

## АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ ЦІЛІ ПРИ ДОВІЛЬНОМУ ЗСУВІ АНТЕН ДВООКАНАЛЬНОГО ПРИЙМАЧА МІНОШУКАЧА VLF-СИСТЕМИ

*О.В. Загора, к.т.н., доцент, Національний університет цивільного захисту України,  
А.Б. Феценко, к.т.н., доцент, Національний університет цивільного захисту України*

Актуальність проблем гуманітарного розмінування в Україні пов'язана з наслідками колишніх військових дій на сході держави та в інших районах, збільшенням випадків аварій у місцях зберігання боєприпасів та техногенних катастроф. Однією з проблем технічного забезпечення розмінування є задача вдосконалення вимірювачів глибини залягання боєприпасу міношукачів, яка обумовлена тим, що приймачі існуючих детекторів мін VLF-системи (МД VLF), побудовані, переважно, по одноканальній схемі, в якій оцінка глибини залягання робиться по амплітуді відгуку у припущенні про певні розміри й електричні властивості боєприпасу і може вимірюватися з великою похибкою у випадках, коли знахідка відрізняється від "еталону". Можливим рішенням проблеми є прийом сигналів від боєприпасу за допомогою двох прийомних каналів з різними за розміром антенами і визначення параметру глибини шляхом співставлення вимірних параметрів сигналів. Але цей підхід вимагає розробки більш складних антенних систем, а також методики й алгоритму визначення параметру глибини боєприпасу на підставі розширеного вектора вимірюваних параметрів сигналу. Однією з актуальних проблем є розробка ефективного алгоритму розрахунку глибини цілі в двоканальній прийомній системі МД VLF з довільним відносним осевим зсувом антен.

Особливістю випадку виміру глибини залягання боєприпасу (вертикальної відстані від антенної системи до цілі) є те, що в умовах підземного середовища розповсюдження радіохвилі випробує швидке поглинання. У двоканальній системі для виміру глибини може використовуватися співвідношення  $w = V_1 / V_2$  амплітуд сигналів прийомних каналів  $V_1$  і  $V_2$  [1]. В загальному випадку розрахунок глибини боєприпасу відносно першої котушки  $d_1$  є рішенням рівняння:

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

Якщо прийомні котушки є компланарними, тобто розташовані в одній площині, то  $\Delta d = 0$  і з виразу (1) можна визначити глибину, як:

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

В загальному випадку рішення рівняння (1) може бути знайдено як рішення квадратного рівняння і для практично важливого випадку надає один корінь:

$$d(w) = \left( \Delta d + \sqrt{\frac{w^{2/3}}{R_1^{4/3}} \left( R_2^{10/3} + R_2^{4/3} R_1^2 + R_2^{4/3} \cdot \Delta d^2 \right) - w^{4/3} \frac{R_2^{8/3}}{R_1^{2/3}} - R_2^2} \right) / \left( 1 - w^{2/3} (R_2/R_1)^{4/3} \right). \quad (3)$$

При  $\Delta d = 0$  рівняння (3) спрощується до (2), що відповідає випадку компланарного розташування прийомних котушок. Якщо  $\Delta d \neq 0$ , розрахунок цього виразу може бути спрощено при урахуванні ваги його складників. У суми  $\left( R_2^{10/3} + R_2^{4/3} R_1^2 + R_2^{4/3} \cdot \Delta d^2 \right) = x + y$ , де

$x = R_2^{10/3} + R_2^{4/3} R_1^2$ ,  $y = R_2^{4/3} \cdot \Delta d^2$ . Порівнюючи доданки  $x$  і  $y$  при малих (щодо розмірів котушок) значеннях  $\Delta d$ , приходимо до висновку, що  $x \gg y$ . В цьому випадку можна знехтувати складником  $y$  під знаком кореня і, враховуючи вираз (2), загальний алгоритм розрахунку глибини (3) представити як модифікований алгоритм для компланарної антенної системи:

$$d(w) = d_k(w) + \frac{\Delta d}{1 - w^{2/3} (R_2/R_1)^{4/3}} = d_k(w) + d'_k(w), \quad (4)$$

$$\text{де } d'_k(w) = \frac{\Delta d}{1 - w^{2/3} (R_2/R_1)^{4/3}}. \quad (5)$$

На рис.1 наведено графіки залежності глибини боєприпасу від співвідношення амплітуд відгуків  $d(w)$  при малих значеннях зсуву котушок  $\Delta d$ , розраховані по виразах (3) і (4), які майже співпадають.

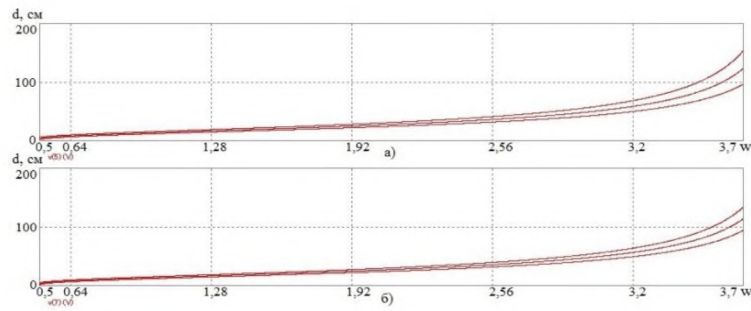


Рисунок 1. Графік залежності глибини боєприпасу  $d$ , см, від співвідношення амплітуд відгуків  $w$  при малих значеннях зсуву котушок  $\Delta d=1, 2, 3$  см ( $R_1=20$  см,  $R_2=10$  см): а) по загальному алгоритму (3); б) по модифікованому алгоритму (4).

На рис.2 наведено графік  $d(w)$  для компланарної системи (2) та графіки поправок (5) для розрахунку глибини боєприпасу при малих значеннях зсуву котушок.

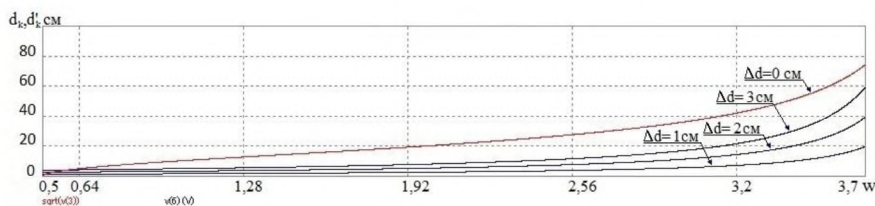


Рисунок 2. Графіки залежності глибини боєприпасу  $d_k$ , см, від співвідношення амплітуд відгуків цілі  $w$  для компланарної системи котушок ( $\Delta d=0$ ) по алгоритму (2) та поправок (5) при малих значеннях зсуву котушок  $\Delta d=1, 2, 3$  см ( $R_1=20$  см,  $R_2=10$  см).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Загора О.В., Фещенко А.Б. Методика визначення глибини залягання боєприпасу у багатоканальному приймачі міношукача VLF-системи. Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2018. №27. - С.25-30. URL:<http://nuczu.edu.ua/ProblemsOfEmergencies/vol27/zakora.pdf>