

Міністерство освіти і науки України
Міжнародний економіко-гуманітарний університет
імені академіка
Степана Дем'янчука

Р. М. Літнарівч

**Встановлення зв'язку між
географічною і геомагнітною
системами координат**

Частина 2

м. Рівне, 2006

УДК 629.123.053.12

Літнарівч Р.М. Встановлення зв'язку між
географічною і геомагнітною системами координат.
Частина 2. МЕНУ, Рівне, 2006, - 47ст.

Рецензенти:

В.Г.Бурачек, доктор технічних наук, професор
Є.С.Парняков, доктор технічних наук, професор
В.О.Боровий, доктор технічних наук, професор

Відповідальний за випуск:

Й.В.Джунь, доктор фізико-математичних наук,
професор

Встановлений зв'язок між географічною і геомагнітною системами координат. Приводиться вивід формул і даються приклади обчислень.

Для спеціалістів, які займаються вивченням геомагнітного поля Землі.

Буде корисна студентам-географам і аспірантам.

Connection is set between the geographical and geomagnetical systems of co-ordinates. A conclusion over of formulas is brought and the patterns of calculations are set.

For specialists which are engaged in the study of the geomagnetical field of Earth.

Will be useful students-geographers and graduate students.

© Р.М.Літнарівч

Передмова

	Стор.
1. Встановлення зв'язку між географічною і геомагнітною системами координат.....	4
2. Визначення азимута і віддалі між двома станціями спостережень.....	11
3. Визначення координат станції спостереження.....	19
4. Встановлення залежності між кутом нахилу магнітної стрілки і геомагнітною широтою пункту спостережень.....	22
5. Апроксимація залежності вертикальної складової B_z індукції магнітного поля Землі від геомагнітної широти.....	27
6. Апроксимація залежності горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі від геомагнітної широти.....	31
7. Апроксимація залежності індукції поля однорідного намагнічування земної кулі від геомагнітної широти.....	33
8. Апроксимація залежності магнітного моменту земної кулі від широти.....	35
9. Дослідження залежності сили струму тангенціонального гальванометра від широти пункту спостереження.....	37
10. Представлення вертикальної складової індукції геомагнітного поля Землі через горизонтальну.....	42
Висновки.....	43
Література.....	45

1. ВСТАНОВЛЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ГЕОГРАФІЧНОЮ І ГЕОМАГНІТНОЮ СИСТЕМАМИ КООРДИНАТ

Точки на поверхні Землі, де перетинаються магнітні меридіани, називаються магнітними полюсами Землі. В магнітних полюсах вектор індукції магнітного поля Землі досягає максимальної величини і направлений під прямим кутом вниз на північному і вверх на південному полюсах. Магнітні полюси Землі не співпадають із географічними полюсами і розташовані в глибині Землі. На 1975 рік координати північного магнітного полюса $\varphi=75^{\circ}33'$ пн.ш., $\lambda=100^{\circ}23'$ з.д. – острів Батерст, Канадський архіпелаг; південного – $\varphi=66^{\circ}05'$ пд.ш., $\lambda=139^{\circ}36'$ с.д. – Східна Антарктида. Всі елементи земного магнетизму зазнають періодичних коливань із добовим і річним ходом, а також з року в рік – вікові коливання. Протягом геологічної історії Землі поряд із значним переміщенням магнітних полюсів неодноразово змінювалася їх полярність. В нашу епоху у північній півкулі знаходиться південний (від'ємний) магнітний полюс, а в південній – північний (позитивний). Магнітні силові лінії виходять із позитивного і входять у від'ємний полюс. Але магнітні полюси прийнято називати у відповідності із півкулею, в якій кожний із них знаходиться. Спостереження за змінами магнітного поля Землі здійснюється службою земного

магнетизму. По аналогії з астрономією встановимо системи координат на земній кулі (рис.1).

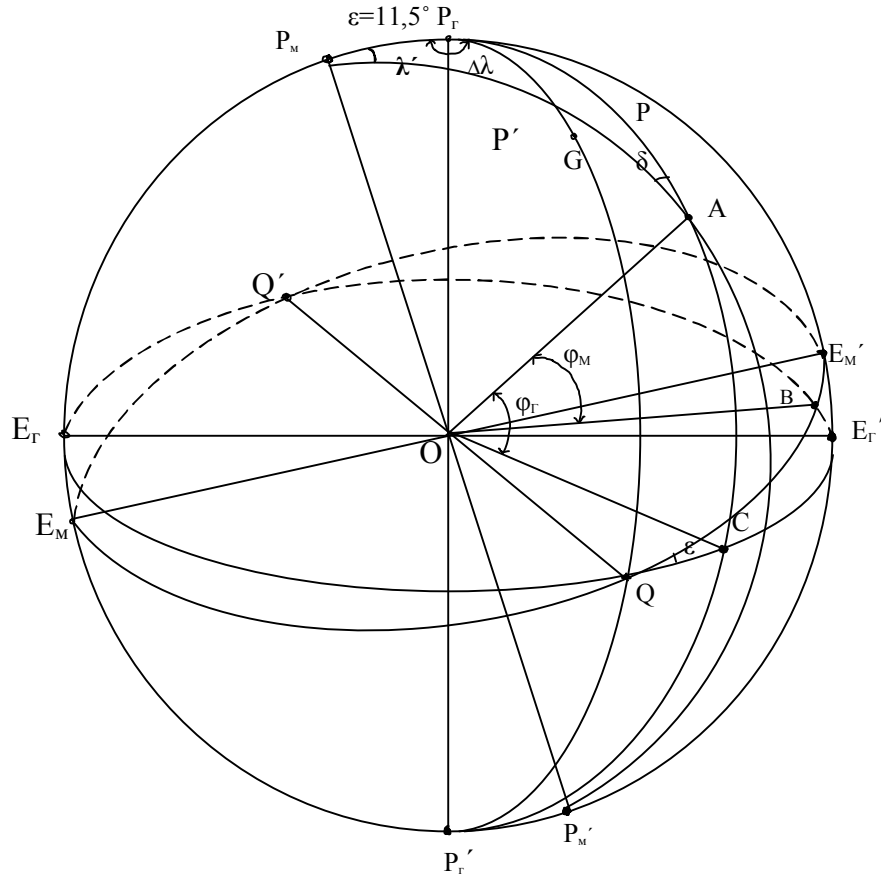


Рис.1 Географічна і геомагнітна система координат
 P_G, P'_G – географічні полюси Землі,
 P_M, P'_M – геомагнітні полюси Землі,
 $E_G Q E'_G$ – географічний екватор,
 $E_M Q E'_M$ – геомагнітний екватор,

$P_G A C P'_G$ – географічний меридіан, що проходить через точку А спостережень,
 $P_M A B P'_M$ – геомагнітний меридіан, що проходить через точку А спостережень,
 $P_G Q P'_G$ – початковий Гринвіцький меридіан,
 δ – схилення магнітної стрілки,
 $P = 90^\circ - \varphi_G$; $P' = 90^\circ - \varphi_M$; $\perp \Delta \lambda = P_M P'_G A$.

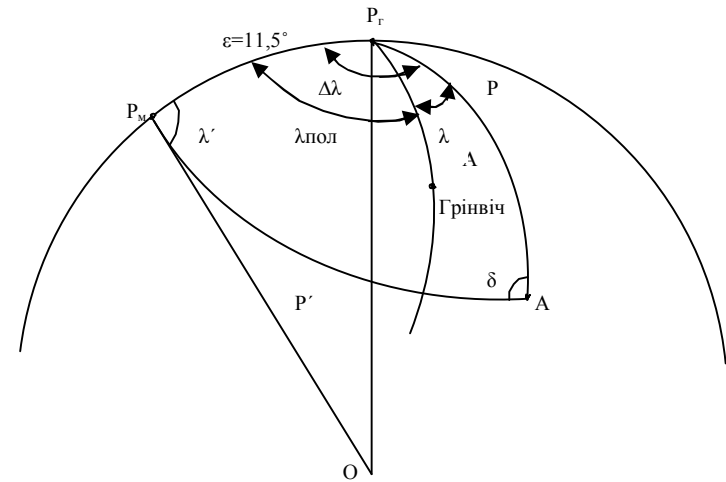


Рис. 2. Полісний трикутник

Географічні координати лабораторії, яка розташована у місті Рівне $\varphi_{Г.а} = 50^\circ 45,0'_{\text{пн.ш.}}$; $\lambda_{Г.а} = 26^\circ 07,5'_{\text{с.д.}}$ (фі і лямбда географічне точки А). Приймаючи до уваги, що довгота лабораторії рівна $26^\circ 07,5'_{\text{с.д.}}$, а довгота меридіана, на якому розташований геомагнітний полюс P_M дорівнює $\lambda_{\text{пол}} = 100^\circ 23'_{\text{з.д.}}$,

то

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{пол}} + \lambda_A = 100^\circ 23' + 26^\circ 07,5' = 126^\circ 30,5'.$$

Полюсний елемент дуги географічного меридіану p розраховується за формулою

$$p = 90^\circ - \varphi_{\Gamma.A} \quad (1.1)$$

і в нашому випадку

$$p = 90^\circ - 50^\circ 45,0' = 39^\circ 15,0'.$$

Скористаємося теоремою косинусів для сферичного трикутника $P_M P_{\Gamma} A$:

косинус сторони сферичного трикутника дорівнює добутку косинусів двох других його сторін, плюс добуток синусів тих же сторін, помножених на косинус кута між ними.

$$\cos p' = \cos \varepsilon \cos p + \sin \varepsilon \sin p \cos \Delta\lambda. \quad (1.2)$$

або

$$p' = \arccos[\cos \varepsilon \cos p + \sin \varepsilon \sin p \cos \Delta\lambda]. \quad (1.3)$$

І в нашому випадку

$$p' = \arccos[\cos 11,5^\circ \cos 39^\circ 15' + \sin 11,5^\circ \sin 39^\circ 15' \cos 126^\circ 30,5'] = 46,85868505^\circ = 46^\circ 51' 31,3''.$$

Тепер у нас з'являється можливість визначити кут δ між магнітним і географічним меридіанами в точці A , тобто постійну складову схилення магнітної стрілки. Для цього використаємо теорему синусів, яка у випадку сферичного трикутника формулюється наступним чином:

Синуси сторін пропорційні синусам кутів, тобто

$$\frac{\sin \delta}{\sin \varepsilon} = \frac{\sin \Delta\lambda}{\sin p'}. \quad (1.4)$$

При цьому

$$\sin \delta = \frac{\sin \varepsilon \sin \Delta\lambda}{\sin p'}; \quad (1.5)$$

або

$$\delta = \arcsin\left[\frac{\sin \varepsilon \sin \Delta\lambda}{\sin p'}\right]. \quad (1.6)$$

Тоді

$$\delta = \arcsin\left[\frac{\sin 11,5^\circ \sin 126^\circ 30,5'}{\sin 46,85868505^\circ}\right] = 12,68639607^\circ = 12^\circ 41' 11'' 0.$$

Визначимо кут λ' :

$$\frac{\sin \lambda'}{\sin p} = \frac{\sin \Delta\lambda}{\sin p'}. \quad (1.7)$$

При цьому

$$\sin \lambda' = \frac{\sin p \sin \Delta\lambda}{\sin p'}, \quad (1.8)$$

або

$$\lambda' = \arcsin\left[\frac{\sin p \sin \Delta\lambda}{\sin p'}\right]. \quad (1.9)$$

І в нашому випадку

$$\lambda' = \arcsin \left[\frac{\sin 39^\circ 15' \sin 126^\circ 30,5'}{\sin 46,85868505^\circ} \right] =$$

$$= 44,18354444^\circ = 44^\circ 11' 00,76''.$$

І контрольне визначення

$$\frac{\sin \delta}{\sin \varepsilon} = \frac{\sin \lambda'}{\sin p}, \quad (1.10)$$

тоді

$$\sin \delta = \frac{\sin \varepsilon \sin \lambda'}{\sin p}, \quad (1.11)$$

або

$$\delta = \arcsin \left[\frac{\sin \varepsilon \sin \lambda'}{\sin p} \right], \quad (1.12)$$

і

$$\delta = \arcsin \left[\frac{\sin 11,5^\circ \sin 44,18354444^\circ}{\sin 39^\circ 15'} \right] =$$

$$= 12,68639607^\circ = 12^\circ 41' 11,0''.$$

Геомагнітна широта точки спостереження знаходиться за формулою:

$$\varphi_M = 90^\circ - P', \quad (1.13)$$

і в нашому випадку геомагнітна широта лабораторії міста Рівне буде:

$$\varphi_{M.P.} = 90^\circ - 46^\circ 51' 31,3'' = 43^\circ 08' 28,7''.$$

Різниця широт географічної і геомагнітної точки спостереження буде

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{геогр.}} - \varphi_{\text{магн.}} \quad (1.14)$$

І в нашому випадку:

$$\Delta\varphi = 50^\circ 45,5' - 43^\circ 08' 28,7'' = 7^\circ 46' 31,3''.$$

Таким чином, на основі проведених теоретичних і практичних досліджень, нами:

1. Встановлена різниця довгот між положенням магнітного полюса Землі і лабораторії м. Рівне $\Delta\lambda = 126^\circ 30,5'$.
2. Виведена формула для розрахунку полярної віддалі P' будь-якої точки спостереження на земній кулі.
3. Отримана формула для визначення постійної складової схилення магнітної стрілки δ для будь-якої точки спостереження на Землі і встановлено, що для нашої лабораторії $\delta = 12^\circ 41' 11,0''$.
4. Виведена формула контрольного розрахунку δ .
5. Приведена формула розрахунку кута λ' між напрямком меридіану, що проходить через магнітний і географічний полюси Землі і меридіаном будь-якої точки Землі.
6. Встановлена геомагнітна широта лабораторії $\varphi_M = 43^\circ 08' 28,7''$ і різниця широт географічної геомагнітної $\Delta\varphi = 7^\circ 46' 31,3''$.

2. ВИЗНАЧЕННЯ АЗИМУТА І ВІДДАЛІ МІЖ ДВОМА СТАНЦІЯМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ.

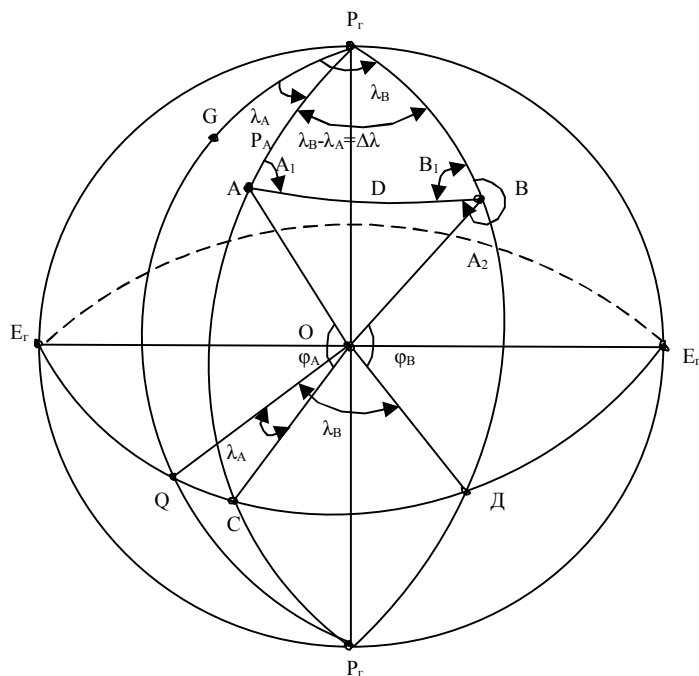


Рис.3. Координати станцій А і В на земній кулі.

Спостереження елементів земного магнетизму проведено в точці А, положення якої на земній кулі у сферичних координатах однозначно задається географічною довготою λ_A і географічною широтою φ_A (див. рис.1). положення точки В на земній кулі визначається довготою λ_B , де λ – це двограний кут між площиною початкового Гринвіцького меридіану і меридіану точки спостереження (у нас $P_r G Q P_r$ – початковий меридіан, $P_r A C P_r$ – меридіан точки А, $P_r B D P_r$ – меридіан точки В). На рис.1 $E_r Q C D E_r$ – географічний екватор.

Визначення віддалі і азимута між двома точками, заданими координатами, називається оберненою геодезичною задачею. Розробимо методику рішення головної оберненої геодезичної задачі.

Розглянемо сферичний трикутник $P_r A B$. Відомими елементами буде різниця довгот

$$\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A \quad (2.1)$$

і полярні віддалі

$$P_A = 90^\circ - \varphi_A, \quad (2.2)$$

$$P_B = 90^\circ - \varphi_B. \quad (2.3)$$

Необхідно визначити географічний азимут A_1 (кут між напрямком географічного меридіану точки спостереження А до напрямку АВ, в якому знаходиться станція спостереження В), а також віддаль $AB=D$.

Скориставшись формулою косинуса сторони сферичного трикутника, запишемо

$$\cos D = \cos P_A \cos P_B + \sin P_A \sin P_B \cos \Delta\lambda \quad (2.4)$$

Координати станції спостереження в точці А (Рівне)

$$\varphi_A = 50^\circ 35'; \quad \lambda_A = 26^\circ 07,5'$$

Координати станції спостереження в точці В (Київ)

$$\varphi_B = 50^\circ 27'; \quad \lambda_B = 30^\circ 30,0'$$

Різниця довгот при цьому буде

$$\Delta\lambda = 30^\circ 30,0' - 26^\circ 07,5' = 4^\circ 22,5',$$

а полярні віддалі

$$P_A = 90^\circ - 50^\circ 35' = 39^\circ 25',$$

$$P_B = 90^\circ - 50^\circ 27' = 39^\circ 33'.$$

Приведемо формулу (4) до робочого вигляду
 $D = \arccos[\cos P_A \cos P_B + \sin P_A \sin P_B \cos \Delta \lambda].$ (2.5)

У загальному вигляді формула розрахунку віддалі на поверхні земної кулі буде:

$$D = K \arccos[\cos P_A \cos P_B + \sin P_A \sin P_B \cos \Delta \lambda].$$
 (2.6)

Астрономи виражають D в годинах. При цьому $K=15$. геодезисти і геофізики виражають D в кілометрах. Тоді $K=111,13$ км. В математиці при рішенні задач сферичної тригонометрії віддаль D визначається в кутовій мірі і $K=1$.

В нашому випадку:

$$D = 111,13 \arccos[\cos P_A \cos P_B + \sin P_A \sin P_B \cos \Delta \lambda].$$
 (2.7)

Тоді

$$D = 111,13 \arccos[\cos 39^\circ 25' \cos 39^\circ 33' + \sin 39^\circ 25' \sin 39^\circ 33' \cos 4^\circ 22,5'] = 309,4579292$$

$$\text{км.} = 309457,9292 \text{ м.}$$

При безпосередньому представленні широт (без попереднього розрахунку полюсних віддалей) формули (5,6 і 7) будуть:

$$D = \arccos[\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos \Delta \lambda].$$
 (2.8)

$$D = K \arccos[\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos \Delta \lambda].$$
 (2.9)

$$D = 111,13 \text{ км.} \arccos[\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos \Delta \lambda].$$
 (2.10)

На основі теореми синусів запишемо

$$\frac{\sin A_1}{\sin P_B} = \frac{\sin \Delta \lambda}{\sin D},$$

або

$$\sin A_1 = \frac{\sin P_B \sin \Delta \lambda}{\sin D}. \quad (2.11)$$

Таким чином, азимут A_1 можна розрахувати за формулою:

$$A_1' = \arcsin\left[\frac{\sin P_B \sin \Delta \lambda}{\sin D}\right], \quad (2.12)$$

де віддаль D необхідно виразити в кутовій мірі, тобто

$$D^\circ = \frac{D_{\text{км}}}{111,13}. \quad (2.13)$$

В нашому випадку

$$D^\circ = \frac{309,4579292_{\text{км}}}{111,13_{\text{км}}} = 2,784647973^\circ = 2^\circ 47'$$

Тоді

$$A_1' = \arcsin\left[\frac{\sin 39^\circ 33' \sin 4^\circ 22,5'}{\sin 2,784647973^\circ}\right] = 88,94593678^\circ = 88^\circ 56' 454''.$$

При представленні полярної віддалі P_B через широту, формула (12) набуде вигляду

$$A_1' = \arcsin\left[\frac{\cos \varphi_B \sin \Delta \lambda}{\sin D}\right]. \quad (2.14)$$

Необхідно відмітити, що по формулам (12) і (14) визначають лише румб азимута, тобто горизонтальний кут між найближчим кінцем



меридіана (південним або північним) до напрямку на дану точку. Румб виражається в межах від 0° до 90° (тобто є гострим кутом). Формули переходу від румбів до азимутів будуть

$$A_1=r_1, \quad (2.15)$$

$$A_2=180^\circ - r_2, \quad (2.16)$$

$$A_3=r_3+180^\circ, \quad (2.17)$$

$$A_4=360^\circ - r_4. \quad (2.18)$$

У формулах (2.15)-(2.18) індексами 1,2,3,4 позначені чверті у яких знаходиться сторона D (віддаль між точками A і B).

Величина румба характеризується не лише величиною, але і назвою. Так, румб r_1 у першій чверті має назву „північний схід” і позначається Пн.Сх.; румб у другій чверті має назву „південний схід” і позначається Пд.Сх.; румб у третій чверті має назву „південний захід” і позначається Пд.Зх.; румб у четвертій чверті має назву „північний захід” і позначається Пн.Зх..

При розрахунку по формулах (2.15)-(2.18) слід брати розрахований румб по модулю (абсолютній величині) і підставляти у формули (2.15)-(2.18).

Формули переходу від азимутів до румбів мають вигляд:

$$r_1=A_1; \text{ Пн.Сх.} \quad (2.19)$$

$$A_2 \quad r_2=180^\circ -A_2; \text{ Пд.Сх.} \quad (2.20)$$

$$r_3=A_3-180^\circ; \text{ Пд.Сх} \quad (2.21)$$

$$r_4=360^\circ - A_4; \text{ Пн.Зх.} \quad (2.22)$$

Приведемо ще одну формулу для визначення азимута

$$A'_1 = \arctg \left[\frac{\sin \Delta \lambda}{\cos \varphi_A \operatorname{tg} \varphi_B - \sin \varphi_A \cos \Delta \lambda} \right]. \quad (2.23)$$

І в нашому випадку

$$A'_1 = \arctg \left[\frac{\sin 4^\circ 22,5'}{\cos 50^\circ 35' \operatorname{tg} 50^\circ 27' - \sin 50^\circ 35' \cos 4^\circ 22,5'} \right] =$$

$$= -88,94593669^\circ = -88^\circ 56' 45,5''.$$

Тобто, розрахунки за формулами (2.11) і (2.23) дають

однакові результати, що служить внутрішнім контролем розрахунків. Проаналізуємо результати.

Спочатку розрахуємо різницю широт точок A і B

$$\Delta \varphi_{B-A} = \varphi_B - \varphi_A, \quad (2.24)$$

в нашому випадку

$$\Delta \varphi_{B-A} = 50^\circ 27' - 50^\circ 35' = -0^\circ 08'.$$

Тобто, румб визначаємого напрямку має назву „Південний Схід”.

Тому азимут напрямку Рівне-Київ буде:

$$A_1 = 180^\circ - 88^\circ 56' 45,4'' = 91^\circ 03' 14,6''.$$

Знайдемо кут В. За теоремою синусів

$$\frac{\sin B}{\sin P_A} = \frac{\sin A_1}{\sin P_B},$$

звідки

$$\sin B = \frac{\sin P_A \sin A_1}{\sin P_B}, \quad (2.25)$$

$$B = \arcsin \left[\frac{\sin P_A \sin A_1}{\sin P_B} \right], \quad (2.26)$$

або

$$B = \arcsin \left[\frac{\cos \varphi_A \sin A_1}{\cos \varphi_B} \right]. \quad (2.27)$$

В нашому випадку

$$B = \arcsin \left[\frac{\cos 50^\circ 35' \sin 91^\circ 03' 14,6''}{\cos 50^\circ 27'} \right] = 85,56860597^\circ = 85^\circ 34' 06,98''.$$

Розрахуємо обернений ромб A_2'

$$A_2' = \arctg \left[\frac{\sin \Delta \lambda}{-\cos \varphi_B \operatorname{tg} \varphi_A + \sin \varphi_B \cos \Delta \lambda} \right]. \quad (2.28)$$

$$A_2' = \arctg \left[\frac{\sin 4^\circ 22,5'}{-\cos 50^\circ 27' \operatorname{tg} 50^\circ 35' + \sin 50^\circ 27' \cos 4^\circ 22,5'} \right] = -85,56860413^\circ = -85^\circ 34' 06,97''.$$

Приймаючи до уваги, що обернений румб лежить у четвертій четверті і назва румбу „Північний Захід”, то

$$A_2 = A_2' + 360^\circ = 360^\circ - 85^\circ 34' 06,97'' = 274^\circ 25' 53,03''.$$

Як бачимо, $A_2' = B$, що являється внутрішнім контуром обчислень.

3. ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ СТАНЦІЇ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

За відомими координатами пункту А (φ_A, λ_A), довжині сторони сферичного трикутника D і азимуту A_1 необхідно визначити координати φ_B, λ_B станції спостереження. Яка знаходиться в точці В земної кулі, тобто розв'язати пряму головну геодезичну задачу на поверхні Землі (див. рис.1). Розраховується сферична віддаль D° у кутовій мірі [36,-с.33]

$$D^\circ = \frac{D}{K}, \quad (3.1)$$

$$\tau = \text{ctg} D^\circ \cos \varphi_A - \sin \varphi_A \cos A_1, \quad (3.2)$$

$$q = \text{ctg} D^\circ \sin \varphi_A + \cos \varphi_A \cos A_1. \quad (3.3)$$

$$\Delta \lambda = \text{arctg} \left[\frac{\sin A_1}{\tau} \right], \quad (3.4)$$

$$\lambda_B = \lambda_A + \Delta \lambda, \quad (3.5)$$

$$\varphi_2 = \text{arctg} = \left[\frac{q}{\sin A_1 \sin \Delta \lambda + p \cos \Delta \lambda} \right], \quad (3.6)$$

$$A_2 = \text{arctg} \left[\frac{\sin \Delta \lambda}{\sin \varphi_B \cos \Delta \lambda - \text{tg} \varphi_A \cos \varphi_B} \right]. \quad (3.7)$$

І в нашому випадку

$$D^\circ = \frac{309,4579292}{111,13} = 2,784647973^\circ = 2^\circ 47' 04,733''$$

$$\tau = \text{ctg} 2,784647973^\circ \cos 50^\circ 35' - \sin 50^\circ 35' - \sin 50^\circ 35' \cos 91^\circ 03' 14,6'' = 20,55938804 * 0,634955265 - 0,772548905(0,018395702) = 13,06850326,$$

$$q = \text{ctg} 2,784647973^\circ \sin 50^\circ 35' + \cos 50^\circ 35' \cos 91,03' 14,6'' = 20,55938804 * 0,772548905 + 0,634955265 * (-0,018395702) = 15,7145227,$$

$$\Delta \lambda = \text{arctg} \left[\frac{\sin 91^\circ 03' 14,6''}{13,06850326} \right] =$$

$$= 4,375000118^\circ = 4^\circ 22' 50,07'',$$

$$\lambda_B = 26^\circ 07' 30'' + 4^\circ 22' 30,00'' = 30^\circ 30' 00'',$$

$$\varphi_B = \text{arctg} \frac{15,87145272}{\sin 91^\circ 03' 14,6'' \sin 4^\circ 22,5' + 13,06850326 \cos 4^\circ 22,5'} = 50,45000051^\circ = 50^\circ 27' 00,00''.$$

Контроль розрахунку широти φ_2 виконаємо за формулою

$$\cos P_B = \cos P_A \cos D + \sin P_A \sin D \cos A_1, \quad (3.8)$$

$$\sin \varphi_B = \sin \varphi_A \cos D + \cos \varphi_A \sin D \cos A_1, \quad (3.9)$$

і

$$\varphi_B = \arcsin[\sin \varphi_A \cos D + \cos \varphi_A \sin D \cos A_1]. \quad (3.10)$$

В нашому випадку

$$\varphi_B = \arcsin \left[\frac{\sin 50^\circ 35' \cos 2,784647973^\circ + \cos 50^\circ 35' *}{* \sin 2,784647973^\circ \cos 91^\circ 03' 14,6''} \right] = 50,45000038^\circ = 50^\circ 27' 00,00''.$$

Таким чином, розрахунки за формулами (3.6) і (3.10) приводять до однакових результатів, що і буде внутрішнім контролем розрахунків. Зовнішнім контролем вірності теоретичних викладок буде порівняння широти і довготи з відомою: $\varphi_B = 50^\circ 27' 00,00''$ і $\lambda_B = 30^\circ 30' 00''$.

Обернений азимут розраховується за формулою (3.8)

$$A_2' = \arctg \left[\frac{\sin 4,375000178^\circ}{\sin 50^\circ 27' \cos 4,375000178^\circ - \operatorname{tg} 50^\circ 35' \cos 50^\circ 27'} \right] = -85,56860417^\circ = -85^\circ 34' 06,98'',$$

Переходячи від румба A_2' до азимута, отримаємо

$$A_2 = 360^\circ - A_2' = 274^\circ 25' 53,02''.$$

Контрольне значення оберненого азимута

$$A_2 = 274^\circ 25' 53,02''.$$

Нам невідома література в якій встановлювався δ функціональний зв'язок між географічною і геомагнітною системами координат.

В даній роботі ця проблема вирішена не лише в теоретичному аспекті, але розроблена методично і ілюстроване практично. Вона готова для практичного використання і може бути корисною для студентів і аспірантів відповідного профілю. Геофізики і геодезисти можуть використовувати її в своїй практичній діяльності.

4. ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ КУТОМ НАХИЛУ МАГНІТНОЇ СТІЛКИ І ГЕОМАГНІТНОЮ ШИРОТОЮ ПУНКТУ СПОСТЕРЕЖЕНЬ.

Існує функціональна залежність між кутом нахилу магнітної стрілки ν і співвідношення складових індукцій в пункті спостережень

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{B_z}{B_h}, \quad (4.1)$$

де B_z – вертикальна складова індукції геомагнітного поля в пункті спостережень;

B_H – горизонтальна складова індукції.

Представимо формулу (4.1) у вигляді

$$\nu = \arctg \left[\frac{B_z}{B_H} \right]. \quad (4.2)$$

З другої сторони, існує залежність φ_{mag} і співвідношенням складових індукції в пункті спостережень

$$\operatorname{tg} \varphi_m = \frac{B_z}{2 B_H}. \quad (4.3)$$

Представимо формулу (4.3) у вигляді

$$\varphi_M = \arctg \left[\frac{B_z}{2 B_H} \right]. \quad (4.4)$$

Подамо формулу (4.3) у вигляді

$$2 \operatorname{tg} \varphi_M = \frac{B_Z}{B_H}. \quad (4.5)$$

Аналізуючи формули (4.1) і (4.5) помітимо, що праві частини даних формул однакові, що дає нам право прирівняти ліві частини.

$$\operatorname{tg} \nu = 2 \operatorname{tg} \varphi_M. \quad (4.6)$$

Тоді, отримаємо

$$\nu = \operatorname{arctg}[2 \operatorname{tg} \varphi_M], \quad (4.7)$$

і

$$\operatorname{tg} \varphi_M = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \nu, \quad (4.8)$$

або

$$\varphi_M = \operatorname{arctg}[0,5 \operatorname{tg} \nu]. \quad (4.9)$$

Формули (4.7) і (4.8) встановлюють функціональну залежність між кутом нахилу магнітної стрічки ν на пункті спостережень і геомагнітною широтою $\varphi_{\text{маг}}$ даного пункту.

Так, наприклад, при магнітній широті пункту спостережень $\varphi_M = 43^\circ 08,5'$, магнітна стрілка повинна нахилитися на кут

$$\nu = \operatorname{arctg}[2 \operatorname{tg} 43^\circ 08,5'] = 61,9185885^\circ = 61^\circ 55' 06,92''$$

Кут нахилу магнітної стрілки визначають за допомогою приладу, який називається інклінометром. Інклінометр являє собою магнітну стрілку, що вільно обертається навколо горизонтальної осі.

Нам невідома література в якій встановлювались би функціональна залежність між кутом нахилу

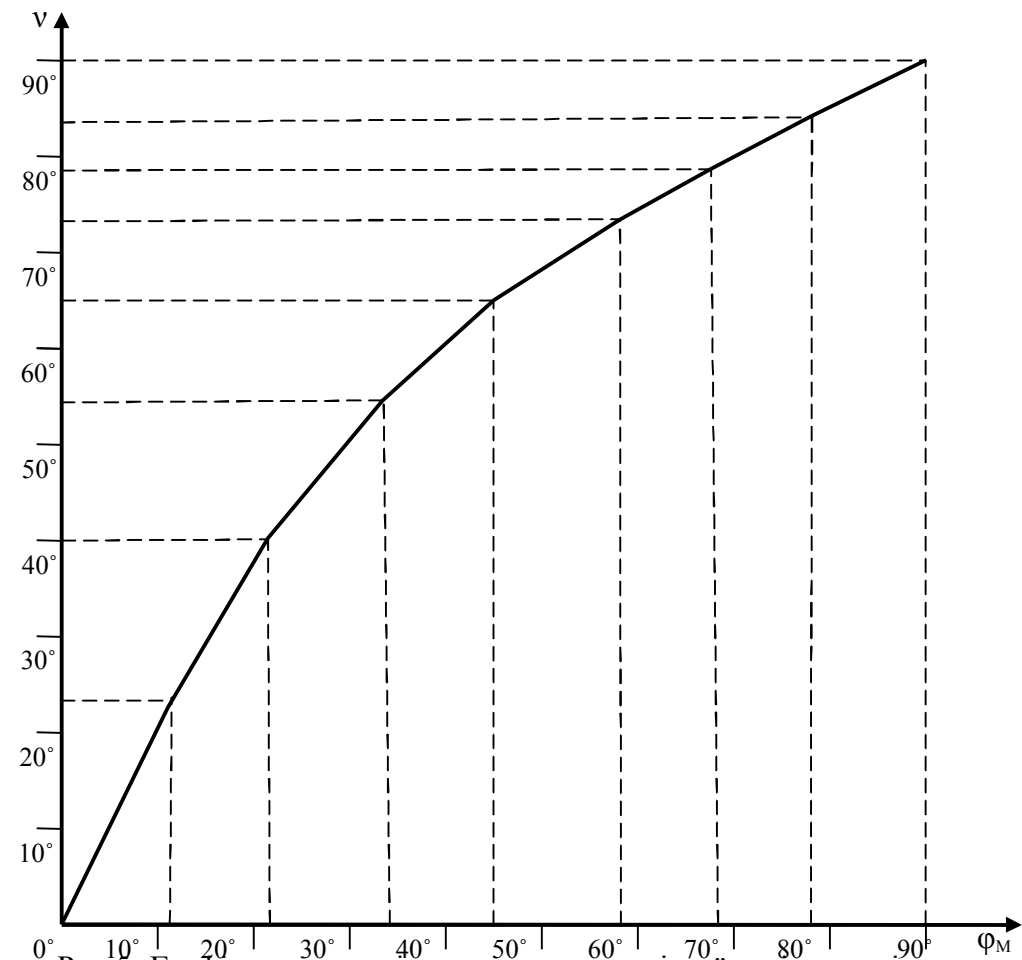


Рис.5. Графік залежності кута нахилу магнітної стрілки ν від геомагнітної широти пункту спостережень $\varphi_{\text{маг}}$.

магнітної стрілки і геомагнітною широтою пункту спостережень.

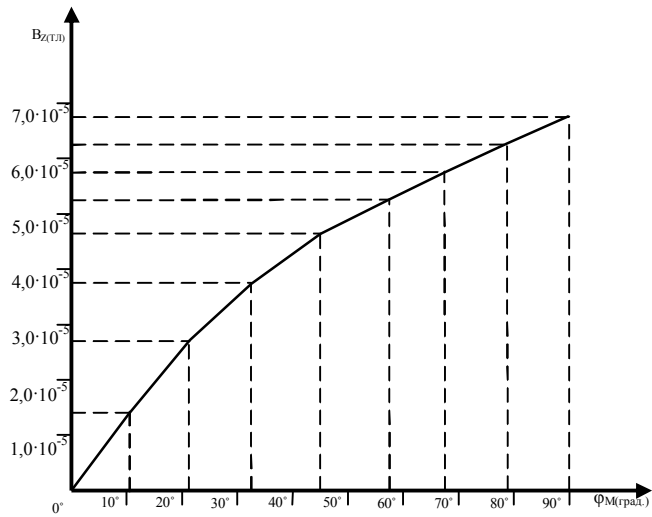


Рис.6. Графік залежності вертикальної складової B_z індукції магнітного поля Землі від геомагнітної широти ϕ_M .

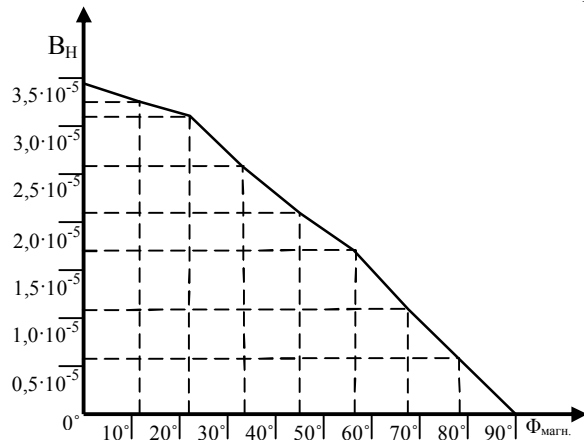


Рис.7. Графік залежності горизонтальної складової B_H індукції магнітного поля Землі від геомагнітної широти $\phi_{\text{магн.}}$.

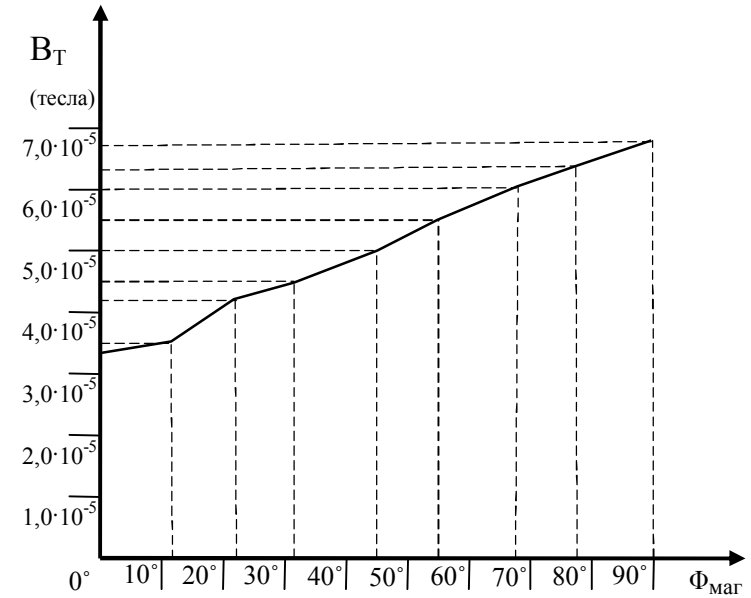


Рис.8. Графік залежності індукції B_T магнітного поля Землі від геомагнітної широти $\phi_{\text{маг}}$.

5. АПРОКСИМАЦІЯ ЗАЛЕЖНОСТІ
ВЕРТИКАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ B_z ІНДУКЦІЇ
МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ ВІД
ГЕОМАГНІТНОЇ ШИРОТИ

Для виводу формули залежності вертикальної складової магнітного поля Землі від геомагнітної широти скористаємося методикою, розробленою у [17].

Побудувавши графік, приходимо до висновку, що емпіричну функцію слід шукати у вигляді

$$B_z = a + b\varphi + c\varphi^2, \quad (5.1)$$

де a , b і c невідомі коефіцієнти, які необхідно визначити і φ значення магнітної широти, на якій визначають B_z , виражена в градусах і долях градуса. В загальному вигляді:

$$y' = a + bx + cx^2. \quad (5.2)$$

Приведемо зведену таблицю апроксимації.
Таблиця 1.

№ п/п	$\varphi_{\text{маг}}=x$ (градуси)	$B_z(\text{тесла})=y$	Проц. $5x^2$ $y' = a + bx + cx^2$	$V_i=y-y'$	V_i^2
1	0,00	0	$0,055 \cdot 10^{-5}$	-0,055	0,003025
2	11,248	$1,346 \cdot 10^{-5}$	1,383	-0,037	0,001369
3	22,4955	$2,686 \cdot 10^{-5}$	2,563	+0,123	0,015129
4	33,7527	$3,662 \cdot 10^{-5}$	3,594	+0,068	0,004624
5	45,000	$4,484 \cdot 10^{-5}$	4,476	+0,008	0,000064
6	56,2536	$5,158 \cdot 10^{-5}$	5,195	-0,037	0,001369
7	67,5046	$5,694 \cdot 10^{-5}$	5,794	-0,100	0,01
8	78,7525	$6,075 \cdot 10^{-5}$	6,230	-0,055	0,003025

9	90	$6,617 \cdot 10^{-5}$	6,517	+0,100	0,01
			$\Sigma = 35,807$	+0,015	$\Sigma = 0,048605$

Середнє значення $B_z = [35,807/9] \cdot 10^{-5} = [3,9785] \cdot 10^{-5}$ тл.

Апроксимацію проведемо по способу найменших квадратів, вимагаючи мінімального відхилення квадратів V_i^2 розходжень результатів, розрахованих за отриманою формулою y' і значеннями y_i , при введеним у таблиці.

При цьому нам необхідно рішити систему нормальних рівнянь:

$$\begin{aligned} an + b \sum_{i=1}^n X_i + c \sum_{i=1}^n X_i^2 &= \sum_{i=1}^n Y_i, \\ a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 + c \sum_{i=1}^n X_i^3 &= \sum_{i=1}^n X_i Y_i, \\ a \sum_{i=1}^n X_i^2 + b \sum_{i=1}^n X_i^3 + c \sum_{i=1}^n X_i^4 &= \sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i. \end{aligned} \quad (5.3)$$

Розв'язавши дану систему нормальних рівнянь,, були отримані слідуєчі значення шуканих коефіцієнтів a , b і c
 $a=0,054983643$; $b=0,124694863$; $c=-0,000587725$.

Таким чином, нами отримана форма розрахунку вертикальної складової індукції геомагнітного поля Землі від геомагнітної широти

$$B_z = [0,05498 + 0,12469\varphi_m - 0,00059\varphi_m^2] \cdot 10^{-5} \text{ тл.} \quad (5.4)$$

Результати апроксимації приведені в таблиці 1 виразом $y' = a + bx + cx^2$. При цьому в розрахунках були взяті всі знаки у коефіцієнтах a , b і c .

Приведемо оцінку точності розрахунків по виведеній нами формулі (.4).

Середня квадратна похибка розрахунку B_z за формулою (.4) буде

$$m_{B_z} = \sqrt{\frac{\sum V_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,048605}{8}} \cdot 10^{-5} = 0,078 \cdot 10^{-5} = 7,8 \cdot 10^{-7} \text{ тесла}$$

Гранична похибка складає

$$\Delta_{зр.} = 3m_{B_z} = 2,34 \cdot 10^{-6} \text{ Тл.}$$

Відносна похибка розрахунків за формулою (.4) буде

$$\Delta_{відн.} = m_{B_z} / B_{zcp.} = 7,8 \cdot 10^{-7} / 3,9785 \cdot 10^{-5} = 0,0196 = \frac{1}{50}.$$

Або в процентах

$$\Delta\% = \Delta_{відн.} \cdot 100\% = 2\%.$$

Апроксимація виконана за програмою $[5x^2]$ програмованого мікрокалькулятора CITIZEN SRP-350.

Інструкція

1. Натиснувши клавішу `mode`, входимо в меню програм.
2. Вибираємо програму `1STAT`, підводячи курсор.
3. Натискуємо клавішу `Enter`, входячи в підменю програм.
4. Вибираємо програму `2 reg` і натискаємо клавішу `Enter`.

5. Підводимо курсор під програму $[5x^2]$.
6. Натискуємо клавішу `Enter`.
7. Натискуємо клавішу `data`, і із трьох опцій меню вибираємо `DATA-INPUT`.
8. Натискуємо клавішу `Enter`.
9. Попарно набираємо параметри $X_i \downarrow Y_i$, натискаючи курсор `\downarrow` (сторінку вниз) для набору нового параметра.
10. Набравши всі параметри, натискуємо клавішу `2nd` і потім клавішу `statvar`.
11. Програма виконується автоматично і через декілька секунд будуть готові результати.
12. Підводячи курсор під знак `Y`, натискуємо `Enter` і набираємо факторні дані X_i і зчитуємо розрахункові дані для контролю Y_i .

6. АПРКСИМАЦІЯ ЗАЛЕЖНОСТІ
ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ІНДУКЦІЇ
МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ ВІД
ГЕОМАГНІТНОЇ ШИРОТИ.

По тій же методиці апроксимуємо залежність горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі від геомагнітної широти.

Таблиця 2.

№ п/п	$\varphi_M = X$ градуси	$y = B_{H(Tл)}$	$y' = a + bx + cx^2$	$V = y - y'$	V^2
1	0	$3,409 \cdot 10^{-5}$	$3,536 \cdot 10^{-5}$	-0,127	0,016129
2	11,25	3,384	3,331	+0,053	0,002809
3	22,5	3,243	3,056	+0,187	0,034969
4	33,75	2,740	2,711	+0,029	0,000841
5	45	2,242	2,295	-0,053	0,0002809
6	56,25	1,723	1,808	-0,085	0,007225
7	67,5	1,179	1,250	-0,071	0,005041
8	78,75	0,614	0,622	-0,008	0,000064
9	90	0	-0,076	+0,076	0,005776
	Σ	$18,534 \cdot 10^{-5}$		$\Sigma 0,001$	$\Sigma 0,075663$

В результаті розрахунків отримані значення коефіцієнтів

$$a=3,535612121; b=-0,015008119; c=-0,000279186.$$

і формула має вигляд

$$B_H' = 3,535612121 - 0,015008119 \varphi_M - 0,000279186 \varphi_M^2. \quad (6.1)$$

Середня квадратна похибка розрахунку за формулою буде:

$$m_{B_H} = \sqrt{\frac{\Sigma V^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,075663}{8}} \cdot 10^{-5} =$$

$$= 0,097 \cdot 10^{-5} Tл = 9,7 \cdot 10^{-7} Tл$$

Гранична похибка

$$\Delta_{гр.} = 3m_{B_H} = 2,91 \cdot 10^{-6} Tл.$$

Відносна похибка

$$\Delta_{відн.} = \frac{m_{B_H}}{B_{Hcp}} = \frac{2,91 \cdot 10^{-6}}{18,534 \cdot 10^{-5}} = 1,413 \cdot 10^{-1}.$$

9

$$\Delta_{відн.} \% = \Delta_{відн.} \cdot 100 \% = 14,13 \%.$$

7. АПРОКСИМАЦІЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНДУКЦІЇ ПОЛЯ ОДНОРІДНОГО НАМАГНІЧУВАННЯ ЗЕМНОЇ КУЛІ ВІД ГЕОМАГНІТНОЇ ШИРОТИ

Аналогічно проведена апроксимація і отримана формула для розрахунку індукції B_T магнітного поля Землі від широти.

Таблиця 3

№ п/п	$\varphi_M = X$ градуси	$y = B_{H(Tл)}$	$y' = a + bx + cx^2$ (градуси)	$V = y - y'$	V^2
1	0	$3,409 \cdot 10^{-5}$	$3,342 \cdot 10^{-5}$	$+0,067 \cdot 10^{-5}$	0,004489
2	11,25	3,642	3,759	-0,117	0,013689
3	22,5	4,211	4,175	+0,036	0,001296
4	33,75	4,574	4,588	-0,014	0,00196
5	45	5,013	4,999	+0,014	0,000196
6	56,25	5,438	5,408	+0,030	0,0009
7	67,5	5,815	5,814	+0,001	0,000001
8	78,75	6,206	6,219	-0,013	0,000169
9	90	6,617	6,621	-0,004	0,000016
				$\Sigma 0$	$\Sigma 0,020952$

Встановлені коефіцієнти апроксимуючої функції $a=3,341751515$; $b=0,037214276$; $c=-8,62 \cdot 10^{-6}$.

Загальна формула переходу має вигляд

$$B_T = 3,341751515 + 0,037214276 \varphi_M - 8,62 \cdot 10^{-6} \varphi_M^2. \quad (7.1)$$

Середня квадратична похибка m_{B_T} розрахунку за формулою

$$m_{B_T} = \sqrt{\frac{\Sigma V^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,020959}{8}} = 0,0511 \cdot 10^{-5} Tл = 5,11 \cdot 10^{-7} Tл.$$

Гранична похибка:

$$\Delta_{cp.} = 3m_{B_T} = 3 \cdot 5,11 \cdot 10^{-7} = 1,53 \cdot 10^{-6} Tл.$$

Відносна похибка:

$$\Delta_{відн.} = \frac{m_{B_T}}{B_{Tcp.}} = \frac{1,53 \cdot 10^{-6}}{4,99 \cdot 10^{-5}} = 0,03066 = \frac{1}{32} Tл.$$

Відносна похибка в %:

$$\Delta_{відн.} \% = \Delta_{відн.} \cdot 100\% = 3,06\%.$$

8. АПРОКСИМАЦІЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МАГНІТНОГО МОМЕНТУ ЗЕМНОЇ КУЛІ ВІД ШИРОТИ

Побудувавши графік залежності магнітного моменту від широти, приходимо до висновку, що емпіричну функцію слід шукати у вигляді

$$M = \alpha_3 \varphi_m^3 + \alpha_2 \varphi_m^2 + \alpha_1 \varphi_m + \alpha_0. \quad (8.1)$$

При розробці програми на мікроЕОМ прийемо до уваги рівномірне розташування вузлів апроксимації і представимо факторний аргумент у вигляді

$$Z = \varphi - \varphi_C = \varphi - (\varphi_0 - \varphi_n) / 2. \quad (8.2)$$

В даному випадку формула (8.1) буде

$$M(Z) = \alpha_3 Z^3 + \alpha_2 Z^2 + \alpha_1 Z + \alpha_0, \quad (8.3)$$

де $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, – невідомі коефіцієнти, які необхідно визначити по способу найменших квадратів.

Програма розрахована на апроксимацію функції $M(\varphi)$ з довільним числом $m > 3$ рівно відстояних вузлів $\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_n$.

Необхідно рішити систему нормальних рівнянь

$$\begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^m Z_i & \sum_{i=1}^m Z_i^2 & \sum_{i=1}^m Z_i^3 \\ \sum_{i=1}^m Z_i & \sum_{i=1}^m Z_i^2 & \sum_{i=1}^m Z_i^3 & \sum_{i=1}^m Z_i^4 \\ \sum_{i=1}^m Z_i^2 & \sum_{i=1}^m Z_i^3 & \sum_{i=1}^m Z_i^4 & \sum_{i=1}^m Z_i^5 \\ \sum_{i=1}^m Z_i^3 & \sum_{i=1}^m Z_i^4 & \sum_{i=1}^m Z_i^5 & \sum_{i=1}^m Z_i^6 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m \int_i \\ \sum_{i=1}^m \int_i Z_i \\ \sum_{i=1}^m \int_i Z_i^2 \\ \sum_{i=1}^m \int_i Z_i^3 \end{bmatrix}$$

Приведемо зведену таблицю результатів апроксимації

Таблиця 4

№ п/п	$\varphi_{\text{магн}} = Z$ градуси	$M(Z)(a \cdot M^2)$	$M(Z)_{\text{апрокс.}}$	$V = M - M^?$	V^2
1	0,00	$8,79 \cdot 10^{22}$	$8,803 \cdot 10^{22}$	-0,013	0,000169
2	11,25	$8,90 \cdot 10^{22}$	$8,957 \cdot 10^{22}$	-0,057	0,003249
3	22,50	$9,05 \cdot 10^{22}$	$8,851 \cdot 10^{22}$	+0,199	0,039601
4	33,75	$8,50 \cdot 10^{22}$	$8,588 \cdot 10^{22}$	-0,088	0,007744
5	45,00	$8,17 \cdot 10^{22}$	$8,274 \cdot 10^{22}$	-0,094	0,008836
6	56,25	$8,00 \cdot 10^{22}$	$8,011 \cdot 10^{22}$	-0,011	0,000121
7	67,50	$7,95 \cdot 10^{22}$	$7,904 \cdot 10^{22}$	+0,046	0,002116
8	78,75	$8,12 \cdot 10^{22}$	$8,057 \cdot 10^{22}$	+0,063	0,003969
9	90,00	$8,53 \cdot 10^{22}$	$8,575 \cdot 10^{22}$	-0,045	0,002025
		$76,02 \cdot 10^{22}$		0	0,06783

Отримана формула має вигляд (8.4)

$$M = 1,2190 \cdot 10^{-5} \varphi_m^3 - 1,4404 \cdot 10^{-3} \varphi_m^2 + 2,8370 \cdot 10^{-2} \varphi_m + 8,8028.$$

Середня квадратична похибка визначення магнітного моменту Землі за формулою буде

$$m_M = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,06783}{8}} \cdot 10^{22} = 0,09 \cdot 10^{22} \text{ а.м.}$$

Гранична похибка:

$$\Delta_{gp} = 3m_M = 3 \cdot 0,09 \cdot 10^{22} = 2,7 \cdot 10^{21} \text{ а.м.}$$

Відносна похибка:

$$\Delta_{\text{відн.}} = \frac{m_M}{M_{\text{середн.}}} = \frac{0,09 \cdot 10^{22}}{76,02 \cdot 10^{22}} = 0,011.$$

Відносна похибка у відсотках:

$$\Delta_{\text{відн.}} \% = \Delta_{\text{відн.}} \cdot 100\% = 1,1\%.$$

9. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ СИЛИ СТРУМУ ТАНГЕНЦІОНАЛЬНОГО ГАЛЬВАНОМЕТРА ВІД ШИРОТИ ПУНКТУ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Дослідимо залежність сили струму тангенціального гальванометра від широти пункту спостереження при визначенні горизонтальної складової геомагнітного поля Землі.

Раніше нами була отримана формула на основі закону Біо-Савара-Лапласа

$$B_{\Gamma} = \frac{\mu_0 IN}{2R \operatorname{tg} \alpha}. \quad (9.1)$$

Знайдемо величини силу струму I:

$$I = \frac{2B_{\Gamma} R \operatorname{tg} \alpha}{\mu_0 N}. \quad (9.2)$$

За формулою (9.2) розрахуємо значення I для горизонтальної складової B_{Γ} на різних широтах земної кулі для нормального магнітного поля Землі. В подальшому виразимо силу струму як функцію геомагнітної широти. Для цього нам необхідно підібрати апроксимуючу функцію в залежності від графіка цієї залежності.

Таблиця 5.

№ п/п	φ_m градуси	B_H (Тл)	I (а)	$I = a + b\varphi_{(a)} + c\varphi^2$	$V = I - I'$	V^2
1	0	$3,409 \cdot 10^{-5}$	1,158	1,201	-0,043	0,001849
2	11,25	3,384	1,149	1,132	+0,017	0,000289
3	22,5	3,243	1,102	1,038	+0,064	0,004096
4	33,75	2,740	0,931	0,921	+0,01	0,0001
5	45	2,242	0,762	0,780	-0,018	0,000324

6	56,25	1,723	0,585	0,614	-0,029	0,000841
7	67,5	1,179	0,400	0,425	-0,025	0,000625
8	78,75	0,614	0,208	0,211	-0,003	$9 \cdot 10^{-6}$
9	90	$1 \cdot 10^{-9}$	0	-0,026	+0,026	0,000676
					$\Sigma -0,001$	$\Sigma 0,008809$

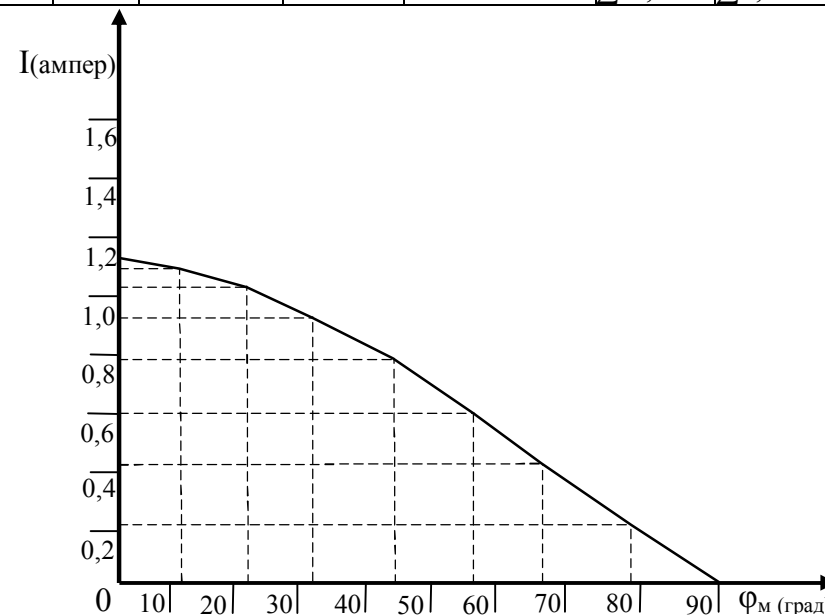


Рис.9. Графік залежності сили струму при визначенні горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі від геомагнітної широти пунктів спостережень $a=1,200939394$; $b=-0,00509062$; $c=-0,00009496$.

Для нашої рамки, яка складається із $N=5$ витків радіуса $R=0,107$ м, приймаючи до уваги, що коефіцієнт магнітної проникливості $\mu_0=1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, на кожній широті спостереження будемо добиватися відхилення магнітної стрілки на $\alpha=45^\circ$, регулюючи потенціометром і повзунком реостата. При цьому

$$I = \frac{2 \cdot B_z \cdot 0,107 \operatorname{tg} 45^\circ}{1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 5} \left[\frac{\kappa z}{c^2 a} \cdot \frac{c^2 a^2 M}{M \cdot \kappa z} \right], \quad (9.3)$$

або

$$I = 33968,25397 \cdot B_H(a), \quad (9.4)$$

За формулою (3) розрахуємо значення сили струму I в залежності від значення B_H , що відповідає певній геомагнітній широті станції спостереження і впишемо в таблицю 1.

По приведеній вище методиці апроксимуємо залежність сили струму від широти для фіксованого відхилення магнітної стрілки.

Емпіричну формулу будемо шукати у вигляді

$$I' = a + b\varphi_m + c\varphi_m^2. \quad (9.5)$$

В результаті апроксимації отриманні значення коефіцієнтів:

$a=1,200939394$; $b=-0,00509062$; $c=-0,00009496$.

Тобто, шукана формула має вигляд

$$I' = 1,200939394 - 0,00509062\varphi_m - 0,00009496\varphi_m^2, \quad (9.6)$$

або для практичного використання

$$I' = 1,2 - 5,1 \cdot 10^{-3} \varphi_m - 1,0 \cdot 10^{-4} \varphi_m^2. \quad (9.7)$$

За формулою (9.6) були розраховані значення сили струму для вузлових значень широт, приведених у таблиці 1.

Середня квадратична похибка розрахунку сили струму для відповідної широти складає

$$m_I = \sqrt{\frac{\sum V^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,008809}{8}} = 0,033 \text{ а.м.}$$

Звичайно, щоб використати дану методику для визначення геомагнітної широти за зміною сили струму приладу при фіксованому куту повороту магнітної стрілки, необхідно підвищити чутливість приладу на порядок.

В подальшому зафіксуємо силу струму, наприклад на величині 0,5 ампер і знайдемо кут повороту α стрілки на кожній із широт станцій спостереження.

Представимо формулу (9.2) у вигляді

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left[\frac{I\mu_0 N}{2RB_z} \right], \quad (9.8)$$

або

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left[\frac{0,5 \cdot 1 \cdot 26 \cdot 10^{-6} \cdot 5}{2 \cdot 0,107 \cdot B_z} \right] \left[\frac{a \cdot M \cdot \kappa z}{c^2 a^2} \cdot \frac{1}{M} \cdot \frac{c^2 a}{\kappa z} \right]. \quad (9.9)$$

тобто

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left[\frac{0,00001472}{B_z} \right] (\text{градуси}). \quad (9.10)$$

За формулою (9.6) розрахуємо значення α для вузлових точок спостереження.

Таблиця 6.

№ п/п	φ_M (градуси)	B_H (Тл)	α (градуси)
1	0	$3,409 \cdot 10^{-5}$	0,432
2	11,25	3,384	0,435
3	22,5	3,243	0,454
4	33,75	2,740	0,537
5	45	2,242	0,656

6	56,25	1,723	0,854
7	67,5	1,179	1,248
8	78,75	0,614	2,397
9	90	$1 \cdot 10^{-9}$	89,996

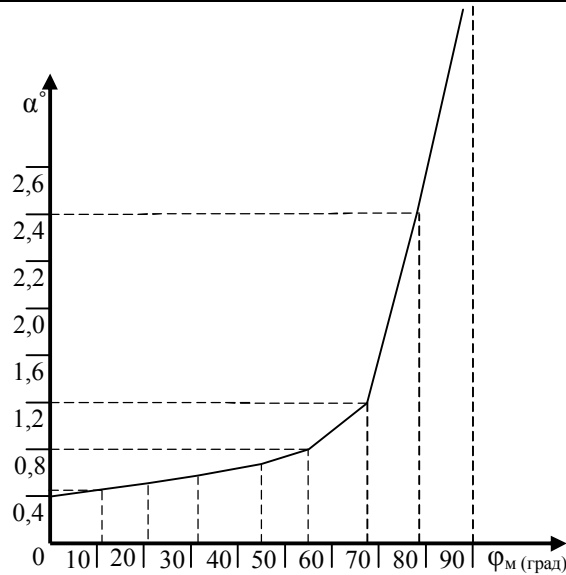


Рис.10. Графік залежності кута повороту α магнітної стрілки при фіксованій силі струму у колі рамки від широти пункту спостереження.

10. ПРЕДСТАВЛЕННЯ ВЕРИКАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ІНДУКЦІЇ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ ЧЕРЕЗ ГОРИЗОНТАЛЬНУ.

Вертикальна складова індукції магнітного поля земної кулі

$$B_z = \mu_0 \frac{M}{2\pi R^3} \sin \varphi_m. \quad (10.1)$$

Горизонтальна складова

$$B_H = \mu_0 \frac{M}{4\pi R^3} \cos \varphi_m, \quad (10.2)$$

де R – радіус земної кулі,
 M – магнітний момент.

З формули (.2) запишемо

$$\mu_0 \frac{M}{2\pi R^3} = 2 B_H. \quad (10.3)$$

Підставляючи ліву частину виразу (10.3) в (10.1) отримаємо

$$B_z = \frac{2 B_H}{\cos \varphi_m} \sin \varphi_m,$$

або

$$B_z = 2 B_H \operatorname{tg} \varphi_m. \quad (10.4)$$

Таким чином, формула функціонального зв'язку між складовими індукції магнітного поля земної кулі вираховується виразом (10.4).

ВИСНОВКИ

На основі проведених в даній роботі теоретичних і практичних досліджень:

1. Встановлена різниця довгот між положенням магнітного полюса Землі і лабораторії м. Рівне $\Delta\lambda = 126^{\circ}30,5'$.
2. Виведена формула для розрахунку полярної віддалі P' будь-якої точки спостереження на земній кулі.
3. Отримана формула для визначення постійної складової схилення магнітної стрілки δ для будь-якої точки спостереження на Землі і встановлено, що для нашої лабораторії $\delta = 12^{\circ}41'11,0''$.
4. Виведена формула контролю розрахунку δ .
5. Приведена формула розрахунку кута λ' між напрямком меридіану, що проходить через магнітний і географічний полюси Землі і меридіаном будь-якої точки Землі.
6. Встановлена магнітна широта лабораторії $\varphi_m = 43^{\circ}08'28,7''$ і різниця широт географічної і геомагнітної $\Delta\varphi = 7^{\circ}46'31,3''$.
7. Отримані формули визначення азимута і віддалі між двома станціями спостережень.
8. Встановлені формули визначення координат станції спостереження.
9. Досліджена залежність між кутом нахилу магнітної стрілки і геомагнітною широтою пункту спостережень.

10. Отримана формула залежності вертикальної складової індукції магнітного поля Землі від геомагнітної широти.
11. Проведена апроксимація залежності горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі від геомагнітної широти.
12. Апроксимована залежність індукції поля однорідного намагнічування земної кулі від геомагнітної широти.
13. Отримана формула залежності магнітного моменту земної кулі від широти.
14. Досліджена залежність сили струму тангенціального гальванометра від широти пункту спостереження.
15. Представлена вертикальна складова індукції геомагнітного поля Землі через горизонтальну.

ЛІТЕРАТУРА

1. Белова Н.А. Курс сферической астрономии. М.: Недра, 1971,-182 с.
2. Біленко І.І. Фізичний словник.-2-е вид., перероб. і доповн.- К.: Вища школа, 1993, – 319 с.
3. Васильєва Л.Д., Медведенко Б.І., Якименко Ю.І. Напівпровідникові прилади: Підручник. – К.:ІВЦ „Видавництво „Політехніка””, 2003, – 388 с.
4. Власов А.Д., Мурин Б.П. Единицы физических величин в науке и технике: Справ очник. – Энергоатомиздат, 1990, – 176 с.
5. Гершунський Б.С. Основы электроники и микроэлектроники: Учебник. – 4-е изд. Перероб. и доп. – К.: Вища школа, 1989, – 423 с.
6. Геодезичний енциклопедичний словник. За ред. В. Латинського. Львів, Євро світ, 2001, – 668 с.
7. Детлар А.Д., Яворський В.И. Курс общей физики. – М.: Наука, 1989, – 608 с.
8. Деденко Л.Г.,Керженцев В.В. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента. М.: МГУ, 1977, – 112 с.
9. Зайдель А.И. Ошибки измерений физических величин. Ленинград,: Наука, 1974, – 108 с.
10. Кабардин О.Ф. Фізика. Справ. Материалы. Учебн. пособ. Для учащихся. М.: Просвещение, 1991, – 367 с.
11. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справ очник по элементарной физике. М.: Наука, 1972, – 255 с.
12. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т.1.–К.: Техніка, 1999, – 536 с.
13. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т.2.–К.: Техніка, 2001, – 452 с.
14. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Загальний курс фізики. Т.3.– К.: Техніка, 1999, – 520 с.
15. Літнарівч Р.М. Основы математики. Дослідження результатів психолого-педагогічного експерименту поліноміальною функцією. Навчальний посібник. Частина 7. МЕНУ, Рівне, 2006, 20 с.
16. Афанасьєва О.М., Бродський Я.С., Павлов О.Л. та інші. Математика. – К.: Вища школа,2002, – 448 с.
17. Соколенко О.І. Вища математика. Підручник. –К.: „Академія”, 2003, – 432 с.
18. Пастушенко С.М. Загальна фізика: механіка: навчальний посібник. – К.: Техніка, 1999, – 520 с.
19. Пастушенко С.М. Формули і закони загальної фізики: навчальний посібник для студентів ВНЗ. 2-е видання:Діал., 2005, – 268 с.
20. Почтарьов В.Н., Михлик Б.З. Тайна математической Земли. М.: Педагогіка, 1986, – 112 с.
21. Мудров В.Н, Кушко В.Л. Методы обработки измерений. М.: Сов. радио, 1976, – 192 с.

Літнарівч Руслан Миколайович
доцент, кандидат технічних наук

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ МІЖ
ГЕОГРАФІЧНОЮ І
ГЕОМАГНІТНОЮ СИСТЕМАМИ
КООРДИНАТ

Частина 2

Комп'ютерний набір, верстка, редагування і дизайн у
редакторі Microsoft Office 2003: **Штиба Леонід
Васильович.**

Міжнародний Економіко-гуманітарний університет
імені академіка С. Дем'янчука, 4.