_{EXT_ES} \cdot \sin(q) \cdot \cos(j) \\ Y_{TILTC EX} = Y_{REAL} \cdot \cos(j) - Z_{EXT_ES} \cdot \sin(j) \end{cases} \quad (6)$$

Висновки

1. Представлений алгоритм дає змогу визначити вертикальну складову вектора напруженості магнітного поля Землі за значення кута магнітного нахилення.
2. Алгоритм визначення вертикальної складової вектора напруженості реалізує частину процедур та функцій з набору процедур та функцій у складі загального алгоритму електронного компасу [1], який містить двовісний датчик магнітного поля Землі та інклінометр, реалізований на основі двовісного акселерометру. Елементи, що входять до складу компасу, мають цивільне призначення, їх показники точності є незадовільними для військового використання.
3. Кут магнітного нахилення в першому наближенні визначається за величиною поточної широти місцевості. Надалі кут нахилення перераховується з метою уточнення.
4. Вертикальна складова вектора напруженості магнітного поля, що визначається за значенням кута магнітного нахилення, використовується для визначення кутів нахилу платформи компаса з метою коригування спотворень, які можливі при нахилах.
5. Корекція нахилу платформи необхідна для визначення істинного азимута – кута між напрямом на північний полюс Землі та напрямом руху об'єкта.
6. За відсутності етапу корекції нахилу платформи із чутливими елементами визначити істинний азимут неможливо – отримані величини не відповідатимуть реальності.

1. Раевский Н.В., Морозов Ю.В. *Определение горизонтальных составляющих магнитного поля Земли при помощи магнетометров в составе электронного компаса // Реєстрація, зберігання та обробка даних. – К., 2010. – Т.12, №3. – С.25–35.* 2. *Sensor Products Data Sheet. Dual Axis Magnetic Sensor HMC1052L. – Honeywell Solid State Electronics Center., – 2006, http://www.datasheetcatalog.org/datasheets2/15/155428_1.pdf.* 3. Seong Yun Cho, Chan Gook Park. *A Calibration Technique for a Two-Axis Magnetic Compass in Telematics Devices // ETRI Journal, – Vol. 27, №3, 2005. – P. 281-288.* 4. Seong Yun Cho, Chan Gook Park. *Tilt compensation algorithm for 2-axis magnetic compass// ELECTRONIC LETTERS, – vol.39, №22, 2003.* 5. Mohinder S. Grewal, Angus P. Andrews. *Kalman Filtering: Theory and Practice using Matlab, Second Edition. – Wiley & Sons Interscience, 2001. – P. 114-165.* 6. Ю.Ф. Лазарев. *Начала программирования в среде MatLAB: Учебное пособие. – К.: НТУУ "КПИ", 2003. – С. 12–140.* 7. Valenti Chris. *Designing a Digital Compass Using the PIC18F2520 // Microchip Technology Inc., DS00996A. – 2005. – P.5–12*