

*Загора О.В., канд. техн. наук, доц.,
Фещенко А.Б., канд. техн. наук, доц.*

ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ ЗАЛЯГАННЯ БОЄПРИПАСУ У БАГАТОКАНАЛЬНОМУ ПРИЙМАЧІ МІНОШУКАЧА VLF-СИСТЕМИ

Підвищення об'єму задач ДСНС України щодо проведення гуманітарного розмінування, пов'язане з наслідками бойових дій на сході держави й збільшенням випадків аварій у місцях зберігання боєприпасів, вимагає вдосконалення існуючих та розробки нових технічних засобів, що застосовуються при пошуку та знешкодженні вибухонебезпечних об'єктів. Однією з актуальних проблем гуманітарного розмінування є розробка ефективних пошукових приладів забезпечення пошукових робіт та безпеки праці в зоні надзвичайної ситуації. Важливим напрямом вдосконалення сучасних міношукачів є розробка багатofункціональних пошукових приладів з багатоканальною прийомною системою. Представляє інтерес розробка методики визначення глибини залягання боєприпасу у багатоканальному приймачі міношукача VLF-системи (МД VLF).

Особливістю випадку виміру глибини залягання боєприпасу є те, що в умовах підземного середовища розповсюдження радіохвилі випробують швидке поглинання. Сила сигналу від боєприпасу сильно залежить від його відстані до пошукових котушок. Магнітне поле швидко зменшується зі збільшенням відстані між передавальною котушкою і ціллю, і так само зі збільшенням відстані від цілі до приймальної котушки. Але особливістю цього процесу є те, що швидкість загасання, крім інших факторів, залежить також від розміру прийомної котушки. Припустимо, що ціль знаходиться безпосередньо на центральній осі котушки. Якщо в якості передавальної антени використовується котушка радіусу R , а відстань від цілі до котушки рівна d , то поле у цілі [1]:

$$H = 2NI \frac{R^2}{(R^2 + d^2)^{3/2}}, \quad (1)$$

де I – струм передачі, а N – кількість обмоток котушки передачі.

На своєму зворотному шляху наведений боєприпасом сигнал зазнає таких саме втрат, тому поле біля прийомної котушки:

$$H_{\text{пр}} = c \cdot \frac{R^2}{(R^2 + d^2)^{3/2}}, \quad (2)$$

де $c = \text{const}$ – коефіцієнт, який враховує вплив зовнішніх факторів, однакових для всіх прийомних котушок; R – радіус прийомної котушки.

Відомо, що велика котушка передавача при інших рівних параметрах створює інший розподіл напруги поля, чим поле маленької (рис. 1): на малих відстанях напруження великої котушки зменшується, а на великих перебільшує напруження малої. Такі відміни дозволяють визначати

вимірювану глибину шляхом порівняння сигналів двох прийомних каналів, амплітуди V_1 і V_2 яких пропорційні $H_{np1/2}$.

При використанні двох прийомних каналів, обладнаних антенами радіусів R_1 і R_2 , розташованими на відстані d_1 і d_2 від цілі відповідно, якщо об'єкт пошуку є досить малим щодо котушок або досить далекім від них, можна розрахувати співвідношення амплітуд сигналів у прийомних каналах:

$$w = \frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1^2 (R_2^2 + d_2^2)^{3/2}}{R_2^2 (R_1^2 + d_1^2)^{3/2}} = \frac{R_1^2 (R_2^2 + (d_1 + \Delta d)^2)^{3/2}}{R_2^2 (R_1^2 + d_1^2)^{3/2}}, \quad (3)$$

де $\Delta d = d_2 - d_1$ – різниця відстаней від котушок до боєприпасу.

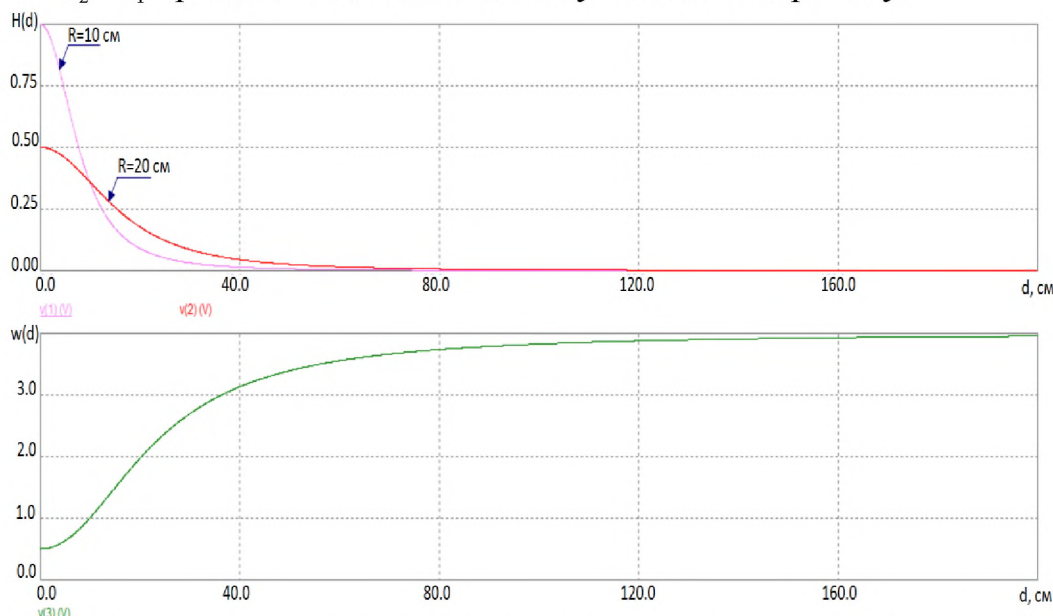


Рис. 1. а) залежність напруженості магнітного поля $H(d)$ для двох передаючих котушок різного радіуса від глибини d , см (поля нормовані до поля меншої котушки при $d = 0$); б) залежність відношення $w(d)=V_1/V_2$ від глибини d , см, при $\Delta d = 0$

Це рівняння є лише функцією глибини боєприпасу і не залежить ні від його електричних властивостей, ні від властивостей навколишнього середовища. Перетворення останнього рівняння дозволяє розрахувати глибину відносно першої котушки d_1 , як рішення квадратного рівняння:

$$d_1^2 \left(w^{2/3} \frac{R_2^{4/3}}{R_1^{4/3}} - 1 \right) - 2d_1 \Delta d + (w^{2/3} R_2^{4/3} R_1^{2/3} - R_2^2 - \Delta d^2) = 0. \quad (4)$$

Але, якщо пара прийомних котушок є компланарною (розташована в одній площині), як їх зараз переважно виготовляють в антенних системах МД VLF, то $\Delta d = 0$ і

$$d(w) = \sqrt{\frac{w^{2/3} R_1^{2/3} R_2^{4/3} - R_2^2}{1 - w^{2/3} (R_2/R_1)^{4/3}}}. \quad (5)$$

З метою спрощення розрахунку функції (5) можуть використовуватися розраховані чи табульовані значення цієї функції.

Отримувана на підставі виразу (5) методика визначення глибини залягання боєприпасу передбачає вимір амплітуд сигналів в двох прийомних каналах $V1$ і $V2$, розрахунок їх співвідношення $w = V1/V2$ і значення глибини з виразу (5) або відповідних графіків. На рис.2 представлено графік функції (5) для випадку радіусів котушок $R1 = 20$ см і $R2 = 10$ см. Користуючись таким графіком, розрахованим заздалегідь з урахуванням параметрів антенної системи, що використовується двоканальним прийомним пристроєм, або безпосередньо виразом (5), можна перерахувати величину відношення вимірних амплітуд у значення глибини боєприпасу d .

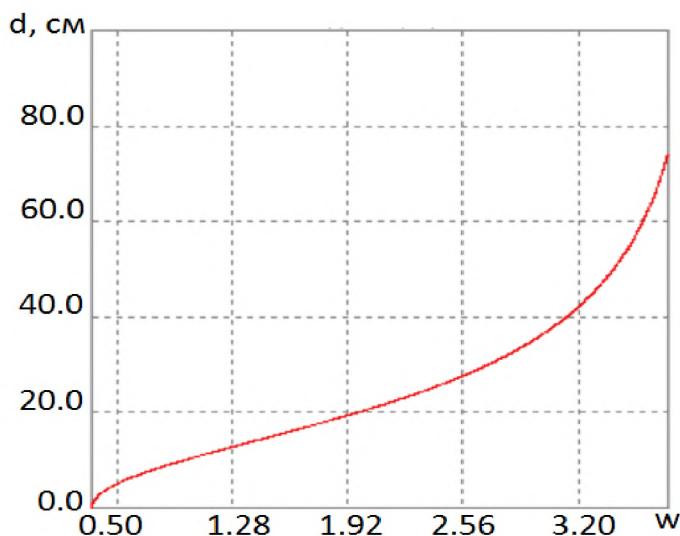


Рис. 2. Графік залежності глибини боєприпасу d , см, від співвідношення амплітуд відгуків цілі w при радіусах котушок $R1 = 20$ см і $R2 = 10$ см

Введення третього та більшої кількості прийомних каналів з окремими котушками надає можливість збільшувати кількість незалежних оцінок параметру глибини, підвищувати точність оцінювання шляхом розрахунку усередненого значення параметру. Звичайно, таке збільшення ускладнює структуру прийомного тракту й антенної системи, але може бути доцільним, наприклад, у системах, які возяться, або застосовуються на пересувній транспортній базі.

Для визначення глибини боєприпасу може використовуватися аналітична або графічна залежність глибини залягання від співвідношення амплітуд сигналів цілі, прийнятих багатоканальною прийомною системою. Отримана методика дозволяє вдосконалити алгоритм розрахунку глибини боєприпасу, що дозволить збільшити точність визначення його глибини, зменшити час і підвищити безпеку праці співробітників ДСНС України при виконанні завдань гуманітарного розмінування.

Цитована література

1. Claudio Bruschini. A Multidisciplinary Analysis of Frequency Domain Metal Detectors for Humanitarian Demining. Ph.D. thesis, Faculty of Applied Sciences, Vrije Universiteit. Brussels, 2002 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.gichd.org/fileadmin/pdf/database/PhDBruschiniFinalv2Booklet.pdf>.