

*V. I. Krivtsun¹, O. V. Zbrutskyi², V. M. Kovalchuk³*¹*Національна академія сухопутних військ, Львів, Україна*²*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*³*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, Україна*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3907-5320> – В. І. Кривцун<https://orcid.org/0000-0002-2206-7148> – О. В. Збруцький<https://orcid.org/0000-0003-0043-4936> – В. М. Ковальчук

vik-08-74@i.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ІНДУКЦІЙНИМ ТА РАДІОХВИЛЬОВИМ МЕТОДАМИ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ОДНОФАКТОРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Досвід ведення бойових дій у сучасних воєнних конфліктах показав, що одним із небезпечних їх наслідків є забруднення територій вибухонебезпечними предметами, які становлять загрозу як військовим, так і цивільному населенню. Не є винятком і Україна, яка сьогоднішні опинилася в числі найбільш забруднених вибухонебезпечними предметами країн світу. З початком ведення неоголошеної війни російської федерації проти України у 2014 році, а надалі широкомасштабного вторгнення у лютому 2022 року, ця проблема загострилась. Актуальність питання розвідки та розмінування місцевості від вибухонебезпечних предметів як під час ведення бойових дій, так і за відсутності їх збільшилось в рази. Досвід війни показує, що противник незважаючи на міжнародні конвенції щодо заборони певних видів мінної зброї, застосовує весь свій наявний арсенал мін та саморобні вибухові пристрої, які часто встановлюються на невилучуваність. Окрім мін та саморобних вибухових пристроїв територія України, де ведуться бойові дії або звільнена, забруднена великою кількістю різноманітних боеприпасів, які не розірвалися.

Виконання завдань з розвідки місцевості на наявність вибухонебезпечних предметів та розмінування під час ведення бойових дій в основному покладено на інженерні підрозділи ЗС України, а за відсутності бойових дій - на піротехнічні підрозділи Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Аналіз виконання завдань щодо розвідки та розмінування інженерними підрозділами ЗС України та піротехнічними групами Державної служби України з надзвичайних ситуацій показує, що основним способом на сьогоднішні залишається ручний, який є вкрай небезпечним для життя особового складу. З метою забезпечення безпеки виконання цих завдань ведеться робота зі створення вітчизняних засобів дистанційної розвідки та розмінування. Однією із складових таких засобів є пошукові елементи вибухонебезпечних предметів, які працюють на різних фізичних принципах. Окрім теоретичних положень одним із важливих його етапів є проведення експериментального дослідження.

В статті на основі раніше розроблених теоретичних положень наведено моделювання процесів виявлення вибухонебезпечних предметів індукційним та радіохвильовим методами з використання мінпошукачів, які перебувають на озброєнні ЗС України та ДСНС, а саме ІМПІ, РВМ-2(М), ММП (двоканальний), під час проведення однофакторного експерименту з метою обґрунтування окремих показників ефективності елементів пошуку вибухонебезпечних предметів дистанційно-керованих комплексів розмінування.

Ключові слова: бойові дії; вибухонебезпечні предмети; розмінування; мінпошукач, дистанційно-керований комплекс розмінування, експериментальні дослідження, індукційний метод, радіохвильовий метод.

*V. I. Krivtsun¹, O. V. Zbrutskyi², V. M. Kovalchuk³*¹*Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine*²*National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnic Institute", Kyiv, Ukraine*³*Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine*

STUDY OF THE PROCESSES OF DETECTION OF EXPLOSIVE OBJECTS BY INDUCTION AND RADIO-WAVE METHODS ON THE BASIS OF THE RESULTS OF SINGLE-FACTOR EXPERIMENTAL EXPERIMENTS

The experience of conducting military operations in modern military conflicts has shown that one of their dangerous consequences is the contamination of territories with explosive objects, which pose a threat to both the military and the

civilian population. Ukraine is no exception, which today is among the countries most polluted by explosive objects in the world. With the beginning of the Russian Federation's undeclared war against Ukraine in 2014 and the subsequent large-scale invasion in February 2022, this problem has become more acute. The relevance of the issue of reconnaissance and demining of the area from explosive-proof objects both during the conduct of hostilities and in their absence has increased many times. The experience of the war shows that the enemy, despite international conventions on the prohibition of certain types of mine weapons, uses its entire available arsenal of mines and improvised explosive devices, which are often set to non-removable. In addition to mines and improvised explosive devices, the territory of Ukraine, where hostilities are conducted or released, is contaminated by a large number of various unexploded ordnance.

The execution of the tasks of reconnaissance of the area for the presence of explosive objects and demining during hostilities is mainly entrusted to the engineering units of the Armed Forces of Ukraine, and in the absence of hostilities to the pyrotechnic groups of the State Emergency Service of Ukraine.

Analysis of the execution of reconnaissance and demining tasks by engineering units of the Armed Forces of Ukraine and pyrotechnic groups of the State Emergency Service shows that the main method today remains manual, which is extremely dangerous for the lives of personnel. To ensure the safety of the performance of these tasks, work is underway to create domestic means of remote reconnaissance and demining. One of the components of such means is to search elements for explosive objects that work on different physical principles. In addition to theoretical provisions, one of its important stages is conducting an experimental study.

The article, based on previously developed theoretical provisions, provides simulations of the processes of detecting explosive objects by induction and radio wave methods using mine detectors that are in service with the Armed Forces of Ukraine and the State Emergency Service, namely IMP, RVM-2(M), MMP (two-channel), during the of a one-factor experiment to substantiate individual indicators of the effectiveness of search elements for explosive objects of remote-controlled demining complexes.

Keywords: hostilities; explosive objects; demining; minesweeper, remote-controlled demining complex, experimental research, induction method, radio wave method.

Вступ. Останніми роками Україна стала займати лідируючі позиції у світі за кількістю втрат цивільного населення від підриву на вибухонебезпечних предметах (ВНП). За даними Стокгольмського інституту Миру за кількістю втрат цивільного населення Україна у 2017 році займала 3 місце, а у 2018 році 5 місце, випереджаючи Афганістан, Камбоджу, Малі та Пакистан [1-3]. Війна російської федерації проти України призвела до того, що Україна стала однією з найбільш забруднених ВНП країн світу. Тільки станом на березень 2022 року за інформацією асоціації саперів України орієнтовне забруднення території України ВНП складає становить 82,5 тисяч квадратних кілометрів, за іншою інформацією ця цифра доходить до третини території країни [4,5]. Ситуація з мінною небезпекою в Україні погіршується з кожним днем, щодня надходять повідомлення про підриви як військових, так і цивільного населення. Всупереч вимогам міжнародних конвенцій із заборони окремих видів мінної зброї противник застосовує весь наявний спектр мінної зброї, саморобні вибухові пристрої, фугаси, міні-пастки. Ще одним небезпечним наслідком ведення бойових дій є забруднення території боеприпасами, які не розірвалися. В цих умовах гостро постало питання проведення розмінування на звільнених територіях. Десятки груп розмінування інженерних підрозділів ЗС та ДСНС України цілодобово виконують завдання з перевірки місцевості та об'єктів на наявність ВНП та розмінування. При цьому, як показує досвід виконання поставлених завдань з

розмінування, основним способом виконання завдань є ручний, який є вкрай небезпечним для особового складу.

Аналіз ведення бойових дій в війнах та конфліктах сучасності, миротворчих операціях та війні РФ проти України показує, що темпи розвитку мінної зброї значно перевищують темпи розвитку протимінних засобів. Провідні країни світу забруднення територій ВНП вже кілька десятиліть сприймають як загальносвітову проблему та вживають ряд заходів щодо її вирішення. Насамперед - це створення міжнародних стандартів з розвідки та розмінування місцевості від ВНП та дистанційних (роботизованих) засобів виконання таких завдань [6-11]. Проте, питання забезпечення якості та безпеки виконання завдань очищення місцевості на сьогоднішні в повному обсязі так і не вирішене, що і обумовлює подальше поширене застосування ручного способу розмінування, який є вкрай витратним та небезпечним. Завдання із подолання мінно-вибухових загороджень, перевірки місцевості на ВНП та розмінування під час ведення бойових дій в основному виконуються підрозділами інженерних військ, а за відсутності бойових дій - піротехнічними підрозділами ДСНС, які оснащені відповідними засобами розвідки та розмінування.

Так, останнім часом від країн-партнерів надходить суттєва допомога щодо засобів пошуку та знищення ВНП, але вона не є масовою і в основному стосується засобів для ручного способу розмінування. Досвід виконання завдань

з розмінування підрозділами ЗС України та ДСНС України показує, що засоби дистанційної розвідки місцевості та знищення ВВП, якими вони знаходяться оснащені, застарілі, внаслідок чого ручний спосіб розмінування залишається основним. Через таку ситуацію щодня надходять відомості про втрати особового складу підрозділів інженерних військ та груп ДСНС, які виконують бойові завдання.

Таким чином в Україні існує проблема розвідки та розмінування у великих масштабах як під час ведення бойових дій, так і в мирний час. Вирішення зазначеної проблеми можливе шляхом створення перспективних дистанційно керованих (роботизованих) комплексів розмінування, одним з основних елементів яких є пошукові пристрої.

Отже, враховуючи все вище зазначене, у практиці розмінування значно загострюється потреба підвищення якості, оперативності та безпеки процесів, пошуку, виявлення, знищення або знешкодження ВВП. З метою забезпечення безпеки особового складу саперів та забезпечення вимог до процесу розвідки і розмінування актуальним питанням є створення дистанційно керованих (роботизованих) комплексів розмінування з обґрунтуванням відповідних параметрів. Однією з складових таких комплексів є пошуковий пристрій, в якості якого можуть використовуватися міношукачі, зокрема індукційні і радіохвильові, які перебувають на озброєнні інженерних підрозділів.

Частково усунути вказані невідповідності можна завдяки впровадженню експериментально підтверджених параметрів перспективних дистанційно керованих комплексів розмінування (ДККР), які будуть оснащуватися індукційними та радіохвильовими пошуковими пристроями (міношукачами).

Аналізуючи останні дослідження і публікації [12-17] бачимо, що в них частково розглянуті ці наукові задачі. В основному ці праці присвячені висвітленню результатів наукових досліджень, спрямованих на моделювання процесів та обґрунтування вимог до засобів пошуку та виявлення ВВП різними методами, розглядаються аспекти дистанційного знищення ВВП. Проте, отримані результати, як правило, були перевірені методами математичного моделювання, без підтвердження їх натурними експериментами.

Проведений аналіз відомих доступних досліджень і публікацій дозволив дійти висновку, що задача проведення експериментальних досліджень можливості використання перспективних засобів пошуку та виявлення ВВП за допомогою дистанційно-керованих рухомих

платформ (ДКРП) оснащеними індукційними пошуковими пристроями із врахуванням характеру мінування та типу ВВП, що застосовуються під час ведення бойових дій, на сьогодні вирішена не у повному обсязі. Отже, це питання залишається актуальним і потребує проведення подальших досліджень.

В роботі [18] була запропонована методика проведення експериментальних досліджень показників ефективності дистанційно-керованих комплексів розмінування. На основі цієї методики був проведений однофакторний експеримент із застосуванням в якості пошукового елемента індукційного (ИМП), радіохвильових РВМ-2(М) та двоканальним (індукційний та радіохвильовий) ММП міношукачів, результати якого висвітлюються в статті.

Отже, мета статті полягає у висвітленні результатів однофакторного експерименту, на основі якого проведено моделювання та підтверджена доцільність використання переносних індукційних та радіохвильових засобів пошуку ВВП, встановлених на дистанційно-керовані платформи для побудови перспективних ДККР.

Методи досліджень

Під час досліджень проведений експеримент в якості об'єкта якого обрано спосіб пошуку та виявлення ВВП шляхом використання ДКРП з пошуковим обладнанням. В основі застосування пошукових елементів лежить використання електромагнітного та радіохвильового методів виявлення ВВП.

Задача експериментального дослідження полягає в проведенні низки експериментів з метою уточнення характеристик пошукового обладнання для виявлення ВВП та можливості їх встановлення на ДКРП і використання у русі. Для цього використані такі матеріально-технічні засоби: дослідні ДКРП; макети навчальних протитанкових мін (ПТМ) та протипіхотних мін (ППМ); пошукове обладнання для розмінування: індукційне, радіохвильове, багатоканальне; прилади для вимірювання просторових параметрів (відстані, глибини встановлення); лінійка металева, штангенциркуль; ПЕОМ із осцилографом; пристрій фото- та відеофіксації.

Результати досліджень

Загальна схема дослідження наведена на рисунку 1. Основними показниками, які досліджувалися, були: y_1 – амплітуда сигналу (A , мВ); y_2 – період (T , мкс); y_3 – частота (f , Гц); y_4 – повздовжня ширина зони захвату (l_y , см); y_5 – поперечна ширина зони захвату (l_x , см). Задача полягала у визначенні висоти доцільного розташування пошукового обладнання над рівнем міни.

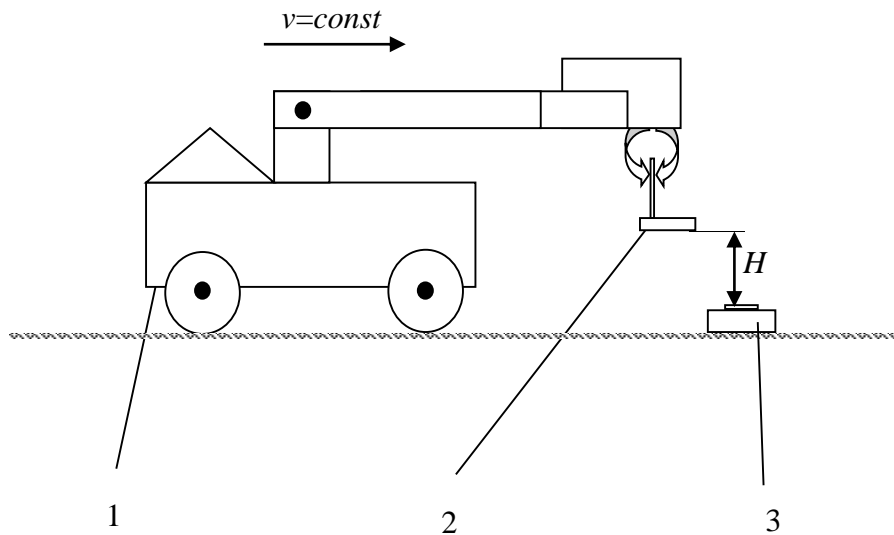


Рисунок 1 – Схема дослідження: 1 – ДКРП; 2 – антенний пристрій пошукового обладнання; 3 – міна або ВНП

Динаміка зміни значень обраних показників періоду (T), частоти (f) та амплітуди (A) сигналу при застосуванні різних типів пошукового обладнання та різних типів інженерних мін та ВНП, були зафіксовані за допомогою осцилографа.

Дослідження розташування пошукового обладнання – індукційного міношукача типу ИМП, над рівнем міни.

Під час експерименту встановлено, що параметри періоду (T) та частоти (f) при використанні індукційного методу виявлення

ВНП формуванням постійного первинного магнітного поля є фіксованими та дорівнюють: період $T=730$ мкс; частота $f=1,37$ кГц.

Наявність ВНП у металевих корпусах фіксується за значенням показника амплітуди сигналу (A), динаміка зміни якого залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H) та наближення до її центра (l_y) при поздовжньому переміщенні пошукового елемента, які були отримані під час експерименту, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Значення показника амплітуди сигналу (A , мВ) залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H , см) та наближення до її центра (l_y , см) при поздовжньому переміщенні пошукового елемента

Висота над міною H , см	Наближення до центра міни (l_y , см)													
	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70
10	141,5	141,8	145,1	148,4	151,7	121,9	92,1	123,9	155,8	171,9	188	166,8	145,7	143,5
15	142,5	142,8	146,3	149,9	153,4	105,3	57,1	119,6	182	203,3	224,5	192,1	159,7	146,7
20	147,4	147,4	149,5	151,7	153,8	137,3	120,8	144,3	167,7	169,2	170,6	159,7	148,8	147,4
25	144,2	144,2	142,5	140,9	139,2	136,2	133,1	141,1	149,1	149,6	150	147,5	145	140,8

Синтез результатів статистичних досліджень щодо значень показника амплітуди сигналу (A) наведено на рисунку 2.

Аналіз отриманих результатів (рисунок 2) показав, що за відсутності вторинного магнітного поля, яке утворюється за наявності металевих предметів в межах первинного магнітного поля, значення показника амплітуди сигналу (A) фіксується в межах 140,8...147,4 мВ.

При наближенні пошукового елемента до центра протитанкової міни типу ТМ-62М на $l_y=-20$ см фіксується перше незначне збільшення значення

амплітуди. При подальшому переміщенні до центра міни амплітуда зменшується та безпосередньо над центром міни набуває екстремального мінімального значення. Друге збільшення (екстремальне) значення амплітуди відмічається на віддаленні від центра міни на $l_y=+40$ см. Отже, поздовжня ширина зони реагування пошукового елемента при пошуку мін в металевих корпусах може бути прийнята рівною 60 см. Вказане значення доцільно використовувати при вертикальному наближенні пошукового елемента у плані до поверхні відкрито розташованої міни при $H \leq 20$ см.

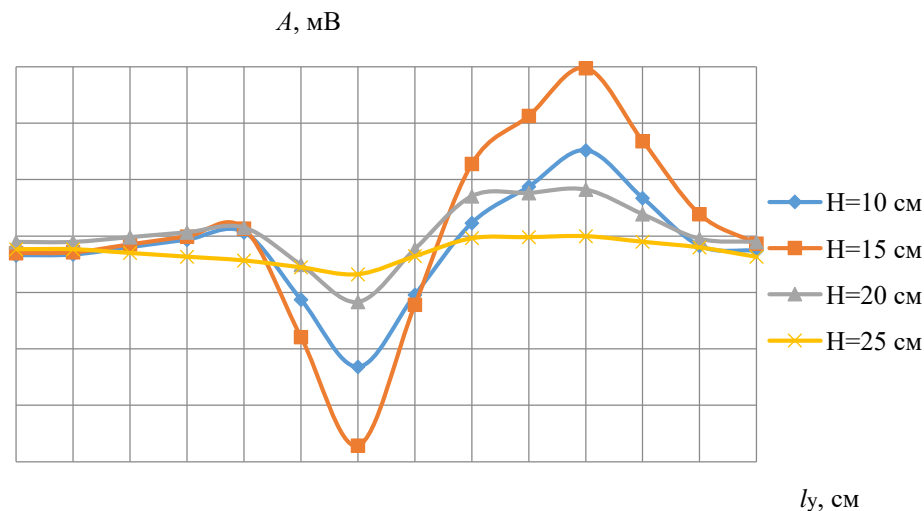


Рисунок 2 – Залежність значення показника амплітуди сигналу (A , мВ) від висоти над відкрито розташованою міною (H , см) та наближення до її центра (l_y , см) при поздовжньому переміщенні пошукового елемента

Найбільшої чутливості за амплітудою сигналу досягнуто при розташуванні пошукового елемента над поверхнею відкрито розташованої міни при $H=15$ см. Вказане значення показника приймається як найбільш раціональне наближення до міни із врахуванням можливої зустрічі з нерівностями поверхні та рослинністю.

Для оцінювання достовірності одержаних результатів експериментальних досліджень визначені значення дисперсії та середньоквадратичного відхилення за обраним показником амплітуди сигналу (A) для всієї вибірки дослідів ($n=32$) в межах зони гарантованого виявлення ВНП.

Встановлено, що значення математичного очікування вказаного показника для всієї вибірки дослідів дорівнює 147,41 мВ. При цьому, середньоквадратичне відхилення $\sigma=5,2$ мВ. Розрахунки показали, що середня відносна похибка дорівнює 3,4%.

Виходячи з того, що $n>30$ дослідів, середню похибку визначають як

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \pm \frac{5,2}{\sqrt{32}} = \pm 0,92$$

Отже, можна стверджувати, що із довірчою ймовірністю не нижче ніж 0,95 середнє значення показника амплітуди сигналу $A = 147,41 \pm 0,92$ мВ в межах всієї зони гарантованого виявлення ВНП пошуковим пристроєм даного типу.

Дослідження розташування пошукового обладнання – радіохвильового міношукача типу РВМ-2(М), над рівнем міни.

Параметри періоду (T) та частоти (f) при використанні радіохвильового методу виявлення ВНП (шляхом реєстрації різниці показника діелектричного проникнення середовища та предмета, що в ньому знаходиться) є фіксованими та дорівнюють: період $T=77$ мкс; частота $f=12,97$ кГц.

Наявність ВНП у будь-яких корпусах фіксується за значенням показника амплітуди сигналу (A), динаміка зміни якого залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H) та наближення до її центра (l_y) при поздовжньому переміщенні пошукового елемента, які були отримані під час експерименту, наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Значення показника амплітуди сигналу (A , мВ) залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H , см) та наближення до її центра (l_y , см) при поздовжньому переміщенні пошукового елемента

Висота над міною H , см	Наближення до центра міни (l_y , см)									
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	
10	230	230	674,6	430	427,5	425	672	230	230	
15	230	230	480	294	289,5	285	486	230	230	

Синтез результатів статистичних досліджень щодо значень показника амплітуди сигналу (A) наведено на рисунку 3

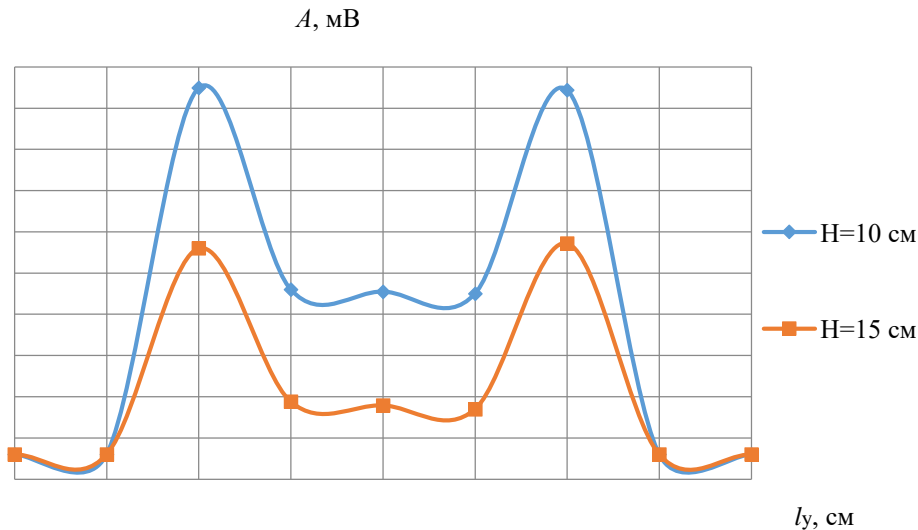


Рисунок 3 – Залежність значення показника амплітуди сигналу (A , мВ) від висоти над відкрито розташованою міною (H , см) та наближення до її центра (l_y , см) при поздовжньому переміщенні пошукового елемента

Аналіз отриманих результатів показав, що значення показника амплітуди сигналу за умов відсутності збудження (різниця діелектричної проникності нульова) дорівнює $A \approx 230$ мВ. Збільшення значення вказаного показника майже в три рази відбувається на відстанях від центра предмета (наприклад протитанкової міни) на відстань що дорівнює радіусу міни. Зокрема, поява амплітудного сплеску до 672...674,6 мВ (див. рисунок 3) відмічається при $l_y \in \{-20; +20\}$. Безпосередньо над міною спостерігається зниження значення показника амплітуди до $A = 425...430$ мВ. Враховуючи отримані результати, поздовжню ширину зони пошуку протитанкових мін можна прийняти рівною 0,4 м (40 см), а протипіхотних – рівною ширині пошукового елемента міношукача. Додатково встановлено, що швидкість сканування доцільно збільшити у порівнянні із використанням індукційних міношукачів.

Для оцінювання достовірності одержаних результатів експериментальних досліджень визначені значення дисперсії та середньоквадратичного відхилення за основним показником – амплітуди сигналу (A) для всієї вибірки дослідів ($n=18$) в межах зони гарантованого виявлення ВВП в будь-яких корпусах.

Встановлено, що значення математичного очікування вказаного показника для всієї вибірки дослідів дорівнює 394 мВ. При цьому середньоквадратичне відхилення $\sigma = 13,7$ мВ. Розрахунки показали, що середня відносна похибка дорівнює 3,7%.

Виходячи з того, що $n < 30$ дослідів, середню похибку визначають як

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} = \pm \frac{13,7}{\sqrt{18-1}} = \pm 3,33$$

Отже, можна стверджувати, що із довірою ймовірністю не нижчою за 0,95 середнє значення показника амплітуди сигналу $A = 394 \pm 3,33$ мВ в межах всієї зони гарантованого виявлення ВВП в будь-яких корпусах пошуковим пристроєм даного типу.

Дослідження розташування пошукового обладнання двоканального міношукача типу ММП, над рівнем міни.

Враховуючи те, що міношукач ММП має індукційний та радіохвильовий канали виявлення ВВП під час експерименту отримані статистичні дані, які мають достатньо високу збіжність та ідентичні даним, отриманим під час експериментальних досліджень із індукційним міношукачем типу ИМП для індукційного режиму роботи та радіохвильовим міношукачем типу РВМ-2 для радіохвильового режиму роботи. При комбінованому (одночасному сумісному) використанні двох каналів фіксація факту наявності ВВП можлива за зміною значення показника амплітуди сигналу (A) при поздовжньому переміщенні пошукового елемента над відкрито розташованою міною на висоті $H \approx 10...15$ см. Підтверджено значне підвищення достовірності виявлення ВВП та зниження хибних спрацювань при використанні багатоканальних пошукових пристроїв. При цьому, як недолік слід зазначити збільшення енергозатратності вказаних пристроїв від 25% до 50%.

Висновки

Таким чином, в результаті проведення однофакторного експерименту параметрів індукційного міношукача типу ИМП встановлено, що найбільшій чутливості за амплітудою сигналу досягнуто при розташуванні пошукового елемента над поверхнею відкрито розташованої міни (типу ТМ-62) при $H=15$ см. Вказане значення показника приймається як найбільш раціональне наближення до міни із врахуванням можливої зустрічі з нерівностями поверхні та рослинністю.

Під час дослідження чутливості радіохвильового міношукача типу РВМ-2 (М) наявність ВВП у будь-яких корпусах фіксується за значенням показника амплітуди сигналу (A), динаміка зміни якого залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H) та наближення до її центра (l_y) при поздовжньому переміщенні пошукового елемента, які були отримані під час експерименту. Встановлено, що поздовжню ширину зони пошуку протитанкових мін можна прийняти рівною 0,4 м (40 см), а протипіхотних – рівною ширині пошукового елемента міношукача, швидкість сканування доцільно збільшити у порівнянні із використанням індукційних міношукачів. Дослідження двоканального міношукача ММП показали високу збіжність та ідентичні даним, отриманим під час експериментальних досліджень із індукційним міношукачем типу ИМП для індукційного режиму роботи та радіохвильовим міношукачем типу РВМ-2 для радіохвильового режиму роботи. Отримані результати доцільно використовувати під час обґрунтування параметрів застосування ДККР.

Напрямок подальших експериментальних досліджень є проведення багатофакторного експерименту з метою встановлення параметрів пошуку ВВП з використанням пошукових елементів типу міношукачів ИМП, ИМП-2, РВМ-2 (М), ММП.

Список літератури:

1. ООН закликає активізувати зусилля з розмінування на сході України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.unian.ua/war/10502961-oon-zaklikae-aktivizuvati-zusillya-z-rozminuvannya-na-shodi-ukrajini.html>
2. Допомога в діяльності, пов'язаній з розмінуванням. Доповідь Генерального секретаря ООН Антоніу Гутерреш на 72 сесії Генеральної асамблеї 31 липня 2017 року. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/250123740>
3. Україна – п'ята в світі за кількістю жертв вибухів мін. URL: https://m.censor.net.ua/news/3161155/ukraina_pyataya_v_mire_po_kolichestvu_

jertv_vzry_vov_min_doklad (дата звернення: 05.03.2020).

4. Майже половину території України потрібно розмінувати внаслідок війни – ДСНС [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.unian.ua/war/viyana-v-ukrajini-rozminuvati-treba-mayzhe-polovinu-teritoriji-ukrajini-dsns-novini-vtorgnennya-rosiji-v-ukrajinu-11781951.html>.

5. Скільки території України потребує розмінування [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2022/03/22/novy-na-bezpeka/skilky-terytoriyi-ukrayiny-potrebuye-rozminuvannya-oczinka-asocziacziyi-saperiv>

6. Міжнародні стандарти протимінної діяльності: організація національної програми. URL: <https://www.osce.org/ukraine/149431?download=true>

7. Commercial mine clearance agencies. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mine_clearance_agency#Commercial_mine_clearance_agencies.

8. Office of Weapons Removal and Abatement (WRA). URL: <https://www.state.gov/t/pm/wra/>.

9. Robots for Humanitarian Demining. <https://www.researchgate.net/publication/321954778>

10. Demining robots – home. <http://www.natospdeminingrobots.com/>

11. Demining Robots: Finding the right machine - Armtrac Ltd. <https://armtrac.net/demining-robots/demining-robots-finding-right-machine/>

12. Підсумковий звіт про виконання бойових завдань саперними підрозділами ЗС України в Ісламській Республіці Афганістан у складі Литовської групи з реконструкції провінції Гор (ГРП) за період з листопада 2010 р. по листопад 2011 р. К.: ГШ ЗСУ, 2012. 47 с.

13. Ментус І. Е. Ефективність інженерних боеприпасів: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський: ФВП ПДАТУ, 2008. 80 с.

14. Коцюруба В. І., Шишанов М. О., Гусяков О. М., Даценко І. П., Гімбер С. М. Обґрунтування раціональної комбінації методів виявлення вибухонебезпечних предметів для пошукових пристроїв робототехнічних комплексів розмінування. Зб. наук. праць Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2015. №4(59). С. 187-19

15. Коцюруба В. І. Синтез структури пошукових пристроїв виявлення вибухонебезпечних предметів. Збірник наукових праць Харківського національного університету ПС. Харків: ХНУПС, 2016. №4(49). С. 97-99.

16. Денисенко А. Н., Коцюруба В. И. Математическая модель обнаружения взрывоопасных предметов индукционным

методом. Артиллерийское и стрелковое вооружение. 2009. №4(33). С. 19-23.

17. Мосов С. П., Гурак С. П. Роботи та БПЛА проти мін. Оборонний вісник. № 11, 2019.

18. Коцюрuba В.І., Кривцун В.І., Ляшенко В.А. Планування експериментальних досліджень показників ефективності дистанційно-керованих комплексів розмінування. Збірник наукових праць державного науково-дослідного інституту випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки / Чернігів: ДНДІ ВС ОВТ, 2022. №3(13). С. 68-81.

References:

1. The UN calls for intensified demining efforts in eastern Ukraine [Electronic resource]. Access mode: <https://www.unian.ua/war/10502961-oon-zaklikaye-aktivizuvati-zusillya-z-rozminuvannya-na-shodi-ukrajini.html>

2. Assistance in demining activities. Report of UN Secretary General Antonio Guterres at the 72nd session of the General Assembly on July 31, 2017. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/250123740>

3. Ukraine is fifth in the world in the number of victims of mine explosions. URL: https://m.censor.net.ua/news/3161155/ukraina_pyataya_v_mire_po_kolichestvu_jertv_vzryvov_min_doklad (date of application: 03/05/2020).

4. Almost half of the territory of Ukraine needs to be demined as a result of the war – DSNS [Electronic resource]. Access mode: <https://www.unian.ua/war/viyna-v-ukrajini-rozminuvati-treba-mayzhe-polovinu-teritoriji-ukrajini-dsns-novini-vtorgnennya-rosiji-v-ukrajinu-11781951.html>.

5. How much territory of Ukraine needs demining [Electronic resource]. Access mode: <https://www.slovoidilo.ua/2022/03/22/novyna/bezpek-a/skilky-terytoriyi-ukrayiny-potrebuye-rozminuvannya-oczinka-asocziacziy-saperiv>

6. International mine action standards: organization of the national program. URL: <https://www.osce.org/ukraine/149431?download=true>

7. Commercial mine clearance agencies. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mine_clearance_agency#Commercial_mine_clearance_agencies.

8. Office of Weapons Removal and Abatement (WRA). URL: <https://www.state.gov/t/pm/wra/>.

9. Robots for Humanitarian Demining. <https://www.researchgate.net/publication/321954778>

10. Demining robots - home. <http://www.natospsdeminingrobots.com/>

11. Demining Robots: Finding the right machine Armtrac Ltd. <https://armtrac.net/demining-robots/demining-robots-finding-right-machine/>

12. Final report on the execution of combat missions by sapper units of the Armed Forces of Ukraine in the Islamic Republic of Afghanistan as part of the Lithuanian Group for the Reconstruction of the Gore Province (HRP) for the period from November 2010 to November 2011. K.: General Staff of the Armed Forces of Ukraine, 2012. 47 p.

13. Mentus I. E. Effectiveness of engineering munitions: a study guide. Kamianets-Podilskyi: FVP PDATU, 2008. 80 p.

14. Kotsyruba V. I., Shishanov M. O., Guslyakov O. M., Datsenko I. P., Gimber S. M. Justification of a rational combination of methods for detecting explosive objects for search devices of robotic demining complexes. Coll. of science Proceedings of the Central Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine. Kyiv: TsNDI OVT ZSU, 2015. No. 4(59). P. 187-19

15. Kotsyruba V.I. Synthesis of the structure of search devices for detecting explosive objects. Collection of scientific papers of the Kharkiv National University PS. Kharkiv: KhNUPS, 2016. No. 4(49). P. 97-99.

16. Denysenko A.N., Kotsyruba V.I. Mathematical model of detection of explosive objects by induction method. Artillery and small arms. 2009. No. 4(33). P. 19-23.

17. Mosov S.P., Gurak S.P. Robots and UAVs against mines. Defense Herald. No. 11, 2019.

18. Kotsyruba V.I., Kryvtsun V.I., Lyashenko V.A. Planning of experimental studies of indicators of effectiveness of remote-controlled demining complexes. Collection of scientific works of the State Research Institute for Testing and Certification of Weapons and Military Equipment / Chernihiv: DNDI VS OVT, 2022. No. 3(13). P. 68-81.

© В. І. Кривцун, О. В. Збруцький,
В. М. Ковальчук, 2022.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 12.12.2022.

Прийнято до публікації 12.12.2022.