

УДК 550.37:550.837.214

## ПЕРЕРАХУНОК МАГНІТОВАРІАЦІЙНИХ ДАНИХ З ДОВІЛЬНОЇ ДО ГЕОМАГНІТНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ

**Б.Т. Ладанівський**

*Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,  
вул. Наукова, 3-б, 79060, м. Львів, Україна, borys@cb-igph.lviv.ua*

Описано алгоритм перерахунку магнітоваріаційних даних, отриманих при довільній орієнтації датчиків поля до геомагнітної системи координат. Потреба в такому перерахунку виникає, коли при експериментальних спостереженнях неможливо, з різних причин, установити датчик в потрібне положення. Алгоритм базується на формулах сферичної тригонометрії.

**Пересчет магнитовариационных данных из произвольной к геомагнитной системе координат.**  
Б.Т. Ладанівський

**Реферат.** Описан алгоритм пересчета магнитовариационных данных, полученных при произвольной ориентации датчиков поля к геомагнитной системе координат. Потребность в таком пересчете возникает, когда при экспериментальных наблюдениях невозможно, по разным причинам, установить датчики в необходимое положение. Алгоритм базируется на формулах сферической тригонометрии.

**Reduction of Magnetovariational Data from Arbitrary to Geomagnetic Reference System.**  
B. Ladanivsky

**Abstract.** The algorithm for reduction of magnetovariational data acquired in a arbitrary reference system to the geomagnetic one is described. Such a reduction is needed if, for some reason, it is impossible to set sensors correctly for data acquisition. The algorithm is based on spherical trigonometry formulas.

**Key words:** magnetovariational data, geomagnetic reference system, spherical trigonometry.

### 1. Вступ

Геоелектричні дослідження спрямовані на вивчення розподілу електропровідності, а особливо на виявлення її аномалій, котрі своєю чергою пов'язані з будовою та речовинним складом земних надр, тектонічними процесами, що в них протікають. Електромагнітні методи геофізики дозволяють вивчати електропровідність гірських порід, її розподіл з глибиною та по латералі, що дає можливість досліджувати склад та фізичний стан земних надр, геодинамічні процеси у земній корі та верхній мантії. Результати електромагнітних зондувань є край важливими для побудови комплексних геолого-геофізичних моделей.

За період антарктичного літа грудень 2007 р. – лютий 2008 р. силами учасників сезонного загону 13-ї Української антарктичної експедиції та зимівниками 12-ї експедиції виконано магнітоваріаційні (МВ) спостереження в шести пунктах на островах (Darboux, Port Lokroy, Port Charcot, Varchans) та континенті (Mount Waugh, Rasmussen) в районі розташування Української антарктичної станції (УАС) Академік Вернадський. Крім згаданих вище, у наявності є дані геомагнітної обсерваторії Argentine Islands (AIA), котра неперервно працює на острові Галіндез, та дані МВ спостережень, виконаних у 2005 р. на островах Peterman та Barthelot сезонним загonom 10-ї та зимівниками 9-ї експедицій. Таким чином, для геоелектричних досліджень є в наявності дані МВ спостережень у дев'яти пунктах регіону.

Практично повна відсутність на островах у районі УАС Академік Вернадський осадових порід не дозволяє в польових умовах з достатньою точністю зорієнтувати МВ давач станції строго горизонтально та в геомагнітній системі координат  $HDZ$ , як це зазвичай робиться при проведенні подібних досліджень на інших континентах у середніх та низьких широтах. Таким чином, отримані в Антарктиді МВ польові експериментальні дані для подальшого використання необхідно в першу чергу перерахувати в геомагнітну систему координат. Подібна проблема виникає при проведенні морських донних МВ чи магнітотелуричних спостережень. Практично неможливо передбачити орієнтацію давачів магнітометрів при опусканні платформи з приладами на морське дно. Приклад необхідного перерахунку системи координат можна знайти в документації до донної магнітної станції (LEMI-301, 2001). Проте наведені там формули розрахунку кутів повороту, отримані за допомогою апарата тригонометрії на площині, вийшли досить громіздкими та незрозумілими, і в документації до приладу логіку їх виведення не описано.

## 2. Опис алгоритму

$HDZ$  – геомагнітна система координат, у котрій вісь  $H$  спрямована вздовж геомагнітного меридіана в напрямку на північ, вісь  $D$  – перпендикулярно до  $H$  в напрямку на схід, а вісь  $Z$  – вертикально вниз. Блок давачів метео-магнітних станцій LEMI-017 та LEMI-017m, котрі використовувались при проведенні МВ спостережень в Антарктиді, для подібних ситуацій спеціально обладнано двома нахиломірами, напрямки осей котрих співпадають з напрямками давачів горизонтальних компонент магнітного поля, що дозволяє коректно виконати необхідний перерахунок.

Проблема, що виникає з орієнтацією давачів, у загальному випадку зображена на рис. 1. Перерахунок даних в геомагнітну систему координат  $HDZ$  необхідно здійснювати шляхом виконання трьох незалежних поворотів координатної системи давача МВ станції, базуючись на показниках двох нахиломірів, вмонтованих у давач, котрі реєструють кути його відхилення від горизонтального положення  $\alpha$  і  $\beta$ .

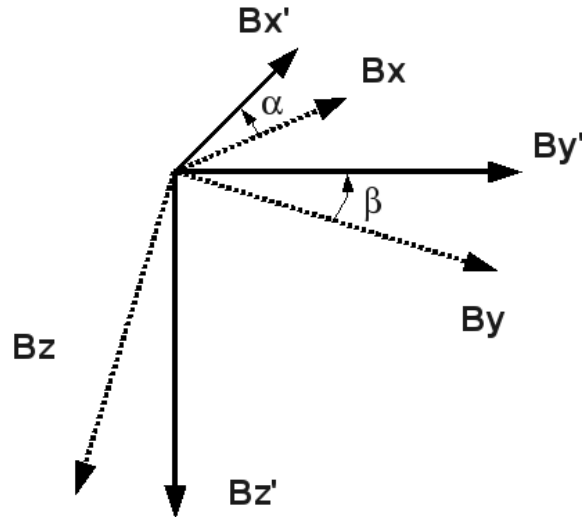


Рис. 1. Поворот осей координатної системи давача в горизонтальну площину.  $B_x, B_y, B_z$  – значення компонент магнітного поля в системі координат давача.  $B_{x'}, B_{y'}, B_{z'}$  – значення компонент магнітного поля після повороту осей  $X$  та  $Y$  у горизонтальну площину.  $\alpha, \beta$  – кути відхилення осей  $X$  та  $Y$  відповідно від горизонтальної площини.

Перший поворот здійснюється навколо осі  $B_y$  у площині  $B_x-B_z$  на величину кута  $\alpha_1$  для приведення компоненти  $B_x$  у горизонтальну площину згідно з формулами:

$$\begin{aligned} B_{x'} &= B_x \cdot \cos(\alpha_1) + B_z \cdot \sin(\alpha_1) \\ B_{z_p} &= -B_x \cdot \sin(\alpha_1) + B_z \cdot \cos(\alpha_1), \end{aligned}$$

де  $B_{z_p}$  – проміжне значення компоненти  $B_z$ .

Визначення кута  $\alpha_1$  є найбільш складним і неочевидним в описуваному алгоритмі. Для простоти розуміння та розрахунків зручно скористатися формулами тригонометрії на сфері, а саме формулою теореми синусів, котра встановлює пропорційність між синусами сторін і синусами протилежних їм сторонам кутів сферичного трикутника (Корн, Корн, 1978).

Розташуємо центр системи координат давачів у центрі одиничної сфери (рис. 2).

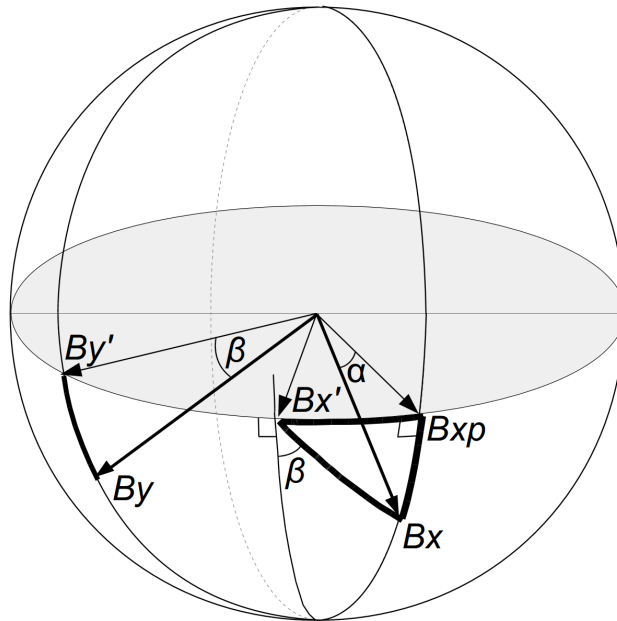


Рис. 2. Визначення кута першого повороту системи координат на одиничній сфері.

При повороті системи координат навколо осі  $B_y$  у площині  $B_x-B_z$  кінець одиничного вектора  $B_x$  опише на поверхні одиничної сфери дугу  $B_x-B_{x'}$ , а оскільки сфера одинична, кутова величина дуги  $B_x-B_{x'}$  дорівнюватиме шуканому куту  $\alpha_1$ . Оскільки вектор  $B_{x_p}$  є проекцією вектора  $B_x$  на горизонтальну площину, кут  $B_x-B_{x_p}-B_{x'}$  є прямим і його величина дорівнюватиме 90 градусам. У сферичному трикутнику  $B_x-B_{x_p}-B_{x'}$  нам ще відома кутова величина сторони  $B_x-B_{x_p} = \alpha$ , котра дорівнює відхиленню осі  $X$  давачів від горизонтального положення і реєструється відповідним нахиломіром. Також можна легко розрахувати величину кута  $B_x-B_{x_p}-B_{x'}$ . Оскільки вектори  $B_x$  та  $B_y$  ортогональні, а  $B_{x'}$  знаходиться в горизонтальній площині, отже величина кута  $B_x-B_{x_p}-B_{x'} = \beta$  котра дорівнює відхиленню осі  $Y$  давачів від горизонтального положення і також реєструється відповідним нахиломіром. Скориставшись теоремою синусів для сферичного трикутника  $B_x-B_{x_p}-B_{x'}$ , можна записати:

$$\frac{\sin(\pi/2)}{\sin(\alpha_1)} = \frac{\sin(\pi/2 - \beta)}{\sin(\alpha)}$$

звідки величина шуканого кута повороту

$$\alpha_1 = \arcsin \left[ \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\pi/2 - \beta)} \right]$$

де  $\alpha, \beta$  – кути відхилення осей давачів магнітного поля  $X$  та  $Y$  відповідно від горизонтальної площини (рис. 1),  $\sin(\pi/2) = 1$ .

Величину кута  $\alpha_1$  можна також отримати виходячи з формул теореми косинусів та аналогії Непера для сферичного трикутника, але в цьому випадку кінцева формула виходить надто громіздкою, даючи такий же результат.

Наступний поворот здійснюється навколо осі  $Bx'$  у площині  $Bx'-Bz$  на величину кута  $\beta$ , для приведення компоненти  $Bz$  в горизонтальну площину. Слід зазначити, що вісь  $Bx'$  уже знаходиться в горизонтальній площині. Поворот здійснюється за допомогою аналогічних формул:

$$\begin{aligned} By' &= By \cdot \cos(\beta) + Bz \cdot \sin(\beta) \\ Bz' &= -By \cdot \sin(\beta) + Bz \cdot \cos(\beta) \end{aligned}$$

де  $Bz$  – проміжне значення компоненти  $Bz$ , отримане на попередньому етапі алгоритму.

У результаті таких дій компоненти  $Bx'$  та  $By'$  магнітного поля буде приведено до горизонтальної площини, а компонента  $Bz'$  буде спрямована вертикально вниз. Завдяки використанню абсолютних значень постійних складових горизонтальних компонент  $Bx'$  та  $By'$ , отриманих у результаті описаних вище поворотів, визначається кут  $\gamma$  (рис. 3) повороту координатної системи в горизонтальній площині  $Bx'-By'$  навколо вертикальної осі  $Bz'$ :

$$\gamma = \arctan(By'/Bx').$$

Далі здійснюється останній, третій поворот координатної системи навколо осі  $Bz'$  до геомагнітної системи координат  $HDZ$  (рис. 3):

$$\begin{aligned} Bx'' &= Bx' \cdot \cos(\gamma) + By' \cdot \sin(\gamma) \\ By'' &= -Bx' \cdot \sin(\gamma) + By' \cdot \cos(\gamma) \end{aligned}$$

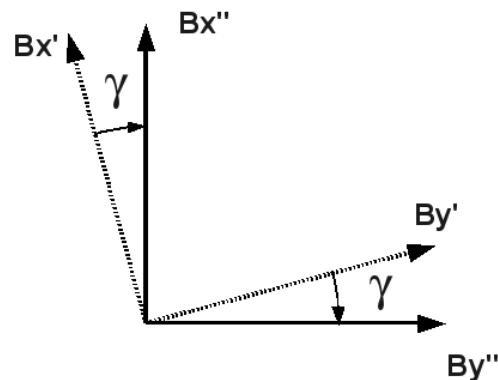


Рис. 3. Поворот компонент поля в горизонтальній площині до геомагнітної системи координат  $HDZ$ .  $Bx', By'$  – значення компонент магнітного поля в горизонтальній площині після корекції нахилу давача.  $Bx'', By''$  – значення горизонтальних компонент магнітного поля в системі  $HDZ$ .  $\gamma$  – кут повороту.

Б.Т. Ладанівський. ПЕРЕРАХУНОК МАГНІТОВАРІАЦІЙНИХ ДАНИХ З ДОВІЛЬНОЇ ДО ...

На закінчення слід зазначити, що кути нахилу осей  $\alpha, \beta$  визначаються шляхом усереднення даних реєстрації нахиломірів на протязі всієї довжини запису даних. Таким чином нівелюється залежність згаданих вище даних від температури. Кут повороту  $\gamma$  теж визначається за усередненими на всій довжині реєстрації даних значеннями компонент поля  $B_x'$  та  $B_y'$ .

### 3. Висновки

У статті описано алгоритм перерахунку магнітоваріаційних даних, отриманих при довільній орієнтації давачів поля у геомагнітну систему координат. Алгоритм створено для потреб обробки даних магнітоваріаційних спостережень, проведених на островах в околицях УАС Академік Вернадський, де локальні умови експериментальних спостережень не дозволяли зорієнтувати блок давачів магнітоваріаційної станції у геомагнітній системі координат. Алгоритм базується на формулах сферичної тригонометрії.

**Подяка.** Виконання описаної роботи частково фінансувалося з договору № Н/15-2012 між НАНЦ та КВІГФ НАН України.

### Література

**Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М. – Наука. – 1978. – 832 стр.

**Sea Bed Magnetic Station LEMI-301.** Technical Description and Operating Instruction., Lviv., Lviv Centre of Institute for Space Research. 2001. Pp.31.