

Експериментальні дослідження процесу виявлення нелінійних переходів вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі

Олександр Смольков * А

^А Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, пр-кт Повітрофлотський, 28, м. Київ, 03049, Україна

Received: October 15, 2020 | Revised: October 26, 2020 | Accepted: October 31, 2020

DOI: 10.33445/sds.2020.10.5.12

Анотація

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 переважно з 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 призводить до несанкціонованого вибуху і як наслідок до втрат.

Встановлено, що майже усі неконтактні датчики цілі поєднує спільна ознака – наявність напівпровідникових елементів у їхньому складі, або переходів типу метал-окисел-метал. Вказана особливість 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 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 (ґрунт, сніг, вода тощо), запропоновано науково-методичний підхід щодо планування експериментальних досліджень процесу виявлення нелінійних переходів вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі. Експериментальні дослідження, призначені для перевірки і уточнення розроблених теоретичних положень щодо створення перспективних дистанційно керованих радіолокаційних комплексів пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі за допомогою методу нелінійної радіолокації, а у випадку їх підтвердження – технічного обґрунтування вимог до пошукових пристроїв нелінійної радіолокації та дистанційно керованих радіолокаційних комплексів в цілому.

Ключові слова: експериментальні дослідження, вибуховий пристрій з неконтактним датчиком цілі, нелінійний метод виявлення, нелінійні переходи неконтактних датчиків цілі.

* Corresponding author: старший викладач кафедри, e-mail: smolkoffs@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7351-393X

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.

Зростання частки застосування вибухових пристроїв (ВП) із неконтактними датчиками цілі (НДЦ) загострює потребу поглибленого дослідження питань розвитку засобів пошуку та виявлення ВП даного типу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз досліджень як вітчизняних так і зарубіжних 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]. Поряд з тим, для виявлення ВП з НДЦ найбільш

доцільним виявився метод нелінійної радіолокації (НРЛ) [6, 7]. В той же час, у попередніх дослідженнях зазначено, що враховуючи велику складність теоретичного опису більшості нелінійних електромагнітних процесів, експерименти часто являлися єдиним достовірним способом дослідження.

Постановка завдання

Метою статті є висвітлення науково-методичного підходу щодо вибору методики та плану проведення експериментальних досліджень процесу виявлення нелінійних

переходів вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації.

Виклад основного матеріалу

Експериментальні дослідження, призначені для перевірки і уточнення розроблених теоретичних положень (гіпотези) щодо створення перспективних дистанційно керованих радіолокаційних комплексів пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі за допомогою методу нелінійної радіолокації, а у випадку їх підтвердження – технічне обґрунтування вимог до пошукових пристроїв нелінійної радіолокації та ДКРЛК в цілому.

Процес пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації за допомогою ДКРЛК супроводжується комплексом взаємозалежних електромагнітних, механічних, часових та інших явищ і може розглядатися як складна система зі значним числом взаємозалежних параметрів.

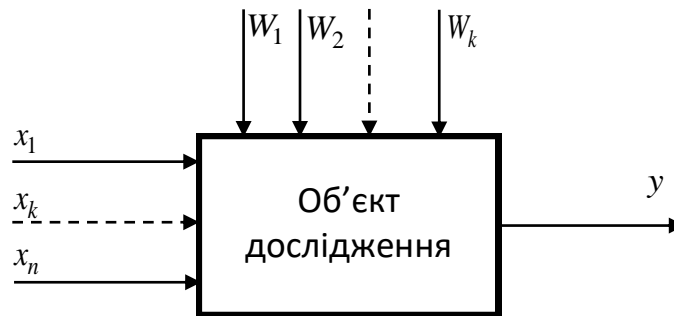
Крім того, при вивченні цього процесу часто доводиться стикатися з невизначеністю,

викликану низкою причин (відсутністю можливості врахувати всі фактори, що впливають, випадковий характер ряду зовнішніх впливів, недосконалість засобів вимірювання та контролю, тощо). При дослідженні такої системи на основі детерміністичного підходу, коли досліджується механізм всіх явищ, створюється теорія процесу, на підставі чого система задається суворо детерміністичною моделлю, зазвичай у вигляді диференціальних рівнянь. Такі дослідження вимагають значної витрати часу і коштів, тому при вивченні такого роду явищ найчастіше використовують стохастичний підхід, при якому абстрагуються від ряду явищ, які відбуваються в системі. У цьому випадку застосовують експериментально-статистичні методи досліджень, при яких реальні процеси розглядаються, як процеси ймовірності, а сам об'єкт дослідження представляється у вигляді кібернетичної системи (чорного ящика), що

досліджується за допомогою математичного моделювання [12].

При цьому про функціонування системи

судять за її реакцією Y (вихідний показник, відгук) на виході системи при завданні певних впливів X (факторів) на її вході (мал. 1).



Малюнок 1 – Система “Чорний ящик”, модель об’єкта дослідження

Тобто потрібно отримати математичну модель процесу, що досліджується, яка адекватно описує зв’язок результатів процесу (вихідні показники y) із зовнішнім впливом (вхідні фактори x).

При цьому не тільки не заперечується можливість подальшого дослідження внутрішніх явищ, але і накопичується інформація для більш глибокого розкриття причинно-наслідкових зв’язків у процесах, які

відбуваються.

Кожен з відгуків, пов’язаний з вхідними факторами об’єктивно існуючою залежністю-рівнянням стану системи, які, як правило, невідомі. Але, на основі спостережень за зверненням системи, а саме, про відповідність вихідних показників вхідним в кожен момент часу, рівняння стану можна апроксимувати іншою функцією виду

$$Y = B_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} B_i X_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} B_{il} X_i X_l + \sum_{1 \leq i \leq k} B_{ii} X_i^2 + \dots, \quad (1)$$

- де
- Y – показник процесу, який досліджується;
 - X_i – фактори, які впливають на процес, який досліджується;
 - B – коефіцієнти рівняння регресії;
 - B_0, B_i, B_{il}, B_{ii} – коефіцієнти полінома;
 - k – число незалежних змінних.

Зазначена поліноміальна модель (рівняння регресії) у вигляді відрізка ряду Тейлора, досить добре описує функцію відгуку локальної площини факторного простору і зручна для застосування, завдяки універсальності і порівняльній простоті методів їх побудови на основі експериментальних даних [12-14].

Внаслідок того, що на формування відгуку системи з вхідними параметрами впливають різного роду некеровані випадкові чинники, функція відгуку поводить ся випадковим чином, у зв’язку з чим ставиться завдання визначення її математичного сподівання і дисперсії відтворюваності [12]. За результатами експерименту можна знайти тільки статистичні

оцінки $b_0, b_i, b_{il}, b_{ii} \dots$, дійсні коефіцієнти поліноміальної моделі $B_0, B_i, B_{il}, B_{ii} \dots$ та оцінку дисперсії відтворюваності S_B^2 .

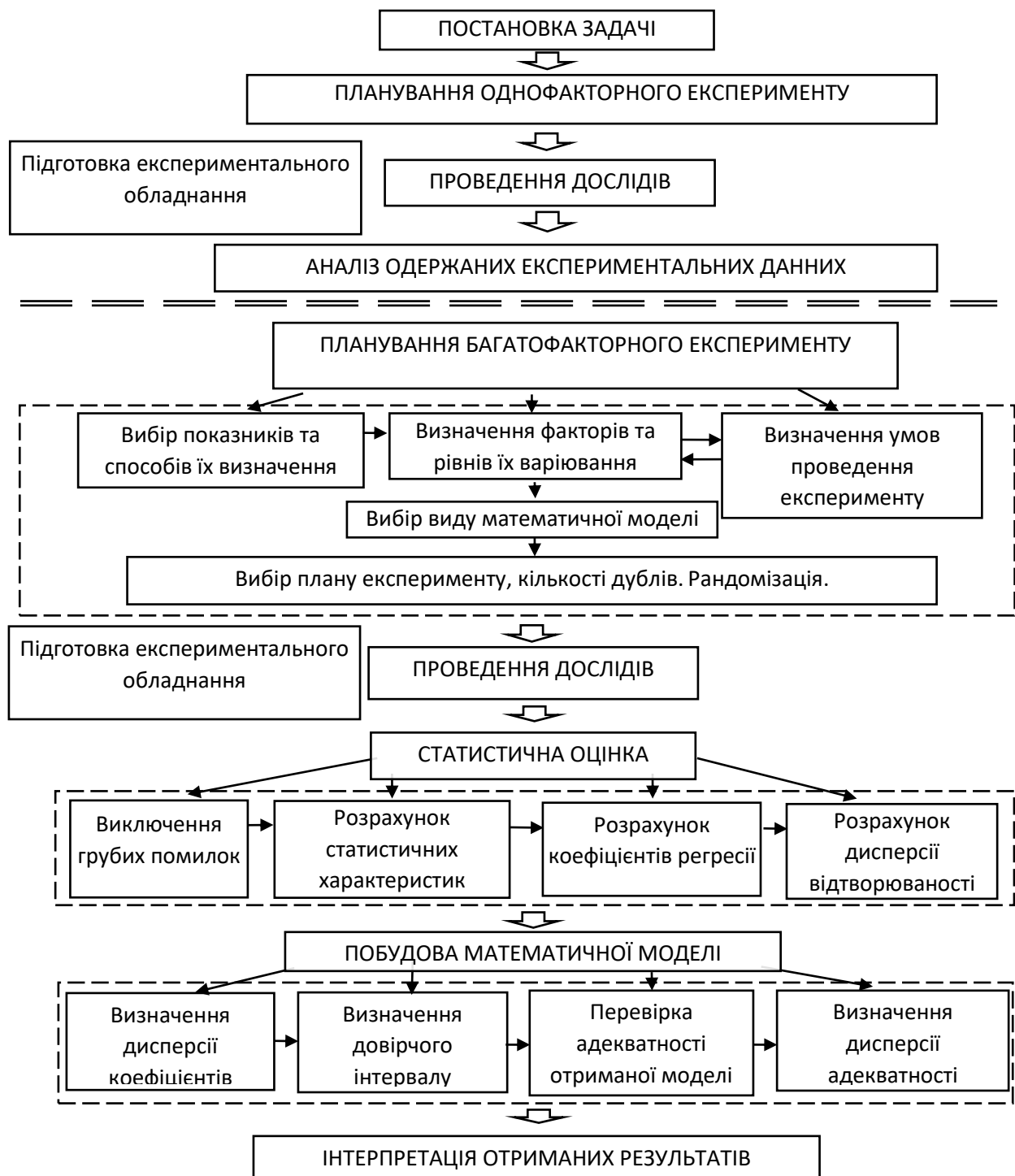
Для розрахунків моделі необхідно в процесі експерименту накопичити інформацію про значення досліджуваного відгуку в обраній області факторного простору. Найбільш ефективно це можна зробити за допомогою активного експерименту на основі багатфакторного планування [12]. Однією з умов побудови математичної моделі внаслідок зазначеного експерименту є можливість однозначного визначення значень показників X і Y .

Таким чином, в основу даної методики

покладений експериментально-статистичний метод математичного моделювання процесу пошуку та виявлення нелінійних переходів вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації, при якому експеримент розглядається як основне джерело інформації про процес, а методи теорії ймовірності та

математичної статистики – основним засобом обробки результатів експерименту.

Експериментальні дослідження включають досить великий комплекс взаємозалежних послідовних операцій [12-14], які можна розбити на кілька етапів. Логічна послідовність проведення експериментального дослідження показана на малюнку 2.



Малюнок 2 – Структурна схема методики проведення експериментального дослідження

Слід зазначити, що запланований експеримент може бути успішним тільки за низки умов. Насамперед, об'єкт дослідження повинен бути керованим, тобто повинна бути можливість однозначного встановлення визначених факторів в обраній галузі і однозначного визначення відповідного їм відгуку.

Крім того, вихідні показники (відгуки) повинні бути кількісними і підлягати вимірюванню при будь-якому можливому поєднанні обраних рівнів факторів. Якщо відгук має якісну оцінку і не може бути виміряний безпосередньо (наприклад, якість стійкості вибухової мережі до зовнішнього електромагнітного впливу), його кількісна оцінка вирішується шляхом застосування бальної оцінки.

Фактори повинні бути незалежні один від одного, однозначні і сумісні. Процес, що досліджується має відтворюватись у всій області обраного факторного простору, тобто у всьому діапазоні зміни обраних факторів, які передбачені. Крім того, об'єкт дослідження повинен задовольняти вимогу відтворюваності: при багаторазовому повторенні одного і того ж дослідження його відгуки мають розкид, що не перевищує деякої заданої величини.

Планування багатофакторного експерименту починається з вибору виду математичної моделі. Оскільки реальний характер процесів, які відбуваються при застосування методу нелінійної радіолокації для пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі багато в чому невідомі, передбачити вигляд моделі, адекватної реальному процесу досить складно. Найбільш раціональним буде, в цьому положенні, скористатися апріорною інформацією про аналогічні дослідження.

Насамперед, мова йде про вибір класу моделі [12], а саме про вибір функції

$$M(y) = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (2)$$

де y – показник процесу, що досліджується (відгук);

x_1, x_2, \dots, x_k – змінні фактори.

Як вказується в [12], при дослідженні

великої групи технічних процесів, краще використовувати як зазначену функцію ступеневі ряди, точніше відрізки ступеневих рядів – алгебраїчних поліномів. З одного боку – це досить прості рівняння, з точки зору математичної обробки, а з іншого боку – існує велика ймовірність отримання адекватної моделі.

Наступний крок – вибір ступеня полінома. У ситуаціях, коли апріорна інформація про порядок полінома відсутня, математичну модель досліджуваного процесу підбирають, починаючи з найпростішого лінійного рівняння, послідовно збільшуючи ступінь полінома до отримання адекватної моделі. Процес отримання математичної моделі в зазначених ситуаціях здійснюється наступним чином. Спочатку реалізується повний факторний експеримент 2^k або експеримент, представлений дробовою реплікою 2^{k-p} , де p – число ефектів взаємодії, замінені новими змінними.

За результатами дослідів, виконаних відповідно до цих планів, знаходять коефіцієнти лінійного рівняння регресії. Якщо це рівняння виявиться неадекватним, то знаходять коефіцієнти регресії при ефектах взаємодії факторів. Якщо рівняння регресії з урахуванням взаємодій факторів виявиться також неадекватним, то виконані раніше дослідження доповнюють дослідженнями в “зіркових” точках з плечем α і дослідженнями в центрі плану, число яких дорівнює n_0 . Число дослідів в “зіркових” точках дорівнює $2k$. За результатами дослідів, виконаних згідно з планом 2^k або 2^{k-p} і додатковими дослідженнями в “зіркових” точках і в центрі плану, оцінюють коефіцієнти полінома другого порядку. Слід зазначити, що досліджуваний процес часто вдається описати поліномом другого порядку. У разі неадекватності полінома другого порядку переходять до планування третього порядку і описують досліджуваний процес поліномом третього ступеня. Якщо на основі апріорної інформації відомо, що досліджуваний процес можна з достатньою точністю описати поліномом другого порядку, то для отримання моделі

некомпозиційні плани в ряді випадків будуть раціональніше центральних композиційних планів другого порядку.

Відповідно до запропонованого плану експериментальних досліджень, на першому етапі проведено однофакторний експеримент, з метою визначення характеристик електромагнітних хвиль, які перевипромінені напівпровідниковими елементами радіоелектронних засобів, електронних приладів, що можуть бути використанні у якості засобів управління підривом вибухових пристроїв та можливості вибіркового прийому гармонічних складових перевипромінених сигналів.

При обробці результатів проведеного експерименту встановлено, що вибухові пристрої з неконтактними датчиками цілі, які містять напівпровідникові елементи, можуть бути виявленні внаслідок здатності зазначених елементів генерувати спектральні складові, відсутні в спектрі потоку електромагнітної хвилі, що падає. Вибірковий прийом цих складових (сигнали 2 та 3 гармонік частоти сигналу опромінення) приймальним елементом пошукового пристрою нелінійної радіолокації дозволяє розширити можливості цих приладів у порівнянні із пошуковими приладами, що

використовують лінійно-відбитий сигнал.

Для забезпечення виявлення нелінійних переходів напівпровідникових елементів електронних та радіоелектронних засобів, які досліджувалися, пошуковий пристрій методу нелінійної радіолокації повинен бути розміщений безпосередньо над об'єктом пошуку. У цьому випадку досягається максимальний рівень потужності прийнятого сигналу на 2-й та 3-й гармоніках сигналу передавача. Переміщення нелінійного локатора відносно об'єкта пошуку, знижує можливості пошукового пристрою, щодо виявлення об'єкта пошуку. Розміщення об'єкта пошуку над поверхнею землі, не суттєво впливає на результати пошуку та виявлення.

Технічні характеристики (потужність передавача, малі розміри антенної системи, чутливість приймальних пристроїв, тощо) типового нелінійного локатора (на прикладі Orion 2,4НХ), у випадку їх застосування для пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі, забезпечують виявлення нелінійних переходів на відстанях, які не гарантують безпеки особового складу, або техніки, що виконують пошукові роботи, від ураження вибуховим пристроєм у випадку спрацювання.

Висновки

Отже, запропоновано науково-методичний підхід щодо планування експериментальних досліджень процесу виявлення нелінійних переходів вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі, що базується на експериментально-статистичному методі математичного моделювання процесу пошуку та виявлення нелінійних переходів вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі методом нелінійної радіолокації, при якому експеримент розглядається як основне джерело інформації про процес, а методи теорії ймовірності та математичної статистики – основним засобом обробки результатів експерименту. Обґрунтовано вимоги до планування багатфакторного

експерименту та наведено основні результати однофакторного експериментального дослідження.

Як напрям подальших досліджень є проведення багатфакторного експериментального дослідження для перевірки і уточнення розроблених теоретичних положень щодо створення перспективних дистанційно керованих радіолокаційних комплексів пошуку та виявлення вибухових пристроїв з неконтактними датчиками цілі за допомогою методу нелінійної радіолокації, а у випадку їх підтвердження – технічне обґрунтування вимог до пошукових пристроїв нелінійної радіолокації та дистанційно керованих радіолокаційних комплексів в цілому.

Список використаних джерел

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. Экзаменуєт “горячая точка” // Арм. сб. № 1, 2000. С. 34-38.
4. Блюх 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. Щербаков Г. Н. Обнаружение скрытых объектов: монография. М.: Арбат-Информ, 2004. 144 с.
7. Щербаков Г. Н. Новые методы обнаружения скрытых объектов: монография. М.: ООО Эльф ИПР, 2011. 503 с.
8. Ground Penetrating Radar Theory and Applications / H. M. Jol ed. – Amsterdam : Elsevier, 2008. 544 p.
9. LANDMARK Making Land-Mine Detection and Removal Practical. – URL : <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 університету: зб. наук. праць / Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського. К.: НУОУ, 2011. № 52. С. 54-58.
11. Коцюруба В.І. Моделювання процесу пошуку і виявлення ВВП радіолокаційним методом // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки і оборони / Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського. К.: НУОУ, 2015. № 2 (23). С. 65-69.
12. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
13. Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов. М.: Наука, 1970. – 287 с.
14. Чумаков Н. М. Оценка эффективности сложных технических систем / Н. М. Чумаков, Е. И. Серебрянский. – М.: Сов. Радио, 1980. – 230 с.

Экспериментальные исследования процесса обнаружения нелинейных переходов взрывных устройств с неконтактными датчиками цели

Александр Смольков * А

*Corresponding author: старший преподаватель кафедры, e-mail: smolkoffs@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7351-393X

^Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, пр-кт Воздухофлотский, 28, г. Киев, 03049, Украина

Аннотация

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. Такое состояние вопроса вызвало обострение проблемы противодействия взрывоопасным угрозам, а рядом 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 выявления взрывоопасных предметов, как правило, в большинстве случаев основываются на использовании активных электромагнитных методов. Приближение таких поисковых устройств к взрывным устройствам с магнитными (неконтактными) датчиками цели или

радиоуправляемым, достаточно часто приводит к несанкционированному взрыву и как следствие к потерям.

Установлено, что почти все неконтактные датчики целые 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 относительно безопасности использования поисковых устройств данного типа в ручном варианте или на наземных транспортных средствах. Одним из путей решения данного противоречия есть монтаж поисковых устройств на дистанционно-управляемую платформу. Причем, возникает неотложная потребность обоснования тактико-технических требований к средствам данного типа при изменении условий и способов их применения.

На основе проведенного анализа исследований, как отечественных, так и зарубежных специалистов, относительно использования электромагнитных методов поиска и выявления рукотворных предметов в укрывающих средах (почва, снег, вода и тому подобное), предложен научно-методический подход планирования экспериментальных исследований процессов обнаружения нелинейных переходов взрывных устройств с неконтактными датчиками цели. Экспериментальные исследования предназначены для проверки и уточнения разработанных теоретических положений относительно создания перспективных дистанционно управляемых радиолокационных комплексов поиска и обнаружения взрывных устройств с неконтактными датчиками цели методом нелинейной радиолокации, а в случае их подтверждения – технического обоснования требований к поисковым устройствам нелинейной радиолокации и дистанционно управляемых радиолокационных комплексов в целом.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, взрывное устройство с неконтактным датчиком цели, нелинейный метод обнаружения, нелинейные переходы неконтактных датчиков цели.

Experimental studies of the process of detecting nonlinear transitions of explosive devices with non-contact target sensors

Oleksandr Smolkov * A

*Corresponding author: senior lecturer of the department, e-mail: smolkoffs@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7351-393X

A National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, 28, Povitroflotskiy Ave, Kyiv, 03049, Ukraine

Abstract

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 a scientific and methodological approach to planning experimental studies of the process of detecting nonlinear transitions of explosive devices with non-contact target sensors.

Experimental studies designed to test and refine the developed theoretical provisions for the creation of promising remotely controlled radar complex for searching and detecting explosive devices with non-contact target sensors using the method of nonlinear radar, and, if confirmed, a technical justification requirement of searching devices and remote-controlled radar complex in general.

Keywords: experimental researches, explosive device with non-contact target sensor, nonlinear detection method, nonlinear transitions of non-contact target sensors.

References

1. Nizhalovskiy A. M. (1997) Na dorogah Chechni. *Arm. sb.* № 1, S. 27-29.
2. Zhukov S. (1998) Opyit razminirovaniya mestnosti v usloviyah lokalnyih voennyih konfliktov. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie.* № 6, S. 14-19.
3. Ekzamenuet "goryachaya tochka". *Arm. sb.* № 1, 2000. S. 34-38.
4. Blioh P. V. *Radiovolnyi na zemle i v kosmose.* Moscow: Byuro Kvantum, 2003. 207 s.
5. *Voprosyi podpoveryhnostnoy radiolokatsii / pod red. A. Yu. Grineva.* Moscow: Radiotekhnika, 2005. 416 s.
6. Scherbakov G.N. *Obnaruzhenie skryityih ob'ektov: monografiya.* Moscow: Arbat-Infom, 2004. 144 s.
7. Scherbakov G. N. *Novyie metodyi obnaruzheniya skryityih ob'ektov: monografiya.* Moscow: OOO Elf IPR, 2011. 503 s.
8. *Ground Penetrating Radar Theory and Applications / H. M. 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. Denisenko O. M. *Matematichna model viyavleniya vibuhonebezpechnih predmetiv poshukovim pristroem z radiolokatsiynim sposobom viyavleniya, vstanovlenim na legkih bronovanih mashinah. Trudi unversitetu: zb. nauk. Prats. Natsionalniy universitet oboroni Ukrayini imeni Ivana Chernyahovskogo.* Kyiv: NUOU, 2011. № 52. S. 54-58.
11. Kotsyuruba V.I. *Modelyuvannya protsesu poshuku i viyavleniya VNP radiolokatsiynim metodom. Suchasni informatsiyni tehnologiyi u sferi bezpeki i oboroni.* Kyiv: NUOU, 2015. № 2 (23). S. 65-69.
12. Spyrudonov A. A. *Planyrovanye eksperymenta pry yssledovanyy tekhnologhycheskykh processov.* Moscow: Mashynostroenye, 1981. 184 s.
13. Fynny D. *Vvedenye v teoryju planirovaniya eksperymentov.* Moscow: Nauka, 1970. 287 s.
14. Chumakov N. M., Serebrjanskyj E. Y. (1980) *Ocenka efektyvnosty slozhnykh tekhnicheskikh system. Sov. Radyo,* Moscow: 1980. 230 s.