

УДК 681.371

С.В. Герасимов, Г.М. Зубрицький, О.І. Тимочко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО СТВОРЕННЯ ВІЙСЬКОВОГО ЕТАЛОНУ ОДИНИЦІ МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ ЗМІННОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ

В статті за результатами аналізу показана необхідність удосконалення засобів вимірювальної техніки та нормативної бази з вимірювання параметрів магнітної індукції змінного магнітного поля кораблів Військово-Морських Сил Збройних Сил України, досліджено державну метрологічну схему передачі розміру одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля. Обґрунтовані пропозиції щодо створення військового еталону одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля. Результати пропонується впровадити при закупівлі (розробці) військового еталону одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля для Військово-Морських Сил Збройних Сил України.

**Ключові слова:** вихідний еталон, магнітна індукція змінного магнітного поля, метрологічна схема

### Вступ

**Постановка проблеми.** У обстановці відходу від доктрини ядерної війни в багатьох країнах підвищився інтерес до звичайних видів озброєнь, зокрема сил і засобів мінної війни.

Морська мінна війна визначається як комплекс заходів щодо використання мінної та протимінної зброї з метою знищення й ускладнення дій сил протиторпедної сторони, оборони свого узбережжя й своїх Військово-Морських Сил (ВМС), а також створення сприятливих умов для використання останніх [1, 2].

Підвищення ролі морської мінної зброї обумовлено такими чинниками.

1. Морські міни дають можливість будь-якій прибережній державі вирішувати завдання своєї оборони з морського напрямку доволі раціональним способом.

2. Морська мінна зброя – найбільш ефективний і дешевий вид морської зброї.

Тому в сучасних умовах мінна зброя розглядається як один із найважливіших засобів для використання в збройній боротьбі на морі, а за критерієм “ефективність – вартість – наслідок” вона претендує на одне з перших місць серед звичайних засобів морської зброї.

Дієвим способом захисту військових кораблів і підводних човнів від морської мінної зброї є зниження рівня їх фізичних полів, особливо магнітного; зниження помітності для донних і якірних мін; поліпшення технічних характеристик кораблів-шукачів мін [3].

Але зниження рівня магнітних полів кораблів ВМС Збройних Сил (ЗС) України для підвищення їх стійкості до магнітних протикорабельних мін і торпед неможливе без створення системи передачі одиниць магнітних величин від державного еталону одиниці магнітної індукції до робочих засобів вимірювання. Ця проблема обумовлена недосконалістю необхідних еталонів одиниць фізичних величин ма-

гнітних полів в метрологічних підрозділах ВМС ЗС України.

**Аналіз літератури.** Світові тенденції розвитку морської мінної зброї полягають у збільшенні дальності виявлення кораблів-цілей із значно зниженими рівнями фізичних полів; рішенні завдань ураження швидкісних цілей, у тому числі підводних човнів та кораблів із динамічними принципами підтримки; модернізації існуючих та розробці перспективних уніфікованих та універсальних за цілями багатоканальних підричкових; зниженні помітності донних та якірних мін; підвищенні вибіркової спроможності мін, протиторпедної стійкості, оптимізації вибору цілі з декількох; просторовооптимізованих траєкторій атаки; поліпшенні вагогабаритних характеристик, створенні комплексів, адаптованих за габаритами до авіаційних та човнових носіїв флотів світу [1 – 4].

Так, у ВМС США та НАТО ведуться інтенсивні роботи щодо удосконалення та розробки нових зразків мінної зброї, а також сил та засобів захисту від неї [4].

Магнітним полем корабля є область простору, в межах якої виявляються зміни магнітного поля Землі, обумовлені присутністю корабля (рис. 1).

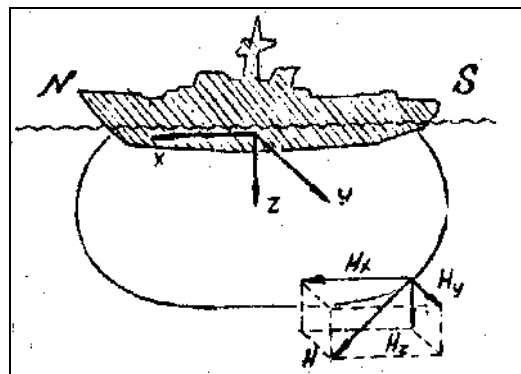


Рис. 1. Магнітне поле корабля

Магнітне поле корабля утворюється як результат від накладення декількох полів: постійного (статичного) і індуктивного (динамічного) намагнічування.

Постійне намагнічування отримується кораблем під дією земного магнітного поля, головним чином в період будівництва, і залежить від:

- розташування корабля щодо напрямку і величини ліній напруженості магнітного поля Землі в місці будівництва;
- магнітних властивостей матеріалів, з яких будується корабель (залишкова намагніченість);
- співвідношення головних розмірів корабля, розподілу і форм залізних мас на кораблі;
- технологій споруди корабля (кількості клепааних і зварних з'єднань).

Для кораблів, побудованих цілком з феромагнітних матеріалів, періодично здійснюється контроль рівня їх магнітного поля і при перевищенні допустимого рівня проводиться розмагнічування корабля. Існує безобмотувальне та обмотувальне розмагнічування. Перше реалізується за допомогою спеціальних судів або на станціях безобмотувального розмагнічування, друге передбачає наявність на самому кораблі стаціонарних обмотувань (кабелів) і спеціальних генераторів постійного струму, які разом з апаратурою управління та контролю складають пристрій, що розмагнічує корабель.

Для захисту кораблів від магнітних мін використовуються активні (тралення за допомогою неконтактних магнітних й електричних тралів) та пасивні (розмагнічування кораблів) методи. Вдосконаленню військового еталону одиниці магнітної індукції для проведення метрологічного обслуговування техніки для вимірювання рівнів магнітних полів кораблів та проведення їх подальшого розмагнічування присвячена дана стаття.

**Мета статті** полягає в науковому обґрунтуванні пропозицій щодо удосконалення військового еталону одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля для ВМС ЗС України.

### Основна частина

Нормативна основа метрологічного забезпечення магнітних вимірювань в Україні базується на державних первинних еталонах одиниць магнітної індукції, магнітного потоку, магнітного моменту та відповідних схемах передачі одиниць фізичних величин від первинних еталонів робочим засобам вимірювання та нормативних документах з повірки робочих еталонів і калібрування робочих засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), включаючи стандартні зразки магнітних матеріалів із відомими магнітними характеристиками, що виконують роль мір магнітних величин [5, 6].

Передача розмірів одиниць вимірювань (одиниць фізичних величин) ЗВТ направлена на забезпечення єдності вимірювань у країні. Засоби, методи і точність передавання розмірів одиниць вимірювань від вихідного еталона до робочих еталонів і робочих ЗВТ устанавлюється повірочною схемою [7].

Повірочна схема регламентує методи, засоби, точність вимірювань і підпорядкування ЗВТ при передаванні розмірів одиниці магнітної індукції постійного магнітного поля від еталонів робочим ЗВТ, а саме: від первинних еталонів – робочим, від робочих еталонів – ЗВТ.

Після розробки, виготовлення та прийняття на озброєння військового еталону одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля кораблів для ВМС ЗС України необхідно буде розробити та затвердити відомчу повірочну схему одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля.

Наступною групою нормативних документів з метрологічного забезпечення є методики передавання розмірів одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля від еталонів робочим ЗВТ, наприклад, методика МИ 156 – 78 [8]. Однак вона не відповідає сучасній нормативній базі України з питань метрології. Так, в ній використовується стара термінологія, в якості робочих еталонів пропонуються технічно застарілі прилади. Тому такі методики, інструкції тощо слід ретельно переробляти для подальшого використання в ЗС України. Для проведення вимірювань магнітних величин розроблена “Інструкція з організації контролю та зниження рівнів полів кораблів і суден ВМС України у період їх експлуатації” (ІОКЗ ФПК – 2000). Вона визначає порядок організації підготовки, проведення контрольних вимірювань параметрів фізичних полів кораблів, обов'язки посадових осіб щодо підтримки рівнів фізичних полів кораблів у межах встановлених норм.

Аналіз нормативної бази з вимірювання магнітної індукції змінного магнітного поля кораблів ВМС ЗС України показує, що існуючої документації достатньо для проведення метрологічного обслуговування приладів, які застосовуються при вимірюваннях. Однак практично всі документи вже застаріли. Тому напрям досліджень з розробки методів і засобів метрологічного забезпечення приладів з вимірювання одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля є перспективним. Цей напрям повинен ґрунтуватися на врахуванні реальних умов роботи цих приладів.

Розглянемо державну повірочну схему одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля, яка визначена ГОСТ 8.030 – 91 [7].

Еталон забезпечує відтворення одиниці магнітної індукції в діапазоні  $5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-4}$  Тл із середнім квадратичним відхиленням (СКВ) результату вимірювань не більш ніж  $1 \cdot 10^{-6}$  Тл при десятих незалежних спостереженнях. Невиключна систематична похибка (НСП) не перевищує  $2,5 \cdot 10^{-6}$  Тл. Розмір одиниці передається робочим засобам вимірювань у діапазоні  $1 \cdot 10^{-12} - 5 \cdot 10^{-2}$  Тл відповідно до ГОСТ 8.030 – 91 за допомогою вторинних еталонів і зразкових засобів вимірювань трьох розрядів, які базуються на методах квантової магнітометрії – ядерному і атомному резонансі. Для середніх постійних магнітних полів розро-

блені державний спеціальний еталон і схема перевірки для діапазону  $5 \cdot 10^{-5}$ – $2$  Тл (ГОСТ 8.030 – 91) із СКВ  $3 \cdot 10^{-6}$  Тл, НСП  $1 \cdot 10^{-5}$  Тл. Еталон – це електромагніт із стабілізатором поля на основі протонного резонансу й еталонний тесламетр [7].

Єдність вимірювань магнітної індукції змінного магнітного поля забезпечується за допомогою державного спеціального еталону і державної схеми перевірки для діапазону  $1 \cdot 10^{-13}$ – $1$  Тл при частоті  $0,1$  –  $20$  кГц (ГОСТ 8.030 – 91). Еталон відтворює розмір одиниці магнітної індукції в діапазоні  $(1 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-4})$  Тл при частотах  $1$ – $10$  кГц із СКВ  $(1 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4})$  Тл і НСП не більш  $3 \cdot 10^{-4}$  Тл. Постійна котушки визначається розрахунком на основі розмірів обмоток. Частотні поправки постійної визначені на підставі теоретичних і експериментальних досліджень. Передача розміру одиниці магнітної індукції зразковим і робочим засобам вимірювань здійснюється методом компарування з використанням квантових та індукційних компаруючих перетворювачів.

Особливістю магнітних вимірювань є те, що в більшості випадків в ході експерименту вимірюються не магнітні, а електричні величини. Магнітні величини розраховуються по відповідних формулах зв'язку між електричними та магнітними величинами.

Методи дослідження магнітних властивостей речовин різноманітні: балістичний; індукційний; ватметровий; ядерного резонансу та ін. [9].

Вибір того або іншого методу вимірювання визначається необхідною точністю результату, властивостями матеріалу, формою та геометричними розмірами зразка, значеннями магнітного поля, умовами проведення експерименту тощо.

За допомогою сучасних засобів вимірювань визначають основні параметри магнітного поля: магнітну індукцію  $B$ , напруженість магнітного поля  $H$  і магнітний потік  $\Phi$ . Найбільш часто для вимірювання цих величин змінного магнітного поля застосовують індукційні, гальваноманітні та квантові прилади. Відмітимо, що поріг чутливості сучасних індукційних (фероіндукційних або фероіндуктивних перетворювачів) складає одиниці нанотесла, що дозволяє використовувати їх для вимірювання слабких змінних магнітних полів, в тому числі полів кораблів і підводних човнів. У останньому випадку частота змінного струму збудження має бути, принаймні, на порядок вище за частоту вимірюваного поля.

Принцип дії індукційних приладів для вимірювання змінних магнітних полів заснований на використанні явища електромагнітної індукції. Прилад, що реалізує цей метод, складається з перетворювача магнітної величини в електричну і пристрою для вимірювання вихідної величини перетворювача. Вимірювальним перетворювачем служить котушка, витки якої зчіплюються з магнітним потоком.

При зміні потоку  $\Phi$ , зчепленого з витками вимірювальної котушки, в останній виникає електроушійна сила (ЕРС):

$$e = -\omega_k \frac{d\Phi}{dt} = -\omega_k S_k \frac{dB}{dt} = -\omega_k \mu_0 S_k \frac{dH}{dt}, \quad (1)$$

де  $\omega_k$ ,  $S_k$  – відповідно число витків і площа витка вимірювальної котушки;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  – магнітна постійна.

Форма і розміри вимірювальної котушки можуть бути різними залежно від характеру вимірюваної величини. Зазвичай розміри котушок вибирають мінімальними: діаметр  $1,5$  –  $20$  мм, товщина котушки  $1,0$  –  $1,5$  мм і навіть  $0,3$  –  $0,5$  мм. Основною характеристикою вимірювальної котушки є множення числа витків і площі витка  $\omega_k S_k$ .

Більш ефективним різновидом індукційних приладів є ферозонди (магнітотуляційні, фероіндукційні або фероіндуктивні перетворювачі), призначені для виявлення та вимірювання магнітних полів. Принцип дії цих перетворювачів заснований на використанні наступного явища.

Якщо на феромагнітний матеріал впливає тільки синусоїдальне магнітне поле, то магнітний стан його змінюється по симетричному динамічному магнітному циклу (рис. 2, а). При цьому крива, що описує зміну магнітної індукції в часі, є несинусоїдальною, але симетричною відносно осі часу (рис. 2, б).

Якщо ж на змінне магнітне поле накласти постійне магнітне поле, то зміна стану магнітопровода буде проходити по несиметричному циклу (рис. 2, в), а крива магнітної індукції в сердечнику буде несиметричною відносно осі часу (рис. 2, г). Разом з непарними гармоніками у складі кривої магнітної індукції з'являються парні гармоніки. Встановлено, що за значенням другої гармоніки магнітної індукції, амплітуда якої істотно більше амплітуд інших парних гармонік, можна судити про значення постійного поля.

Важливою перевагою ферозондових приладів є їх дуже висока чутливість. Поріг чутливості сучасних ферозондових тесламетрів складає одиниці нанотесла, що дозволяє використовувати їх для вимірювання полів кораблів. Похибка вимірювання навіть найточнішими ферозондовими приладами, що працюють на другій гармоніці, складає декілька відсотків. Основним джерелом похибки є нестабільність нуля приладу, обумовлена наявністю гістерезису та магнітної в'язкості магнітних матеріалів.

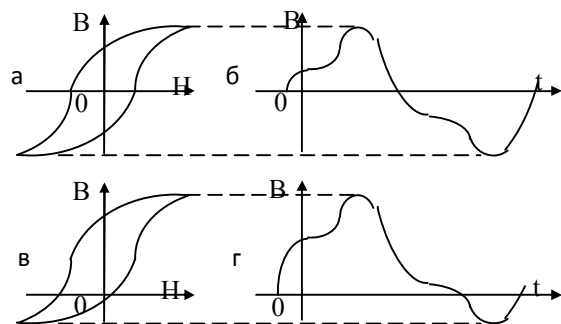


Рис. 2. Зміни магнітного поля в матеріалі

Ферозонди широко використовуються для геофізичних досліджень, для військових цілей (міношукачі, магнітне виявлення кораблів тощо), для магнітної дефектоскопії, вимірювання товщини стінок деталей з феромагнітних і неферомагнітних матеріалів, в якості чутливих елементів різного роду магнітометрів. Тобто, створення військового еталону одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля кораблів для ВМС ЗС України пропонується розглядати за такими напрямками.

#### 1. Закупівля існуючого еталону за кордоном.

Це дозволяє зекономити кошти на розробці, виготовленні та дослідній експлуатації еталону. Для закупівлі вибирається такий еталон, який має необхідні метрологічні характеристики, що задовольняють вимогам для вихідного еталону одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля для ВМС ЗС України. Однак при цьому є і негативні моменти.

По-перше, виникає питання подальшого метрологічного обслуговування такого еталону в процесі його експлуатації. Якщо метрологічне обслуговування проводити силами метрологічних підрозділів України, то еталон повинен пройти відповідну атестацію на можливість проведення операцій контролю метрологічних характеристик за допомогою технічних засобів, що є в Україні. В іншому випадку, необхідно розглядати питання проведення метрологічного обслуговування фірмою-продавцем еталону. А це, в свою чергу, призведе до подорожчання процесу обслуговування, тобто експлуатації еталону.

По-друге, виникає питання де закупувати необхідний еталон. Кращим виявляється варіант закупувати еталон в Росії, де є необхідна нормативна та технічна база для виготовлення необхідного еталону та подальшого його метрологічного забезпечення в процесі експлуатації. На користь такого рішення впливає і те, що в місті Севастополь є Центральна метрологічна лабораторія Чорноморського флоту Росії, яка займається питаннями розмагнічування кораблів Чорноморського флоту Росії. Еталонна база магнітних величин цієї лабораторії метрологічно обслуговується науково-дослідним інститутом ім. Менделєєва (Санкт-Петербург) – провідною організацією світу з питань магнітних вимірювань.

Але слід розглядати варіант закупівлі еталону в державах НАТО. Однак це буде економічно вигідно тільки за умови переоснащення ОВТ і вимірювальної техніки за стандартами НАТО і створення відповідної системи метрологічного забезпечення.

#### 2. Створення еталону на базі існуючих технічних приладів.

На сьогодні в ЗС України для вимірювань рівнів змінних магнітних полів застосовується судно розмагнічування, яке має в своєму складі установку К 739. Ця установка дозволяє вимірювати

рівні змінного магнітного поля корабля та проводити його розмагнічування. Однак відсутній засіб вимірювальної техніки (військовий еталон), який би дозволив з'єднати метрологічний ланцюг для передачі рівня коефіцієнта магнітної індукції змінного магнітного поля від Державного еталону до цієї установки.

В Російській Федерації розроблені відповідні прилади, наприклад, стенд для проведення досліджень (вимірювань) в області магнітного захисту кораблів і суден (рис. 3), який має такі основні характеристики:

- компенсація поля Землі в зоні вимірювань;
- імітація широтних зон – від  $\pm 60$  мкТл по вертикальній і до 40 мкТл по горизонтальній складовим;
- неоднородність магнітного поля імітаційних контурів в робочій зоні знаходиться в межах  $\pm 3\%$ ,
- максимальний тиск, що створюється в немагнітній док-камері, – 40 атм;
- величини поля – до 10 мТл на частотах до 1 Гц і 4 мТл на частоті 50 Гц.

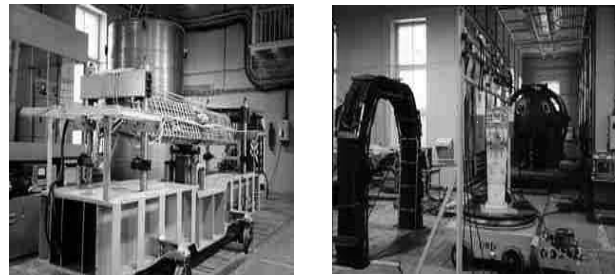


Рис. 3. Стенд для проведення магнітних вимірювань

Закупка установки за кордоном та подальше її обслуговування в процесі експлуатації теж призводить до збільшення витрат на експлуатації обладнання з розмагнічування кораблів.

#### 3. Залучення іноземних технічних засобів і фахівців для проведення всього циклу з вимірювання рівнів магнітних полів кораблів ВМС ЗС України та подальшого їх розмагнічування.

Для визначення необхідності оптимального напрямку (розробка чи закупівля еталону одиниці магнітної індукції змінного магнітного поля для ВМС ЗС України, залучення іноземних фахівців) пропонується провести додаткові наукові дослідження по запропонованим пропозиціям.

### Висновок

Обґрунтовані в статті пропозиції можуть бути використані при подальших обґрунтуваннях удосконалення еталонної бази з вимірювання одиниці магнітної індукції постійного магнітного поля для ВМС ЗС України.

### Список літератури

1. Майборода В.Г. Досвід ведення мінної війни на морі у локальних конфліктах другої половини ХХ ст. /

В.Г. Майборода., В.А. Почужевський // Зб. наук. пр. Севастопольського ВМІ ім. Нахімова. – 2006. – № 1. – С. 9-18.

2. Овсянников В. Морское минное оружие / В. Овсянников // Техника и вооружение. – 1986. – № 12. – С. 6-7.

3. Капранов О.М. Роль противоминной обороны на современном флоте / О.М. Капранов // Судостроение. – 2002. – № 4. – С. 29-33.

4. Мосалев В. Морские мины ВМС зарубежных стран / В. Мосалев // Морской сборник. – 2004. – № 10. – С. 65-72.

5. Метрологічне забезпечення озброєння і військової техніки / ДСТУ В 1.2. – 95 [Чинний з 01.07.1995]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 20 с.

6. Наказ Міністра оборони України від 15.12.2006 № 731 “Про затвердження нормативних документів з метрології та метрологічної діяльності”.

7. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений магнитной индукции постоянного поля / ГОСТ 8.030 – 91 [Введено з 01.01.1992]. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 10 с.

8. Методика поверки рабочих средств измерений магнитной индукции постоянного поля в диапазоне  $10^{-8}$  –  $5 \cdot 10^{-2}$  Тл / МИ 156 – 78. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 11 с.

9. Средства измерений параметров магнитного поля / Ю.В. Афанасьев, Н.В. Студенцов, В.Н. Хорев, Е.Н. Чечурин. – Ленинград: Энергия, 1979. – 320 с.

Надійшла до редколегії 11.01.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Чинков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ ВОЕННОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

С.В. Герасимов, Г.Н. Зубрицкий, А.И. Тимочко

*В статье за результатами анализа показана необходимость усовершенствования средств измерительной техники и нормативной базы на измерение параметров магнитной индукции переменного магнитного поля кораблей Военно-Морских Сил Вооруженных Сил Украины, исследована государственная метрологическая схема передачи размера единицы магнитной индукции переменного магнитного поля. Обоснованы предложения по созданию военного эталона единицы магнитной индукции переменного магнитного поля. Результаты предлагается внедрить при закупке военного эталона единицы магнитной индукции переменного магнитного поля для Военно-Морских Сил Вооруженных Сил Украины.*

**Ключевые слова:** военный эталон, магнитная индукция переменного магнитного поля, метрологическая схема

### GROUND OF SUGGESTIONS ON CREATION OF MILITARY STANDARD UNITS OF MAGNETIC INDUCTION OF VARIABLE MAGNETIC-FIELD

S.V. Gerasimov, G.N. Zubrickiy, A.I. Timochko

*In the article as a result of analysis the necessity of improvement of facilities of measuring technique and normative base is rotined on measuring of parameters of magnetic induction of variable magnetic-field of ships of Naval Forces of Military Powers of Ukraine, the state metrology chart of transmission of size of unit of magnetic induction of variable magnetic-field is investigational. Grounded suggestion on creation of military standard of unit of magnetic induction of variable magnetic-field it is suggested to inculcate Results at the purchase of military standard of unit of magnetic induction of variable magnetic-field for Naval Forces of Military Powers of Ukraine.*

**Keywords:** military standard, magnetic induction of variable magnetic-field, metrology chart.