

Новий підхід у вимірюванні схилення геомагнітного поля

А.М. Андрєєв¹, Е.С. Аппазов², О.С. Багрійчук³,
Є.В. Дуда¹, О.С. Яновський¹, 2026

¹Запорізький національний університет, Запоріжжя, Україна

²Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна

³КЗ «Запорізький обласний центр науково-технічної творчості
учнівської молоді "Грані" Запорізької обласної ради», Запоріжжя, Україна
Надійшла 16 грудня 2025 р.

Важливою науково-технічною задачею є вимірювання елементів земного магнетизму: його конфігурації, розподілу, короткоперіодичних та довгоперіодичних змін, а також зв'язку з іншими явищами, що виникають на Сонці, в атмосфері або всередині Землі. Сучасні прилади можуть з високою точністю вимірювати значення складових геомагнітного поля. Але в деяких випадках, наприклад, під час аварійних ситуацій в морській навігації, звичайний компас може бути незамінним.

Автори пропонують конструкцію приладу, що не поступається за простотою класичному компасу. У цього приладу немає конструктивних недоліків, які пов'язані з наявністю сухого тертя між елементами звичайного компаса. Основна ідея конструкції приладу полягає у використанні рідинної опори. Це дає можливість усунути сухе тертя в приладі, внаслідок чого значно підвищується його чутливість і з'являється можливість вимірювати магнітне схилення геомагнітного поля, а також його варіації.

Наведено результати експериментальних досліджень приладу. Показано, що він може бути використаний для вимірювання схилення геомагнітного поля, а також його змін. Простота у виготовленні та висока чутливість приладу порівняно із звичайним компасом робить його перспективним для використання у багатьох практичних завданнях. Запропонований прилад дає можливість фіксувати навіть незначні зміни магнітного схилення (кутові хвилини) геомагнітного поля внаслідок його короткочасних збурень упродовж доби (добова варіація магнітного схилення). Прилад може бути використаний як портативний автономний пристрій для досліджень в метеорології, геофізиці, навігації.

Ключові слова: магнітне схилення, геомагнітне поле, компоненти магнітного поля Землі, варіації магнітного схилення, компас, рідинна самоцентруюча опора.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Вектор індукції магнітного поля Землі \mathbf{B} у кожній точці певним чином орієнтований відносно площини горизонту та площини істинного меридіана. Важливими елементами земного магнетизму є такі величини: модуль магнітної індукції B ; маг-

нітне схилення D — кут між площинами істинного та магнітного меридіана (зазвичай відраховується від північної частини істинного меридіана на схід або захід у напрямку північної частини магнітного меридіана); магнітне нахилення I (вертикальний кут у площині магнітного меридіана між

Citation: Andreev, A.M., Appazov, E.S., Bahriychuk, O.S., Duda, E.V., & Yanovsky, O.S. (2026). A new approach to measuring geomagnetic field declination. *Geofizychnyi Zhurnal*, 48(2), 77–85. <https://doi.org/10.24028/gj.v48i2.346381>.

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2026. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

вектором **V** і горизонтальною площиною).

Дослідження магнітного поля Землі є важливим завданням. В Україні на сьогодні працюють чотири геомагнітні обсерваторії [Сумарук, Реда, 2025], які вирішують це завдання. Прикладом практичного застосування земного магнетизму є морська навігація. Горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі орієнтує магнітну стрілку в площині магнітного меридіана. Отже, саме знання магнітного схилення відіграє велику роль у морській навігації. Сучасні морські судна та підводні човни зазвичай оснащені гірокомпасом, який має багато переваг щодо інших приладів, але він потребує постійного електричного живлення, має рухомі частини, які потрібно підтримувати в належному стані. Це складне обладнання, схильне до механічних та електричних поломок. Тому один або кілька магнітних компасів все ж зберігаються на борту судна як додаткові або аварійні прилади-курсказівники. Девіаційні роботи з магнітним компасом має виконувати спеціаліст з ґрунтовними знаннями параметрів магнітного поля Землі у певній акваторії (магнітні карти). Магнітний компас застосовують для визначення напрямку морських течій, що також важливо при прокладанні маршруту руху суден.

Магнітне поле Землі використовують під час розв'язання навігаційної задачі автоматичного мобільного об'єкта, зокрема з метою створення пристроїв для визначення магнітного курсу. Автори роботи [Мелешко та ін., 2024] зазначають, що найбільший внесок у визначенні магнітного курсу вносить помилка у визначенні магнітного схилення.

Магнітне схилення не є постійною величиною. Воно змінюється як зі зміною точки спостереження, так і з плином часу. Розрізняють *вікові* та *добові варіації* магнітного схилення. Їх вимірювання потребує спеціальних приладів високої точності. Нині використовують квантові магнітометри, що мають високу точність (частки нТл). За допомогою цих приладів створюють карти магнітного поля та місцевих аномалій.

Отже, вимірювання магнітного схилення та його зміни у часі є важливим завданням геофізичних досліджень. Визначення параметрів геомагнітного поля є водночас важливим і доволі трудомістким завданням, тому розробляються підходи для його спрощення, наприклад: побудова моделей для розрахунку кутових компонент вектора індукції геомагнітного поля [Орлюк та ін., 2025; Сумарук та ін., 2019]. У межах цієї статті запропоновано підхід до побудови приладу, який є простим у виготовленні та дає змогу вимірювати магнітне схилення геомагнітного поля.

Будова приладу. Суттєвим недоліком, що не дає змоги використовувати магнітний компас для вимірювання магнітного схилення та його короткоперіодичних змін з високою точністю, є наявність сухого тертя у класичній конструкції магнітного компаса. Це призводить до виникнення явища застою у такому приладі. Для розв'язання цієї проблеми вже існують конструкції та розробляються нові рідинні компаси (див., наприклад [Sanns, 2016]), у таких приладах намагнічений елемент розташований у рідині всередині прозорого корпусу. Сучасні рідинні компаси мають такі недоліки:

- складність центрування плавучого намагніченого елемента;
- неповне усунення явища застою плавучого намагніченого елемента;
- складність конструкції.

Для розв'язання зазначених проблем пропонуємо прилад, в якому усунено явище застою; прилад достатньо чутливий для вимірювання магнітного схилення геомагнітного поля та має просту конструкцію [Андрєєв та ін., 2025]. Основна ідея полягає у використанні поверхневого натягу рідини для центрування плавучого намагніченого елемента, завдяки чому досягається повна відсутність сухого тертя та, як наслідок, явища застою у приладі. Тож основою приладу є самоцентруюча рідинна опора [Андрєєв, 2013].

Прилад для вимірювання напрямку горизонтальної складової геомагнітного поля складається (рис. 1) з корпусу, що містить основу 1 та прозорий ковпак 2; рідинної

опори, що має підставку 3, лімб 4 з тримачем 5, посудину круглого перерізу 6 з рідиною 7; поворотної частини, що містить плавучий елемент 8, на якому фіксаторами 9 закріплено датчик магнітного поля 10; оптичної частини, що містить плоский дзеркальний елемент 11, джерело напрямленого світла 12, закріплене в тримачі 13, та екран зі шкалою (на рис. 1 не позначено).

Корпус приладу призначений для уникнення механічного впливу на датчик магнітного поля. Рідинна опора сприяє розміщенню поворотної частини приладу, забезпеченню її центрування та повороту разом із датчиком магнітного поля, а також розміщенню лімба з кутовою шкалою для візуального спостереження за відхиленням датчика магнітного поля. Поворотна частина приладу забезпечує поворот датчика магнітного поля на певний кут залежно від зміни зовнішнього магнітного поля (рис. 2).

Явище застою повністю усувається за використання рідинної самоцентруючої опори. Як бачимо на схемі (див. рис. 1), опорою для поворотної частини є лише рідина, що повністю усуває сухе тертя, на відміну від існуючих конструкцій рідинних компасів. Ефект центрування плавучого елемента в цій опорі зумовлений явищем

поверхневого натягу рідини та є наслідком різної форми менісків (опуклої та вгнутої) поблизу поверхонь згаданої вище посудини та плавучого елемента. Одним із можливих способів отримання цього ефекту є використання різних за змочуванням матеріалів для плавучого елемента та корпусу. У межах цього дослідження було застосовано інший підхід: обидві поверхні приладу змочували водою, а для забезпечення центрування поворотної частини приладу посудина була повністю заповнена водою так, що на її відкритій поверхні в зазорі між цією посудиною та плавучим елементом утворився опукло-вгнутий меніск. Вода може бути робочою рідиною у самоцентруючій опорі, оскільки має достатньо велике значення поверхневого натягу. Робочою рідиною може бути й інша рідина, що має достатньо високе значення поверхневого натягу для забезпечення центрування поворотної частини приладу.

Відсутність явища застою дає змогу використовувати цей прилад для вимірювання навіть незначних варіацій (наприклад, добових) магнітного схилення. Для візуальної фіксації таких варіацій має бути

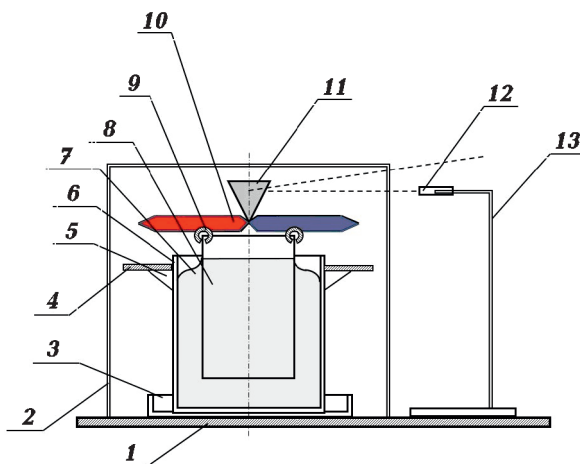


Рис. 1. Прилад для вимірювання магнітного схилення геомагнітного поля.

Fig. 1. The device for measuring the magnetic declination of the geomagnetic field.



Рис. 2. Приклад реалізації конструкції приладу.

Fig. 2. An example of device implementation.

можливість спостерігати малі зміни кута. Тому з метою розширення межі вимірювання зміни кута повороту намагніченого елемента в приладі передбачено використання оптичної системи, що дає змогу вимірювати кут за відхиленням променя на екрані. Для реалізації цього способу на осі обертання стрілки встановлюється пласке дзеркало. Використовується джерело спрямованого світла. Відбитий від дзеркала промінь потрапляє на екран зі шкалою, який розташований на відстані від дзеркала. В експериментальних дослідженнях відстань між екраном і дзеркалом дорівнювала 8 м. Отже, зміна кута магнітної стрілки на малі значення може бути зафіксована візуально. Цей спосіб вимірювання кута відхилення стрілки було використано в усіх експериментах із рідинною самоцентруючою опорою. Також цей спосіб фіксації може бути застосований для автоматизації процесу фіксування та збереження даних щодо зміни магнітного схилення шляхом використання оптичної матриці на екрані. У такому випадку екран може бути розташований поблизу корпусу приладу, оскільки роздільна здатність оптичної матриці дає змогу фіксувати малі відхилення світної точки.

Експериментальне дослідження приладу. Для перевірки можливостей запропонованого приладу та порівняння його з іншими пристроями аналогічного призначення було проведено серію дослідів.

У першому досліді було перевірено реакцію приладу на збурення зовнішнього магнітного поля. У ході цього експерименту після встановлення магнітної стрілки у площині магнітного меридіана на деякій відстані від стрілки встановлювали полосовий магніт у її площині (горизонтальній) на

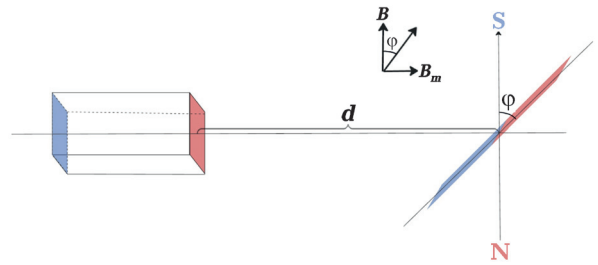


Рис. 3. Схема досліду з вимірювання відхилення магнітної стрілки за зміни зовнішнього магнітного поля.

Fig. 3. Scheme for measuring the deviation of a magnetic needle when an external magnetic field changes.

прямій, що проходить через її центр перпендикулярно до її початкового положення (рис. 3). Було зафіксовано кути, на які відхиляється магнітна стрілка приладу внаслідок розташування полосового магніту на різних відстанях від стрілки. За відстань між магнітом і стрілкою брали відстань від найближчої до стрілки грані полосового магніту і центром магнітної стрілки.

Цей дослід було проведено із декількома приладами, а саме: магнітна стрілка на рідинній самоцентруючій опорі, класичний магнітний компас у закритому корпусі з набору фізичного лабораторного обладнання, демонстраційна магнітна стрілка на вістрі. У двох із зазначених вище приладів існує сухе тертя, а отже, можливе й явище застою. У результаті дослідів для цих двох приладів були зафіксовані відстані d від полосового магніту, за яких магнітна стрілка припиняє реагувати на зміни зовнішнього магнітного поля (таблиця). У таблиці також вказані кути ϕ , на які відхилялась магнітна стрілка на рідинній опорі за тієї самої відстані від даного полосового магніту, та відповідні цим кутам відношення магнітної індукції B_m , створеної полосовим магнітом,

Граничні відстані d від полосового магніту, за яких не фіксується відхилення магнітної стрілки приладу від початкового положення в результаті явища застою, і відповідні їм значення ϕ , на які відхиляється стрілка на рідинній опорі

Прилад	d , м	ϕ , рад	B_m/B
Демонстраційна магнітна стрілка на вістрі	0,7	0,157	0,158
Магнітний компас у закритому корпусі	1,2	0,025	0,025

до магнітної індукції B геомагнітного поля (оцінено за кутом φ). Відповідно до наведених даних вимірювання зміни магнітного схилення приладами (див. таблицю) обмежено явищем застою.

Дослід, проведений із магнітною стрілкою, що закріплена на рідинній опорі (рис. 4), демонструє можливість реєстрації цим пристроєм значно менших змін зовнішнього магнітного поля, ніж були здатні зареєструвати прилади із можливим явищем застою. Зазначимо, що в рідинній самоцентруючій опорі було використано ту саму магнітну стрілку, що була закріплена на вістрі в попередньому досліді.

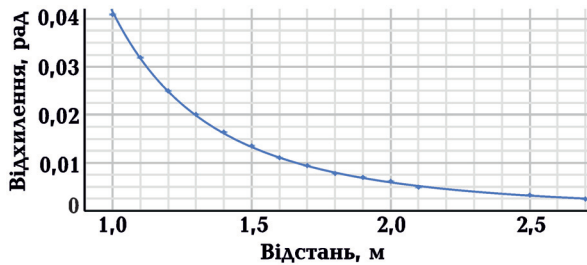


Рис. 4. Залежність відхилення магнітної стрілки, розташованої на рідинній самоцентруючій опорі, від відстані до магніту. Суцільною лінією позначено апроксимуючу функцію.

Fig. 4. The deviation of a magnetic needle located on a fluid self-centering support on the distance to a magnet. The solid line indicates the approximating function.

Апроксимуюча функція на рис. 4 є степеневою:

$$\varphi = (r/R)^\alpha,$$

де φ — кут відхилення стрілки; r — відстань між постійним магнітом і стрілкою; R та α — параметри апроксимуючої функції. Для наведених результатів отримано такі значення параметрів: $\alpha = -2,81$, $R = 0,32$ м. Якщо апроксимувати, прибираючи точки, які відповідають найменшій відстані r , то значення параметра α зменшується, з чого можна дійти висновку, що воно прямує до значення $\alpha = -3$. Це є очікуваним результатом, оскільки відхилення, за малих кутів, має бути пропорційним величині магнітного поля, в якому розміщено магнітну стрілку.

Згідно з наведеними даними в результаті усунення явища застою, виникла можливість вимірювати зміни магнітного схилення з точністю порядку одиниць мілірадіана та вище. З метою демонстрації можливості вимірювання досліджуваним приладом зміни схилення геомагнітного поля було проведено серію дослідів.

У наступному досліді використано дві установки, які були рознесені у просторі так, що вони не впливали на покази одна одної. Упродовж 40 хв фіксували зміни положень магнітних стрілок цих приладів (рис. 5). На рис. 5, 6 за «нуль» було обрано середнє значення схилення впродовж вимірювання. Порівняння двох залежностей показало, що поведінка приладів була в цілому близькою. Положення стрілок у більшості точок відрізнялись на значення не більш як 0,5 мрад. При цьому слід зазначити, що прилади не були повністю ідентичними — такі параметри, як відстані між обертовою та нерухомою частинами, момент інерції обертової частини приладів різнилися. Це зумовило відмінності в отриманих залежностях.

З результатів цього досліді можна дійти висновку, що відхилення магнітних стрілок було дійсно спричинено взаємодією з магнітним полем Землі. Якби на покази одного з приладів впливав інший чинник, кореляцію між двома результатами не спостерігали б. Отже, магнітна стрілка, що розташована на самоцентруючій рідинній опорі, може бути використана для вимірювання незначних, зокрема добових, змін магнітного схилення.

У наступному досліді вимірювали короточасні зміни магнітного схилення для порівняння отриманих результатів з даними магнітної обсерваторії. Зміни геомагнітного схилення фіксували візуально із використанням оптичної системи. Для отримання значень геомагнітного схилення згідно з обсерваторними даними було використано дані, отримані в мережі Intermagnet (<https://intermagnet.org/>) для обсерваторії «Львів» (LVV). Значення геомагнітного схилення розраховано за формулою

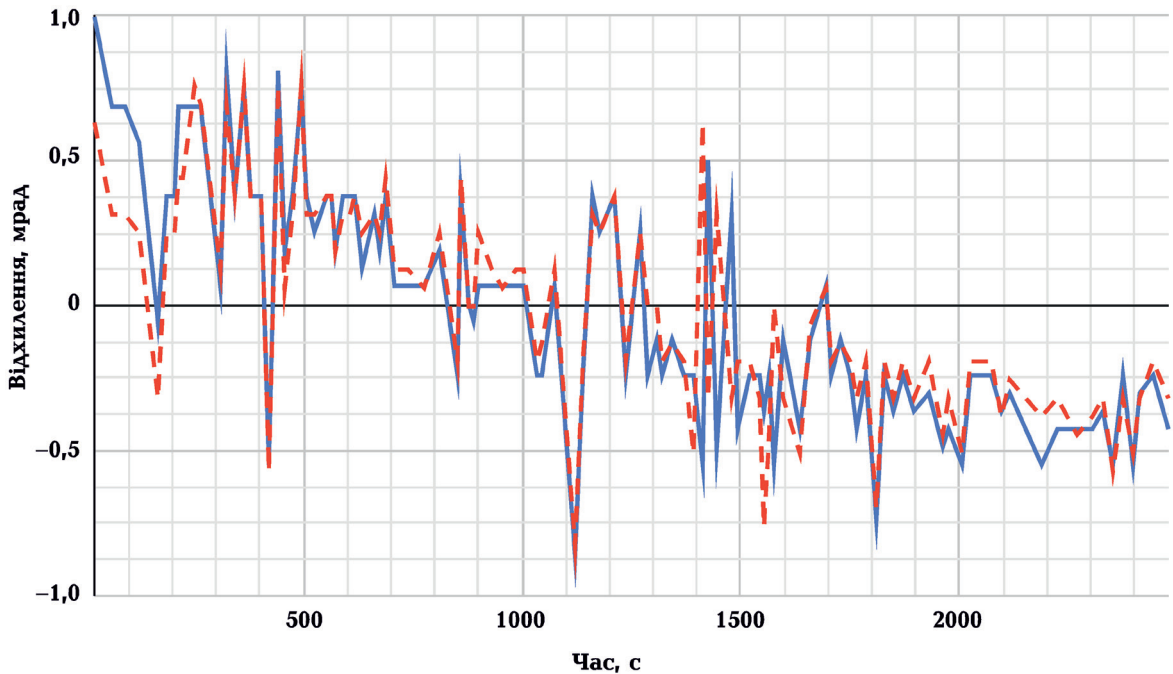


Рис. 5. Зміни магнітного схилення, отримані двома приладами одночасно.

Fig. 5. Magnetic declination changes obtained by two devices at the same time.

$$D = \arctg(B_E/B_N),$$

де B_E , B_N — «східна» та «північна» компоненти індукції геомагнітного поля.

Деякі з отриманих результатів ілюструє рис. 6. Для всіх залежностей за «нуль» на всьому проміжку часу прийнято середнє значення магнітного схилення. В обсерваторних даних кожна точка відповідає проміжку часу в 60 с. Тож представлені на графіках криві проходять через точки, що відповідають усередненим на таких самих часових проміжках значенням, які отримані компасом на рідинній самоцентруючій опорі.

Отже, наведені на графіках залежності є в цілому близькими: зміни геомагнітного схилення з часом є близькими для всіх отриманих залежностей; залежностям із більшим діапазоном значень геомагнітного схилення, отриманим за даними магнітної обсерваторії, відповідають залежності з більшим діапазоном значень, отриманих магнітною стрілкою на рідинній самоцентруючій опорі. Слід зазначити, що вимірювання за допомогою досліджуваного приладу проводились у Запоріжжі, а об-

серваторні дослідження — у Львові. Цим можна пояснити розбіжності на деяких з наведених залежностей. Також певні відмінності між отриманими нами експериментальними залежностями та «еталонними» кривими (побудованими за даними магнітної обсерваторії) можна пояснити малою щільністю точок, отриманих досліджуванім приладом. Наприклад, кожній точці залежності (рис. 6, e) відповідає проміжок часу в 20 с. Інші залежності, що краще збігаються з еталонними, містять більшу кількість експериментальних точок на одиницю часу. Отже, на думку авторів, компас із самоцентруючою рідинною опорою був достатньо чутливим для вимірювання короткочасових змін геомагнітного поля.

Висновки. Розміщення магнітної стрілки на рідинній опорі дає змогу створити прилад, що є достатньо чутливим для вимірювання магнітного схилення геомагнітного поля, а також його зміни. Отриманий у такий спосіб прилад є простим у виготовленні. Використання оптичної системи в цьому приладі дає змогу як підвищити точність результатів у разі візу-

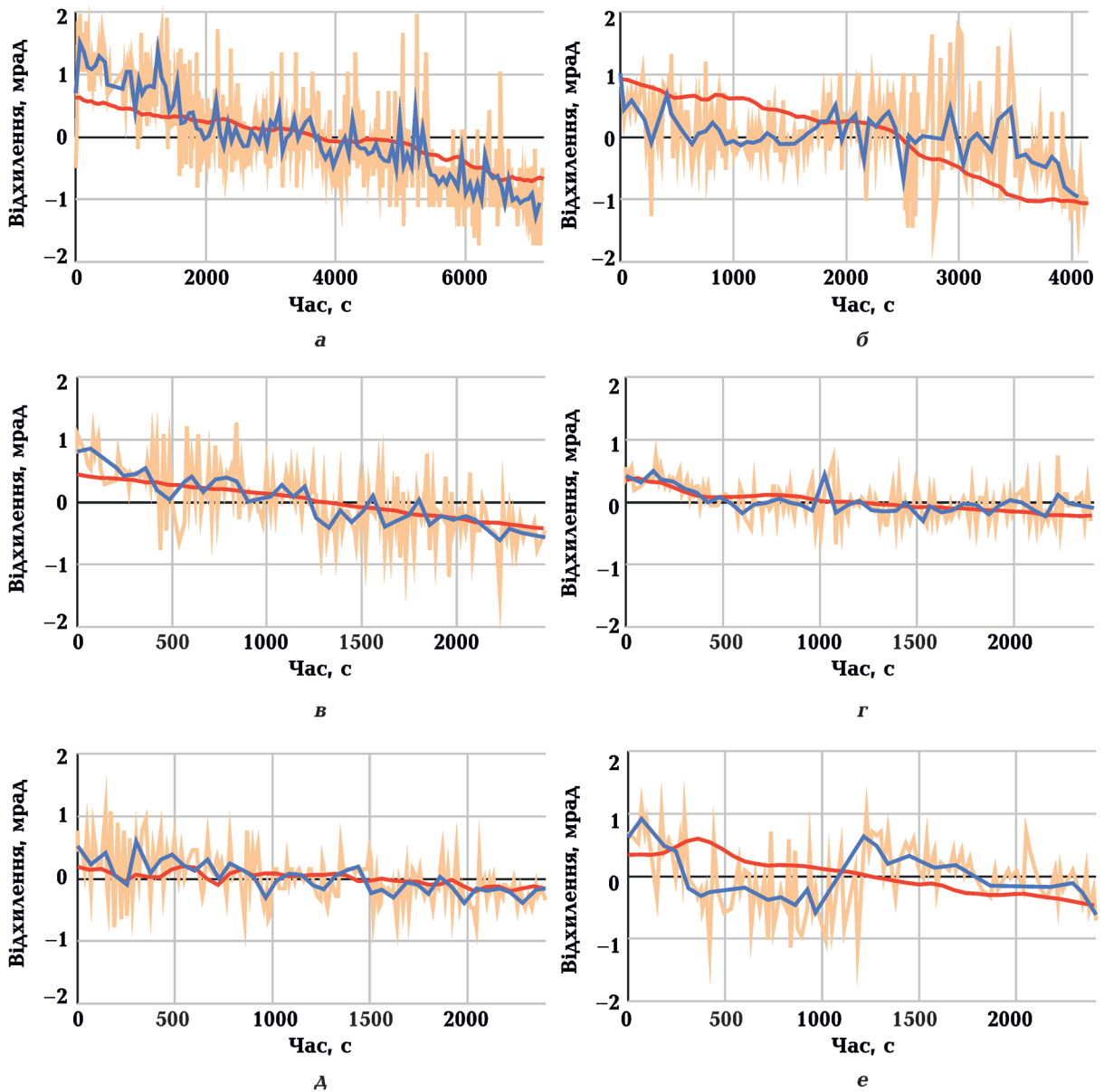


Рис. 6. Зміни магнітного схилення з часом. Червоними лініями позначено дані, отримані за результатами, наданими магнітною обсерваторією «Львів» LVV; жовтими лініями поєднані значення, виміряні досліджуваним приладом; синіми лініями — точки, отримані шляхом усереднення значень, виміряних досліджуваним приладом. Дата та час початку вимірювань за UTC: *а* — 17.06.25, 07:00; *б* — 13.06.25, 07:50; *в* — 25.06.25, 08:30; *г* — 20.06.25, 10:00; *д* — 27.06.25, 07:30, *е* — 16.06.25, 09:30.

Fig. 6. Changes in magnetic declination. The red lines reproduce the declinations calculated from data from the LVV magnetic observatory; the yellow lines connect the values obtained by the device; blue lines connect the points obtained by averaging the values obtained by the device. Date and time of measurement start in UTC time: *a* — 17.06.25, 07:00; *б* — 13.06.25, 07:50; *в* — 25.06.25, 08:30; *г* — 20.06.25, 10:00; *д* — 27.06.25, 07:30, *е* — 16.06.25, 09:30.

ального зняття даних, так і робить можливим автоматизацію фіксації результатів вимірювань.

У межах експериментальних досліджень продемонстровано високу чутливість досліджуваної моделі приладу. За даними

досліджень можна зробити висновок, що наведений прилад дає змогу вимірювати магнітне схилення геомагнітного поля з високою точністю, достатньою для фіксації його змін у коротких часових інтервалах — година, хвилина та менших.

Список літератури

- Андреев А. *Рідинна самоцентруюча опора*. Пат. 82979 Україна: МПК (2013.01) G12B 9/00. № u2013 01592; заявл. 11.02.2013; опубл. 27.08.2013. Бюл. № 16.
- Андреев А., Аппазов Е., Багрійчук О., Дуда Є., Яновський О. *Прилад для вимірювання напрямку горизонтальної складової геомагнітного поля*. Заявка на корисну модель № u2025 03253; заявл. 04.07.2025.
- Мелешко В.В., Тарнавський С.В., Загірський А.В. Визначення орієнтації за використанням магнітного поля Землі. *Механіка гіроскопічних систем*. Вип. 48. 2024. С. 44—55. <https://doi.org/10.20535/0203-3771482024317885>.
- Орлюк М.І., Марченко А.В., Роменець А.О., Бакаржієва М.І., Орлюк І.М. Розрахунок силових та кутових компонент вектора індукції геомагнітного поля території України. *Геофіз. журн.* 2025. Т. 47. № 2. С. 120—124. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322472>.
- Сумарук Ю.П., Реда Я. Становлення, розвиток і сучасний стан геомагнітних обсерваторій України. *Геофіз. журн.* 2025. Т. 47. № 2. С. 326—332. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322572>.
- Сумарук Ю.П., Янків-Вітковська Л.М., Джуман Б.Б. Моделювання регіонального магнітного поля з використанням сферичних функцій: теоретичний аспект. *Геофіз. журн.* 2019. Т. 41. № 1. С. 180—191. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158872>.
- Sanns, F. (2016). *Fluid or low friction permanent magnet compass*. Patent No. US9234753B2.

A new approach to measuring geomagnetic field declination

**A.M. Andreev¹, E.S. Appazov², O.S. Bahriychuk³,
E.V. Duda¹, O.S. Yanovsky¹, 2026**

¹Zaporizhzhia National University, Zaporizhzhia, Ukraine

²Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine

³Community Center «Zaporizhzhia Regional Center for Scientific and Technical Creativity of Students "Grani" of the Zaporizhzhia Regional Council», Zaporizhzhia, Ukraine

It is essential to measure the components of Earth's magnetism, including its configuration, spatial distribution, short-term and long-term variations, and its relationship with other phenomena originating on the Sun, in the atmosphere, or within the Earth. Modern instruments enable high-precision measurements of the components of the geomagnetic field. However, in certain situations — such as emergencies in marine navigation — a conventional compass may remain indispensable.

The authors propose a device whose design rivals the simplicity of the classical compass. This instrument eliminates the structural drawbacks of dry friction between the elements of a conventional compass by using a fluid support, which removes dry friction within the device, thereby significantly increasing its sensitivity and enabling the measurement of magnetic declination and its variations.

The results of experimental investigations of the device are presented. It can measure the geomagnetic field's declination and its temporal changes. Its simple construction and high sensitivity compared to a standard compass make it a promising tool for numerous practical applications. The device is capable of detecting even minute variations (on the order of arc minutes) in magnetic declination caused by short-term disturbances over the

course of a day (diurnal variation). The instrument can function as a portable autonomous device for research in meteorology, geophysics, and navigation.

Key words: magnetic declination, geomagnetic field, components of the Earth's magnetic field, variations in magnetic declination, compass, fluid self-centering support.

References

- Andreev, A. (2013). *Fluid self-centering bearing*. pat. 82979 Ukraine: № u2013 01592.
- Andreev, A., Appazov, E., Bagriyuk, O., Duda, Y., & Yanovsky, O. (2025). *Device for measuring the direction of the horizontal component of the geomagnetic field*. Invention (Utility Model) Applications № u2025 03253.
- Meleshko, V.V., Tarnavskiy, S.V., & Zagirskiy, A.V. (2024). Determination of orientation using the Earth's magnetic field. *Mechanics of Gyroscopic Systems*, (48), 44—55. <https://doi.org/10.20535/0203-3771482024317885> (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I., Marchenko, A.V., Romenets, A.O., Bakarzhieva, M.I., & Orlyuk, I.M. (2025). Calculation of the force and angular components of the induction vector of the geomagnetic field of the territory of Ukraine. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(2), 120—124. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322472> (in Ukrainian).
- Sumaruk, Yu.P., & Reda, Ja. (2025). Formation, development and current state of geomagnetic observatories of Ukraine. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(2), 326—332. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322572> (in Ukrainian).
- Sumaruk, Y.P., Yankiv-Vitkovska, L.M., & Dzman, B.B. (2019). Modeling the regional magnetic field using spherical functions: theoretical aspect. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 41(1), 180—191. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158872> (in Ukrainian).
- Sanns, F. (2016). *Fluid or low friction permanent magnet compass*. Patent No. US9234753B2.