

УДК 551.510; 550.380.8

Т. П. Сумарук

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України, Київ

ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБОРУ, ОБРОБКИ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ДАНИХ ГЕОМАГНІТНИХ ОБСЕРВАТОРІЙ УКРАЇНИ

Приведено характеристики приладів для точних вимірювань абсолютних значень напруженості магнітного поля Землі та його складових на геомагнітних обсерваторіях України згідно з вимогами INTERMAGNET. Описано методику вимірювань та подано схему обробки та збору результатів для створення банку даних спостережень геомагнітних обсерваторій України.

Основну роль в дослідженні геомагнітного поля Землі відіграють геомагнітні обсерваторії. Першу сітку геомагнітних обсерваторій було створено ще на початку 19 століття. Основна функція обсерваторій — давати високоточні значення елементів магнітного поля Землі і їхні неперервні зміни в часі в даному місці. Дані, які отримують геомагнітні обсерваторії, широко використовуються в різних галузях науки і техніки, зокрема при вивченні сонячно-земних зв'язків, космічних дослідженнях, пошуках корисних копалин, геофізичній екології та ін.

В Україні є три геомагнітні обсерваторії Інституту геофізики НАН України «Київ», «Львів», «Одеса», які розпочали свою роботу ще на початку 20 століття і ведуть неперервний запис елементів магнітного поля Землі. Крім цього, Україна провадить комплекс неперервних геофізичних досліджень в Антрактиді на обсерваторії «Академік Вернадський». Спостереження за змінами геомагнітного поля періодично ведуть також близько десяти установ Національної академії наук та галузевих інститутів.

Координація діяльності світової сітки обсерваторій виконується Міжнародною асоціацією з геомагнетизму і аерономії IAGA, що входить у склад Міжнародного геодезичного та геофізичного союзу IUGG. Обсерваторії, які

досягли якості рівня даних до вимог міжнародних стандартів, входять до міжнародної сітки INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network). В даний час INTERMAGNET нараховує понад 100 обсерваторій, серед яких обсерваторії «Львів» та «Академік Вернадський». Членство геомагнітної обсерваторії «Київ» вирішується в даний час.

З розвитком наукових досліджень та поставлених прикладних задач підвищуються вимоги до якості спостережень на обсерваторіях, відповідно і підвищуються вимоги до технічних характеристик приладів, що використовуються. Якщо декілька десятиріч тому точність вимірювання елементів геомагнітного поля становила 5–10 нТл [1], то на даний час вона становить 0.1–1 нТл.

При виконанні спостережень на обсерваторіях використовують два типи приладів: варіаційні та абсолютні. До варіаційних приладів належать магнітоваріаційні станції (МВС). На українських обсерваторіях працює два типи МВС. Перший: МВС побудовані на торсійних фотоелектричних датчиках системи Боброва (PSM) виробництва Інституту геофізики Польської академії наук, другий — МВС з трьохкомпонентним ферозондовим датчиком (LEMI) виробництва Львівського центру Інституту космічних досліджень Національної академії наук України. Технічні характеристики станцій подано нижче.

Технічні характеристики LEMI–008

Діапазон вимірювань магнітного поля по цифровому індикатору	± 65000 нТл
Роздільна здатність по цифровому індикатору	0.1 нТл
Діапазон вимірювань варіацій магнітного поля (після компенсації)	± 2600 нТл
Роздільна здатність при вимірюванні варіацій	0.01 нТл
Діапазон вимірювань по аналоговому виходу	± 500 нТл
Коефіцієнт перетворення по аналоговому виходу	10 мВ/нТл
Температурний дрейф	< 0.2 нТл/°C
Ширина смуги частот на аналоговому виході	0—1 Гц
Рівень шуму на аналоговому виході у смузі частот 0.03—1 Гц	< 10 пкТл
Похибка неортогональності магнітних осей	$< 30^\circ$
Діапазон автоматичної установки компенсаторного поля по кожній складовій	± 65000 нТл
Об'єм внутрішньої FLASH-пам'яті	8 МБ
Цифровий вихід	RS-232

GPS-синхронізація та визначення координат

Діапазон робочих температур	$-5\dots+40$ °C
Роздільна здатність давачів температури	1 °C
Живлення	12 В; 0.15 А
Вага давача з підставкою	3.0 кг
Вага електронного блоку	1.5 кг
Довжина з'єднувального кабеля	5 м

Технічні характеристики PSM–8411

Максимальна чутливість	3 пТл
Величини реєстрації магнітного поля:	
Х-складова	10000 — 30000 нТл
У-складова	$-10000\dots+10000$ нТл
Z-складова	30000 — 60000 нТл
Лінійність перетворення	< 0.05 %
Чутливість до перехилень	< 10 нТл/мінуту
Термічний коефіцієнт	0.25 нТл/град
Максимальна потужність	12 Вт
Робоча температура	0 °C ... +40 °C
Час дискретності	1 с — 1 год

Основною характеристикою роботи МВС є стабільність їхніх базових ліній або нульового рівня. Згідно з вимогами INTERMAGNET [3] вони повинні змінюватися не більше ніж на 5 нТл за рік.

Багато факторів впливають на стабільність баз, зокрема:

- стабільність постаменту під МВС,
- стабільність температури павільйону,
- стабільність вологості,
- наявність зовнішніх завад (близькість до ліній електропередач, магнітних предметів тощо).
- внутрішні фактори, пов'язані безпосередньо з МВС.

Суттєвим у цьому випадку є розміщення МВС. Вибирається місце, максимально віддалене від густонаселеної території, ліній електропередач, електричних залізничних ліній постійного струму та промислових підприємств. Враховуються також найближчі аномалії земної поверхні (градієнт поля в даній точці повинен бути мінімальним) [4].

Що стосується роботи МВС (PSM та LEMI) при виконанні перелічених вище умов, стабільність баз відповідає вимогам INTERMAGNET до роботи геомагнітних обсерваторій.

Дані з МВС фільтруються за допомогою цифрового фільтра Гауса і записуються на цифровому носії. У випадку LEMI — це flash-пам'ять, у випадку PSM — цифровий мікропроцесорний реєстратор DR-02. Цифрові реєстратори DR-02 мають 16-бітні бінарні перетворювачі, внутрішню пам'ять, що підтримується батареєю на випадок відімкнення зовнішнього джерела, годинник часу реєстрації, роз'єми для з'єднання з комп'ютером RS-232 та вихід для з'єднання з радіогодинником для неперервної корекції часу реєстрації з точністю до 1 с. Зчитування інформації відбувається автоматично із заданою дослідником частотою (від 1 с до 1 год).

Принцип роботи апаратури показано на рис 1.

Магнітометри, реєстратор, радіогодинник та комп'ютер, що збирає та перетворює геомагнітні дані, підключені до автономної системи живлення, що дозволяє працювати приладам після зникнення напруги 220 В в мережі до декількох місяців.

Окрім того, запас пам'яті МВС та незалежні блоки живлення дозволяють використовувати дані станцій у польових умовах (для геологічних пошуків, на пунктах вікового ходу та інше). МВС працюють на обсерваторіях неперервно.

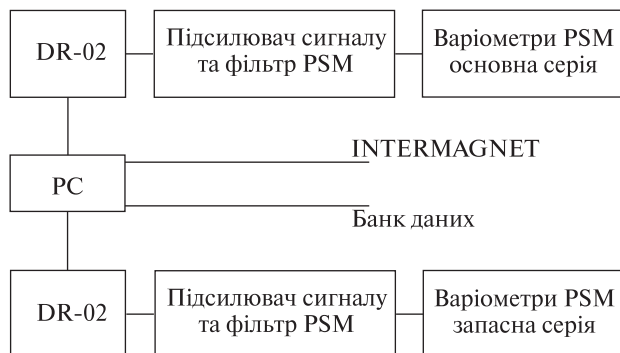


Рис. 1. Схема цифрової реєстрації та обробки даних на геомагнітній обсерваторії «Львів»

До абсолютних приладів належать магнітометри DI-fluxgate та протонні магнітометри. Магнітометри DI-fluxgate складаються з двох частин:

1) немагнітного теодоліта. На українських обсерваторіях це TAVISTOCK, ZEISS, ЗТК2КП та блок електроніки. Роздільна здатність та похибка вимірювання теодолітів складає 1" (технічні характеристики подано нижче).

2) протонні магнітометри, що вимірюють абсолютну величину повного вектора поля з точністю 0.1 нТл.

Технічні характеристики магнітометра DI-fluxgate TAVISTOCK

Межі вимірювань	±200 нТл
Точність вимірювань	0.1 нТл
Дрейф нуля (12–13.5 В)	<0.2 нТл
Дрейф нуля (-5...+40 °С)	<0.2 нТл
Смуга пропуску	0–3 Гц
Рівень шумів	<0.1 нТл пік-пік при 0–3 Гц

Для передачі даних спостережень обсерваторія повинна бути обладнана неперервним зв'язком з МЦД (бажано через інтернет).

Комплект апаратури сучасної обсерваторії повинен відповідати таким вимогам [2]:

Магнітно-варіаційна станція

Роздільна здатність	0.1 нТл
Динамічний діапазон (для середніх широт)	±60000 нТл
Частотний діапазон вимірів.	0–0.1 Гц
Частота читування даних	1 Гц
Температурні коефіцієнти	<0.025 нТл/°С
Дрейф базисних ліній.	<5 нТл/рік

<i>Протонний магнітометр</i>	
Роздільна здатність	0.1 нТл
Похибка вимірювань	1 нТл
<i>Магнітометр DI-fluxgate</i>	
Точність вимірювання	1"
Точність часової прив'язки даних	5 с/міс

Для визначення абсолютних значень поля на обсерваторіях проводяться абсолютні спостереження. Для цього використовують магнітометри DI-fluxgate та протонні магнітометри для обчислення повного вектора поля T . За допомогою DI-магнітометра визначають схилення D (кут між геомагнітним та північним меридіанами) та нахилення I (нахил повного вектора поля до прямої, перпендикулярної до горизонту). Є дві методики обчислення D та I :

- 1) метод малих відхилень;
- 2) метод обнулення.

Методику проведення абсолютних вимірювань подано в роботі [2].

Для визначення D використовують так звану «міру». Міра — це точка, для якої точно визначено географічний азимут. Азимут міри визначається за допомогою астрономічних методів.

За відомими абсолютними значеннями D , I , T можна обчислити значення всіх складових поля.

Якість абсолютних спостережень також визначається часом їхнього проведення. Окрім того, на якість спостережень впливає кваліфікація персоналу. Абсолютні вимірювання проводяться з точністю до 1". Для досягнення такої точності необхідно при обчисленні абсолютних значень поля враховувати редукцію (величину зміни поля протягом часу вимірювань). Для того щоб зменшити редукцію, абсолютні спостереження повинні проводитись в магнітно-спокійні дні, але не рідше трьох разів у тиждень.

Отримавши абсолютні виміри, обчислюють бази для МВС за формулою:

$$B_A = A - \varepsilon_A(\alpha - 32768) + q(t - t_0),$$

де A — величина абсолютних спостережень (нТл), ε_A — чутливість величини для варіаційного запису (нТл/біт), α — стала запису (біт), q — термічний коефіцієнт варіометра (нТл/°С), t — температура вимірювань (°С), t_0 — температура, для якої термічний коефіцієнт дорівнює нулю.

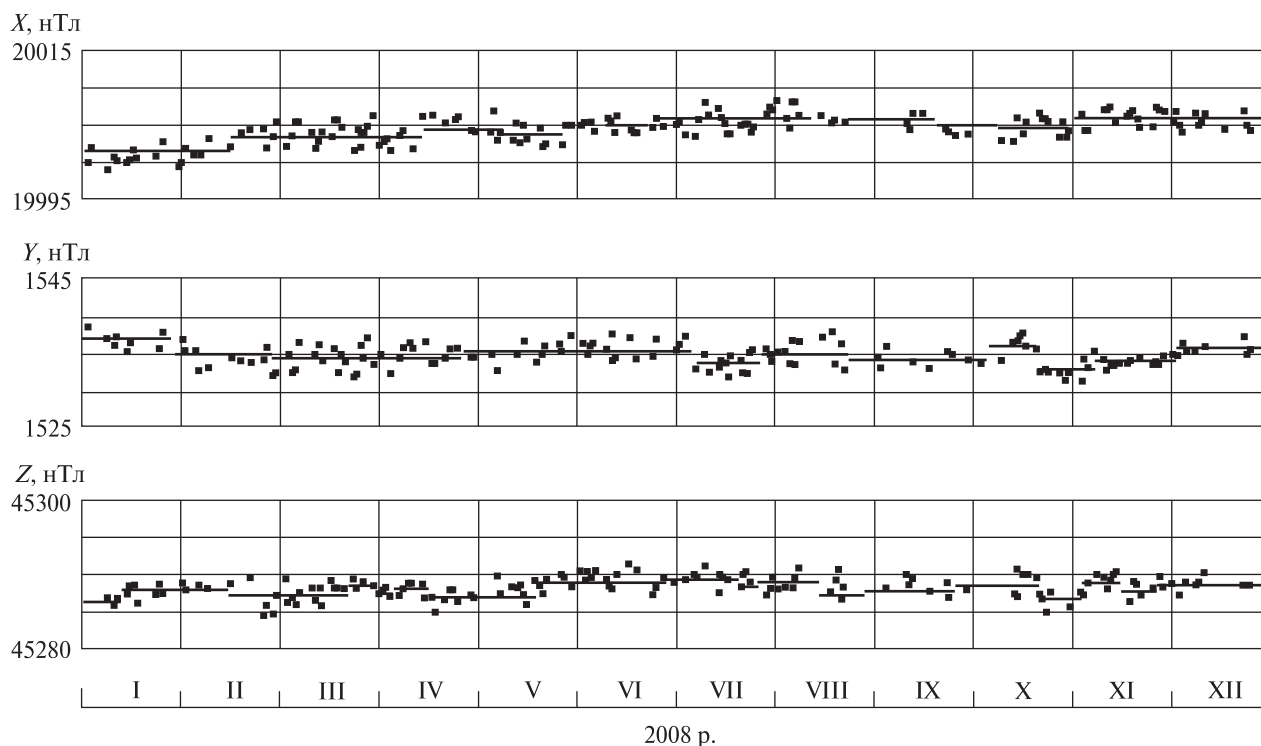


Рис. 2. Базисні значення за 2008 р. для МВС геомагнітної обсерваторії «Львів»

Маючи базову лінію для кожної МВС та величину варіації, отримують абсолютне значення всіх складових та повного вектора поля у будь-який момент часу у вигляді цифрових файлів заданого формату. Для МВС геомагнітної обсерваторії «Львів» базисні значення за 2008 р. подані на рис. 2.

Важливим етапом у процесі геомагнітних спостережень є перевірка отримуваних даних. При отриманні даних з двох МВС рахують різницю величин кожної складової поля. У випадку сталої різниці дані – якісні, в іншому випадку потрібно шукати причину помилки. Середньорічні значення складових поля повинні відповідати величині вікового ходу (різниця середньорічних значень) цих елементів. При дотриманні всіх вимог похибка вимірювань складає не більше 1 нТл для кожної складової геомагнітного поля.

Після перевірки оброблених даних цифрові файли направляються в МЦД (Едінбург, Париж) для збереження та опублікування (видаються на CD-ROM).

Програмно-технічне забезпечення первинної обробки цифрових даних включає такі етапи [2]:

- 1) підготовка файлу миттєвих значень (провірка та редагування миттєвих значень);
- 2) створення добового файлу миттєвих значень в одиницях вимірювань магнітного поля і температури (редукція, введення поправок);
- 3) створення добового файлу хвилиних значень відповідно до вимог INTERMAGNET.

З метою покращення роботи геомагнітних обсерваторій та доведення якості даних до вимог INTERMAGNET в Інституті геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України розробляється програмно-технічне забезпечення збору, обробки та збереження геомагнітних даних. Проводиться систематизація та приведення даних до одного формату, перевірка правильності даних, обрахунок базових значень магніто-варіаційних станцій, отримання абсолютних значень даних всіх складових геомагнітного поля Землі, побудова вікового ходу для всіх елементів геомагнітного поля кожної геомагнітної обсерваторії, порівняння з віковим ходом інших обсерваторій та міжнародною моделлю IGRF. Закладається база для створення банку даних спостережень геомагнітних обсерваторій

України, що дасть можливість отримати оперативний доступ до геофізичної інформації, необхідної для вирішення наукових та прикладних задач.

1. Белоусова М. А. Контроль материалов наблюдений геомагнитной обсерватории. — М.: ИЗМИРАН, 1957. — 29 с.
2. Нечаев С. А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2006. — 139 с.
3. *INTERMAGNET*. Technical Reference Manual. Ver. 4.4, British geological survey, 2008. — 94 p.
4. Jankowski J., Sucksdorf C. Guide for magnetic measurements and observatory practice. — Warszawa: Publ. IAGA, 1996. — 235 p.

Надійшла до редакції 01.10.09

T. P. Sumaruk

A PROGRAM-TECHNICAL COMPLEX FOR ASSEMBLAGE, PROCESSING, AND STORAGE OF DATA FROM UKRAINIAN GEOMAGNETIC OBSERVATORIES

We give the characteristics of the instruments for precise measurements of absolute values of the geomagnetic field intensity and its components at the Ukrainian geomagnetic observatories according to INTERMAGNET requirements. The measurement procedure is described. A scheme for the processing and assemblage of measurement results for the creation of the geomagnetic data bank of Ukrainian geomagnetic observatories is presented.