

*Олександр Юрійович Смольков*¹*Володимир Іванович Коцюруба (доктор технічних наук, професор)*¹*Костянтин Юрійович Гунбін (кандидат військових наук, доцент)*²¹ *Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна*² *Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОШУКУ ТА ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОВИХ ПРИСТРОЇВ З НЕКОНТАКТНИМИ ДАТЧИКАМИ ЦІЛІ МЕТОДОМ НЕЛІНІЙНОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ

Кардинальні зміни характеру та значне збільшення динаміки ведення мінної війни у воєнних конфліктах сучасності стали результатом зміщення пріоритетів у бік застосування новітніх зразків мінної зброї та саморобних вибухових пристроїв з переважно неконтактними датчиками цілі. Такий стан питання викликав загострення проблеми протидії вибухонебезпечним загрозам, а поряд з цим потребу у забезпеченні потрібного рівня ефективності, безпеки та собівартості процесів пошуку і виявлення вибухових пристроїв з неконтактними (електронними) датчиками цілі. Існуючі технічні засоби пошуку та виявлення вибухонебезпечних предметів, як правило, у більшості випадків ґрунтуються на використанні активних електромагнітних методів. Наближення таких пошукових пристроїв до вибухових пристроїв із магнітними (неконтактними) датчиками цілі або тих, що керуються по радіо, досить часто призводив до несанкціонованого вибуху і як наслідок до втрат серед саперів.

Встановлено, що майже усі неконтактні датчики цілі поєднує спільна ознака – наявність напівпровідникових елементів у їхньому складі, або переходів типу метал-окисел-метал. Вказана особливості покладена в основу сучасних засобів виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації. Однак, при цьому проблемними досі залишаються вимоги щодо безпеки використання пошукових пристроїв даного типу у ручному варіанті або на наземних транспортних засобах. Одним із шляхів розв'язання даного протиріччя є встановлення пошукових пристроїв на дистанційно-керовану платформу. При чому, виникає нагальна потреба до обґрунтування тактико-технічних вимог до засобів даного типу при зміні умов та способів їх застосування.

На основі проведеного аналізу попередніх досліджень, як вітчизняних, так і закордонних фахівців, стосовно використання електромагнітних методів пошуку і виявлення рукотворних предметів в укриваючих середовищах (грунт, сніг, вода тощо), запропоновано удосконалену математичну модель пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації. Вказана модель, на відміну від існуючих, враховує імовірнісний характер процесу пошуку та площинні показники зони гарантованого виявлення пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації, функціональні показники розповсюдження електромагнітних хвиль у вільному просторі та укриваючому середовищі. При цьому, в галузі нелінійної радіолокації вперше введено поняття “зона гарантованого виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі”, сутність якого полягає у забезпечення реалізації вимог до рівнозначної імовірності їх виявлення на рівні не нижче заданого. Крім того, запропонована математична модель, серед інших технічних характеристик, дозволяє встановити параметри експлуатаційної продуктивності дистанційно-керованого радіолокаційного комплексу пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації. Запропоновані удосконалення математичної моделі та послідовності проведення розрахунків дозволять підвищити точність результатів моделювання процесу пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі в укриваючих середовищах під час обґрунтування вимог до засобів розмінування даного типу.

Ключові слова: математична модель; вибуховий пристрій з неконтактним датчиком цілі; нелінійний метод виявлення; діаграма спрямованості; зона гарантованого виявлення.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз досвіду ведення бойових дій на сході України, а також у воєнних конфліктах на території інших держав [1-3] показав значне збільшення інтенсифікації застосування мінної зброї зі зміщенням пріоритетів у бік саморобних вибухових пристроїв. Вказаний факт свідчить про значне збільшення обсягів ведення наземної мінної війни,

що у свою чергу загострює загальносвітову проблему протидії вибухонебезпечним загрозам. Одним із найважливіших заходів серед інших є розмінування місцевості та об'єктів.

У зв'язку зі збільшенням частки застосування вибухових пристроїв (ВП) із неконтактними датчиками цілі (НДЦ) підвищилась потреба поглибленого дослідження питань розвитку засобів пошуку та виявлення ВП даного типу. При

цьому, особлива увага звертається на забезпечення потрібного рівня якості процесів розмінування, зменшення до мінімального рівня небезпеки та зниження вартості робіт з розмінування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз попередніх досліджень як зарубіжних так і вітчизняних дослідників [4-11] показав, що питанням підповерхневої локації аномалій приділялося багато уваги. При чому, найбільшу ефективність під час виявлення ВП показали радіолокаційні методи [4-7, 10, 11]. Для виявлення ВП з НДЦ найбільш доцільним виявився метод нелінійної радіолокації (НРЛ) [6,7]. Поряд з тим, у попередніх дослідженнях не враховувались ймовірнісні показники та вимоги керівних документів з питань якості розмінування, відсутній комплексний підхід до обґрунтування

тактико-технічних вимог до дистанційно-керованих радіолокаційних комплексів (ДКРЛК) виявлення ВП з НДЦ.

Метою статті є висвітлення удосконаленої математичної моделі пошуку та виявлення ВП із НДЦ методом НРЛ.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для здійснення моделювання процес пошуку та виявлення ВП з НДЦ методом НРЛ дистанційно-керованим радіолокаційним комплексом представлено у вигляді розрахункової схеми пошуку та виявлення ВП з НДЦ на основі методу НРЛ з використанням повітряної платформи (БпЛА коптерного типу), яка входить до складу ДКРЛК (рис. 1)

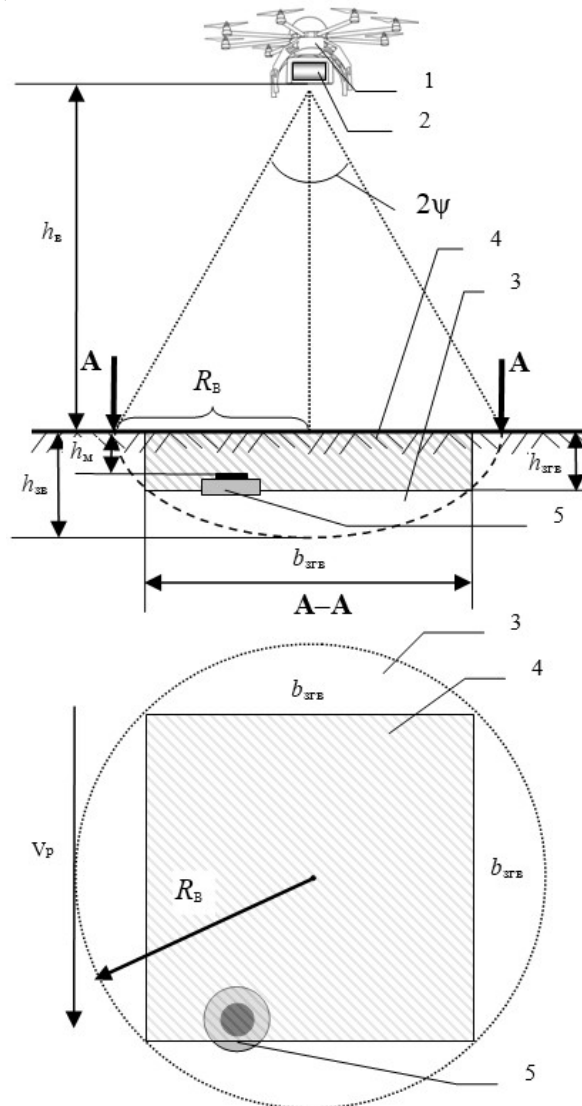


Рис. 1 Розрахункова схема пошуку та виявлення ВП з НДЦ на основі методу НРЛ.

1–повітряна платформа (БпЛА); 2–пошуковий пристрій нелінійної радіолокації (НРЛС); 3–зона огляду (виявлення); 4–зона гарантованого виявлення; 5–міна (вибуховий пристрій) з неконтактним датчиком цілі.

Для підвищення точності результатів моделювання досліджуваного процесу на основі аналізу розрахункової схеми введено нове поняття “зона гарантованого виявлення ВП з НДЦ методом НРЛ” (рисунок 1), під якою будемо розуміти прямокутну ділянку місцевості з площею $S_{згв} = b_{рл}^2$, яка повністю входить до площі $S_{рл}$

сліду електромагнітного поля на поверхні укриваючого середовища під час її зондування.

Запропонована математична модель пошуку та виявлення ВП з НДЦ методом НРЛ носить імовірнісний характер, ґрунтується на показниках та критеріях сукупність яких представлена у вигляді структурно-логічної схеми (рис. 2).

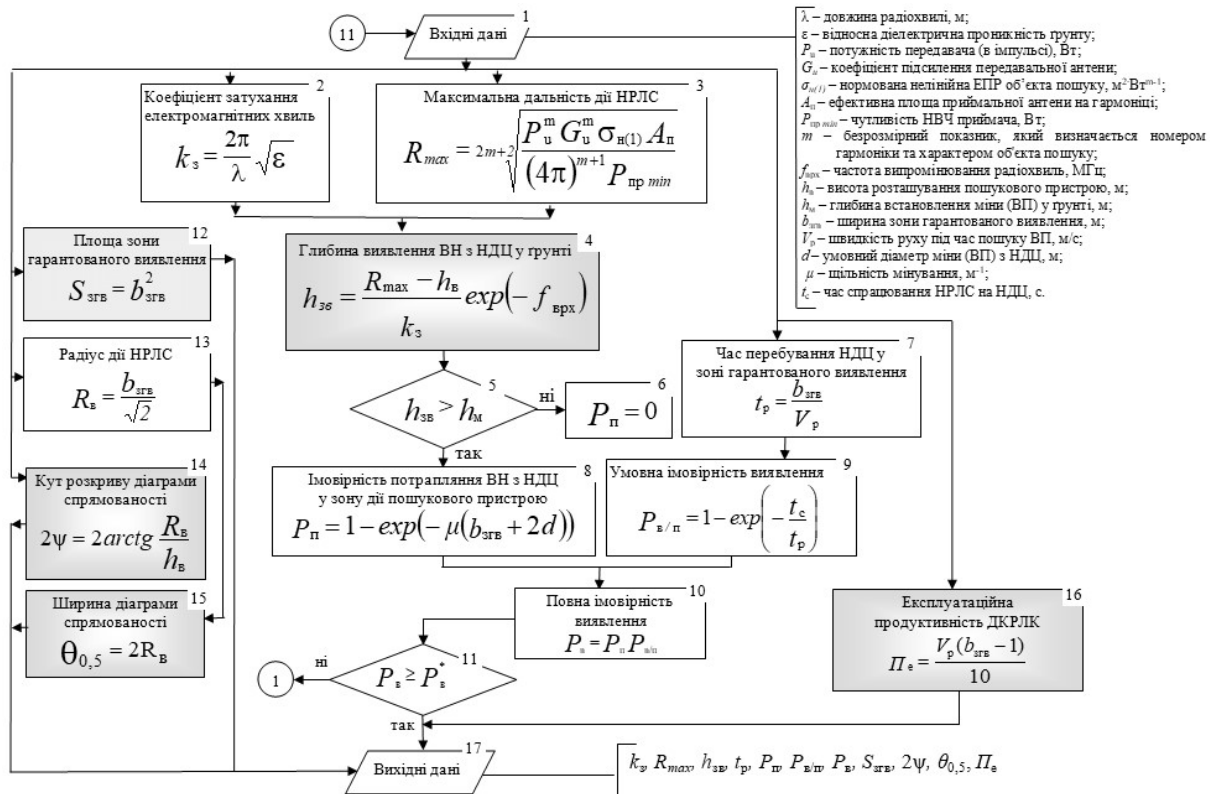


Рис. 2 Структурно-логічна схема математичної моделі виявлення ВП з НДЦ методом НРЛС

Послідовність проведення розрахунків наступна.

На початковому етапі (блок 1) здійснюється збір вхідних даних до яких відносяться: λ – довжина радіохвилі, м; ϵ – відносна діелектрична проникність ґрунту; P_u – потужність передавача (в імпульсі), Вт; G_u – коефіцієнт підсилення передавальної антени; $\sigma_{н(1)}$ – нормована нелінійна ЕПР об’єкта пошуку, $m^2 \text{Вт}^{m-1}$; $A_{п}$ – ефективна площа приймальної антени на гармоніці; $P_{пр \text{ min}}$ – чутливість НВЧ приймача; m – безрозмірний показник, який визначається номером гармоніки та характером об’єкта пошуку; $f_{врх}$ – частота випромінювання радіохвиль, МГц; h_v – висота розташування пошукового пристрою, м; h_m – глибина встановлення міни (ВП) у ґрунті, м; $b_{згв}$ – ширина зони гарантованого виявлення, м; V_p – швидкість руху під час пошуку ВП, м/с; d – умовний діаметр міни (ВП) з НДЦ, м; μ – щільність мінування, m^{-1} ; t_c – час спрацювання нелінійна радіолокаційна станція (НРЛС) на НДЦ, с.

У блоці 2 визначають коефіцієнт затухання електромагнітних хвиль [4-7] з урахуванням характеристик середовища, у якому здійснюється пошук ВП з НДЦ

$$k_3 = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon} \quad (1)$$

де λ – довжина радіохвилі, м; ϵ – відносна діелектрична проникність ґрунту.

Одночасно, у блоці 3, виконується розрахунок максимальної дальності дії пошукового пристрою на базі одночастотної НРЛС [4-7]

$$R_{\text{max}} = \sqrt[2m+2]{\frac{P_u^m G_u^m \sigma_{н(1)} A_{п}}{(4\pi)^{m+1} P_{пр \text{ min}}}} \quad (2)$$

де P_u – потужність передавача (в імпульсі), Вт;

G_u – коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$\sigma_{н(1)}$ – нормована нелінійна ЕПР об’єкта пошуку, $m^2 \text{Вт}^{m-1}$;

$A_{п}$ – ефективна площа приймальної антени на гармоніці;

$P_{пр \text{ min}}$ – чутливість НВЧ приймача, Вт;

m – номер гармоніки частоти приймання радіохвиль.

Отриманні у (1) та (2) результати дозволяють провести розрахунок глибини виявлення ВП з НДЦ в укриваючих середовищах (блок 4)

$$h_{зв} = \frac{R_{\text{max}} - h_v}{k_3} \exp(-f_{врх}) \quad (3)$$

де R_{max} – максимальна дальність дії пошукового пристрою на базі одночастотної НРЛС, м;

$f_{врх}$ – частота випромінювання радіохвиль, МГц;

h_v – висота розташування пошукового пристрою, м;

k_3 – коефіцієнт затухання електромагнітних хвиль.

На наступному кроці (блок 5) здійснюється порівняння умов розміщення міни (ВП) з НДЦ в укриваючому середовищі

$$h_{зв} > h_M \quad (4)$$

де h_M – глибина встановлення міни у ґрунті, м.

Якщо нерівність не виконується, і глибина встановлення міни (ВП) з НДЦ більше глибини виявлення міни (ВП), то імовірність потрапляння міни (ВП) з НДЦ у зону дії пошукового пристрою (крок 6) дорівнює

$$P_{\Pi} = 0 \quad (5)$$

де P_{Π} – імовірність потрапляння міни (ВП) з НДЦ у зону дії пошукового пристрою.

При виконанні умови $h_{зв} > h_M$ розрахунки переходять до виконання блоку 8.

У блоці 7 здійснюється розрахунок часу перебування НДЦ міни (ВП) у зоні гарантованого виявлення згідно із залежністю

$$t_p = \frac{b_{згв}}{V_p} \quad (6)$$

де $b_{згв}$ – ширина зони гарантованого виявлення, м;
 V_p – швидкість руху під час пошуку ВП, м/с.

Імовірність потрапляння P_{Π} ВП з НДЦ в зону дії НРЛС визначається у блоці 8 за експоненційним законом розподілу [12, 13]

$$P_{\Pi} = 1 - \exp(-\mu(b_{згв} + 2d)) \quad (7)$$

де μ – щільність мінування, м⁻¹;

$b_{згв}$ – ширина зони гарантованого виявлення, м;

d – умовний діаметр міни (ВП) з НДЦ, м.

У блоці 9 визначається умовна імовірність виявлення міни (ВП) з НДЦ за умови її потрапляння в зону дії НРЛС [12, 13]

$$P_{в/\Pi} = 1 - \exp\left(-\frac{t_c}{t_p}\right) \quad (8)$$

де t_c – час спрацювання НРЛС на НДЦ, с;

t_p – час перебування НДЦ міни (ВП) у зоні гарантованого виявлення, с.

Результати розрахунків блоків 8 та 9 застосовуються для визначення повної імовірності виявлення міни (ВП) з НДЦ [12, 13] у блоці 10

$$P_B = P_{\Pi} P_{в/\Pi} \quad (9)$$

де P_{Π} – імовірність потрапляння міни (ВП) з НДЦ у зону дії пошукового пристрою;

$P_{в/\Pi}$ – умовна імовірність виявлення міни (ВП) з НДЦ за умови її потрапляння в зону дії НРЛС.

У блоці 11 здійснюється перевірка згідно з прийнятим правилом прийняття рішення за придатністю

$$P_B \geq P_B^* \quad (10)$$

де P_B^* – мінімально необхідний рівень (в роботі згідно [14] прийнято $P_B^* = 0,996$).

При виконанні умови $P_B \geq P_B^*$ результати переходять до вихідних даних.

Якщо умова $P_B \geq P_B^*$ не виконується, розрахунки повертаються до блоку 1.

Блоки 12-15 являються розрахунковими для визначення функціональних показників

розповсюдження електромагнітного поля та визначення параметрів зони гарантованого виявлення мін (ВП) з НДЦ.

У блоці 12 визначається площа зони гарантованого виявлення міни (ВП) з НДЦ в залежності від встановленої ширини зони гарантованого виявлення

$$S_{згв} = b_{згв}^2 \quad (11)$$

де $b_{згв}$ – ширина зони гарантованого виявлення, м.

Радіус зони дії НРЛС розраховується у блоці 13

$$R_B = \frac{b_{згв}}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

де $b_{згв}$ – ширина зони гарантованого виявлення, м.

У блоці 14 визначається кут розкриття діаграми спрямованості антенної системи пошукового пристрою

$$2\psi = 2\arctg \frac{R_B}{h_B} \quad (13)$$

де R_B – радіус зони дії НРЛС, м;

h_B – висота розташування пошукового пристрою, м.

Ширина діаграми спрямованості антенної системи пошукового пристрою розраховують у блоці 15

$$\theta_{0,5} = 2R_B \quad (14)$$

де R_B – радіус зони дії НРЛС, м.

У блоці 16 визначають експлуатаційну продуктивність ДКРЛК пошуку та виявлення ВП з НДЦ методом НРЛ за формулою

$$P_e = \frac{V_p(b_{згв} - 1)}{10} \quad (15)$$

де V_p – швидкість руху під час пошуку ВП, км/год;

$b_{згв}$ – ширина зони гарантованого виявлення, м.

Формування вихідних даних, до значень яких обґрунтовуються вимоги, здійснюється у блоці 17. А саме: R_{max} – максимальна дальність дії пошукового пристрою одночастотної нелінійної радіолокації, м; $h_{зв}$ – глибина зони виявлення ВП з НДЦ, м; t_p – час перебування НДЦ міни (ВП) у зоні гарантованого виявлення, с; P_{Π} – імовірність потрапляння міни (ВП) з НДЦ в зону дії пошукового пристрою нелінійної радіолокації;

$P_{в/\Pi}$ – умовна імовірність виявлення міни (ВП) з НДЦ за умови потрапляння в зону дії пошукового пристрою нелінійної радіолокації; P_B – повна імовірність виявлення міни (ВП) з НДЦ пошуковим пристроєм нелінійної радіолокації;

$S_{згв}$ – площа зони гарантованого виявлення міни (ВП) з НДЦ, м²; 2ψ – кут розкриття діаграми спрямованості антенної системи пошукового пристрою, град.; $\theta_{0,5}$ – ширина діаграми спрямованості антенної системи пошукового пристрою, м; P_e – експлуатаційна продуктивність ДКРЛК пошуку та виявлення ВП з НДЦ методом НРЛ, га/год.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, в результаті досліджень набула удосконалення математична модель, , на відміну від існуючих, враховує імовірнісний характер процесу пошуку та площині показники зони гарантованого виявлення ВП з НДЦ методом НРЛ, функціональні показники розповсюдження електромагнітних хвиль у вільному просторі та укриваючому середовищі. При цьому, в галузі НРЛ вперше введено поняття «зона гарантованого виявлення ВП з НДЦ», сутність якого полягає у

забезпечення реалізації вимог до рівнозначної імовірності їх виявлення на рівні не нижче заданого. Крім того, запропонована математична модель, серед інших технічних характеристик, дозволяє встановити параметри експлуатаційної продуктивності ДКРЛК пошуку та виявлення ВП з НДЦ методом НРЛ.

Як напрям подальших досліджень є проведення моделювання із використанням запропонованої математичної моделі та обґрунтування вимог до перспективних ДКРЛК виявлення ВП з НДЦ методом НРЛ.

Література

1. **Нижаловський А.М.** На дорогах Чечни // Арм. сб. № 1, 1997. С. 27-29. 2. **Жуков С.** Опыт разминирования местности в условиях локальных военных конфликтов // Зарубежное военное обозрение. № 6, 1998. С. 14-19. 3. Экзаменуэт “горячая точка” // Арм. сб. № 1, 2000. С. 34-38. 4. **Блиох П.В.** Радиоволны на земле и в космосе. М.: Бюро Квантум. 2003. 207 с. 5. Вопросы подповерхностной радиолокации / под ред. А.Ю. Гринева. М.: Радиотехника, 2005. 416 с. 6. **Шербаков Г.Н.** Обнаружение скрытых объектов: монография. М.: Арбат-Информ, 2004. 144 с. 7. **Шербаков Г. Н.** Новые методы обнаружения скрытых объектов: монография. М.: ООО Эльф ИПР, 2011. 503 с. 8. Ground Penetrating Radar Theory and Applications / Н. М. Jol ed. – Amsterdam : Elsevier, 2008. 544 p. 9. LANDMARK Making Land-Mine Detection and Removal Practical. – Access mode : <https://www.llnl.gov/str/Azevedo.html>. 10. **Денисенко О.М.**

Математична модель виявлення вибухонебезпечних предметів пошуковим пристроєм з радіолокаційним способом виявлення, встановленим на легких броньованих машинах // Труды университета: зб. наук. праць / Національний університет оборони України імені Івана Черняховського. К.: НУОУ, 2011. № 52. С. 54-58. 11. **Коцюрба В.І.** Моделювання процесу пошуку і виявлення ВВП радіолокаційним методом // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки і оборони / Національний університет оборони України імені Івана Черняховського. К.: НУОУ, 2015. № 2 (23). С. 65-69. 12. **Вентцель Е.С.** Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972. 572 с. 13. **Юрков Б.Н.** Исследование операций. М.: ВИА, 1990. 528 с. 14. IMAS 07.12 Контроль якості в протимінній діяльності // Перше видання 01 жовтня 2001 р. (Поправка 6, червень 2013 р.) – 27 с. <http://www.mil.gov.ua/ministry/normativno-pravova-baza/standarti.html>.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ С НЕКОНТАКТНЫМИ ДАТЧИКАМИ ЦЕЛИ МЕТОДОМ НЕЛИНЕЙНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Александр Юрьевич Смольков¹

Владимир Иванович Коцюрба (доктор технических наук, профессор)¹

Константин Юрьевич Гунбин (кандидат военных наук, доцент)²

¹ *Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

² *Национальная академия Национальной гвардии Украины, Харьков, Украина*

Кардинальные изменения характера и значительное увеличение динамики ведения минной войны в военных конфликтах современности стали результатом смещения приоритетов в сторону применения новейших образцов минного оружия и самодельных взрывных устройств преимущественно с неконтактными датчиками цели. Такая постановка вопроса вызвала обострение проблемы противодействия взрывоопасным угрозам, а наряду с этим потребность в обеспечении нужного уровня эффективности, безопасности и себестоимости процессов поиска и обнаружения взрывных устройств с неконтактными (электронными) датчиками цели. Существующие технические средства поиска и обнаружения взрывоопасных предметов, как правило, в большинстве случаев основаны на использовании активных электромагнитных методов. Приближение таких поисковых устройств к взрывным устройствам с магнитными (неконтактными) датчиками цели или радиоуправляемыми достаточно часто приводил к несанкционированному взрыву и как следствие к потерям среди саперов.

Установлено, что почти все неконтактные датчики цели объединяет общий признак - наличие полупроводниковых элементов в их составе, или переходов типа металл-окисел-металл. Указанная особенность положена в основу современных средств обнаружения взрывных устройств с неконтактными датчиками цели методом нелинейной радиолокации. Однако, при этом, проблемными до сих пор остаются требования по безопасности использования поисковых устройств данного типа в ручном варианте или на транспортных средствах. Одним из путей решения данного противоречия является установление поисковых устройств на дистанционно-управляемую платформу. Причем, возникает насущная необходимость в обосновании тактико-технических требований к средствам данного типа при изменении условий и способов их применения.

На основе проведенного анализа предыдущих исследований, как отечественных, так и зарубежных специалистов, по использованию электромагнитных методов поиска и обнаружения рукотворных предметов в укрывающих средах (грунт, снег, вода и т.д.), предложено усовершенствованную математическую модель поиска и обнаружения взрывных устройств с

неконтактними датчиками цели методом нелинейной радиолокации. Указанная модель, в отличие от существующих, учитывает вероятностный характер процесса поиска и площадные показатели зоны гарантированного обнаружения устройств с неконтактными датчиками цели методом нелинейной радиолокации, функциональные показатели распространения электромагнитных волн в свободном пространстве и укрывающей среде. При этом в области нелинейной радиолокации впервые введено понятие "зона гарантированного обнаружения взрывных устройств с неконтактными датчиками цели", сущность которого заключается в обеспечении реализации требований к равнозначной вероятности их обнаружения на уровне не ниже заданного. Кроме того, предложенная математическая модель, среди других технических характеристик, позволяет установить параметры эксплуатационной производительности дистанционно-управляемого радиолокационного комплекса поиска и обнаружения взрывных устройств с неконтактными датчиками цели методом нелинейной радиолокации. Предложенные усовершенствования математической модели и последовательности проведения расчетов позволят повысить точность результатов моделирования процесса поиска и обнаружения взрывных устройств с неконтактными датчиками цели в укрывающих средах при обосновании требований к средствам разминирования данного типа.

Ключевые слова: математическая модель; взрывное устройство с неконтактным датчиком цели; нелинейный метод обнаружения; диаграмма направленности; зона гарантированного обнаружения.

MATHEMATICAL MODEL FOR SEARCHING AND DETECTING EXPLOSIVE DEVICES WITH NON-CONTACT TARGET SENSORS BY THE METHOD OF NON-LINEAR RADAR

Oleksandr Smolkov¹

Volodymyr Kotsiuruba (Doctor of technical sciences, professor)²

Konstantin Hunbin (candidate of technical sciences, associate professor)³

¹ National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

² National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Radical changes in the nature and significant increase in the dynamics of mine warfare in modern military conflicts are the result of shifting priorities towards the use of the latest models of minesweepers and improvised explosive devices with mostly non-contact target sensors. This state of affairs has exacerbated the problem of countering explosive threats, and with it the need to ensure the required level of efficiency, safety and cost of search and detection of explosive devices with non-contact (electronic) target sensors. Existing technical means of search and detection of explosive objects, as a rule, in most cases are based on the use of active electromagnetic methods. The approach of such search devices to explosive devices with magnetic (non-contact) target sensors or those controlled by radio, often led to an unauthorized explosion and as a consequence to losses among the sappers.

It is established that almost all non-contact sensors of the target are united by a common feature - the presence of semiconductor elements in their composition, or transitions such as metal-oxide-metal. These features are the basis of modern means of detecting explosive devices with non-contact target sensors by nonlinear radar. However, the requirements for the safety of using search engines of this type in the manual version or on land vehicles are still problematic. One way to resolve this contradiction is to install search engines on a remote-controlled platform. Moreover, there is an urgent need to substantiate the tactical and technical requirements for this type of equipment when changing the conditions and methods of their application.

Based on the analysis of previous studies, both domestic and foreign experts, on the use of electromagnetic methods of search and detection of man-made objects in sheltered environments (soil, snow, water, etc.), proposed an improved mathematical model of search and detection of explosive devices with non-contact target sensors nonlinear radar. This model, in contrast to the existing ones, takes into account the probabilistic nature of the search process and the plane indicators of the guaranteed detection zone of devices with non-contact target sensors by nonlinear radar, functional indicators of electromagnetic wave propagation in free space and shelter. In the field of nonlinear radar, the concept of "zone of guaranteed detection of explosive devices with non-contact target sensors" was introduced for the first time, the essence of which is to ensure the implementation of the requirements for equivalent probability of detection at a level not lower than specified. In addition, the proposed mathematical model, among other technical characteristics, allows to set the performance parameters of the remote-controlled radar complex search and detection of explosive devices with non-contact target sensors by nonlinear radar. The proposed improvements of the mathematical model and the sequence of calculations will increase the accuracy of the results of modeling the search and detection of explosive devices with non-contact target sensors in sheltered environments when substantiating the requirements for demining of this type.

Key words: mathematical model; an explosive device with a non-contact target sensor; nonlinear detection method; directional diagram; zone of guaranteed detection.