

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ІНДУКЦІЙНИМ МЕТОДОМ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З початком ведення неоголошеної війни російської федерації проти України у 2014 році, а у подальшому широкомасштабного вторгнення у лютому 2022 року дуже гостро постало питання розвідки та розмінування місцевості від вибухонебезпечних предметів як під час виконання ведення бойових дій так і при відсутності їх. 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 невилучаємість. Окрім мін та саморобних вибухових пристроїв територія України, де ведуться бойові дії або звільнені забруднена великою кількістю різних боєприпасів, які не розірвалися.

Аналіз виконання завдань щодо розвідки та розмінування інженерними підрозділами ЗС України показує, що основним способом на сьогоднішній день залишається ручний, який є вкрай небезпечним для життя особового складу. З метою забезпечення виконання цих завдань ведеться робота щодо створення вітчизняних засобів дистанційної розвідки та розмінування. Однією і 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 методом 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; дистанційно-керований комплекс розмінування, експериментальні дослідження, індукційний метод, фактори, показники.

Вступ. Аналіз ведення бойових дій у війні російської федерації проти України показує масове застосування мінно-вибухових загороджень як підрозділами ЗС України так і противником. Всупереч вимогам міжнародних конвенцій із заборони окремих видів мін противник застосовує весь наявний спектр мінної зброї, саморобні вибухові пристрої, фугаси, міни-пастки. Тактика дій противника передбачає під час відступу мінування як об'єктів інфраструктури так і жилих будівель і приміщень, в наслідок чого гинуть не тільки військові але і цивільне населення. Встановлення мінних полів, вузлів загороджень, групи та окремих мін, а також саморобних вибухових пристроїв та керованих фугасів призводить не тільки до знищення техніки та особового складу, а й до затримки військ, що наступають та примушення рухатись противника у вигідному напрямку [1-3]. В цих умовах під час наступальних (контрнаступальних) дій підрозділи ЗС України стикаються з проблемою подолання мінно-вибухових загороджень. Під час заняття районів розташування виникає питання щодо перевірки місцевості на наявність вибухонебезпечних предметів (ВНП).

Ще одним небезпечним наслідком ведення бойових дій є забруднення території боєприпасами, які не розірвалися. 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 більше 82,5 тисяч квадратних кілометрів, за іншою інформацією ця цифра доходить до третини території країни [4,5]. Щодня ця територія збільшується та надходять повідомлення про підриг як цивільного населення так і військових. З початком російської

агресії в 2014 році Україна стала займати лідируючі позиції у світі за кількістю втрат цивільного населення від підриву на ВВП [6-8]. Зрозуміло, що на сьогоднішній день ситуація значно погіршилася, дані втрат уточнюються.

Таким чином, Україна стикнулася з проблемою розвідки та розмінування у великих масштабах як під час ведення бойових дій так і в мирний час. Вирішення зазначеної проблеми можливо за рахунок створення перспективних дистанційно керованих (роботизованих) комплексів розмінування.

Постановка проблеми. 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 ВВП вже кілька десятиліть сприймають це як загальносвітову проблему та вживають ряд заходів щодо її вирішення. Насамперед це створення міжнародних стандартів з розвідки та розмінування місцевості від ВВП та дистанційних (роботизованих) засобів виконання таких завдань [7-14]. Проте, питання забезпечення якості та безпеки виконання завдань очищення місцевості на сьогоднішній день в повному обсязі так і не вирішено, що і обумовлює подальше поширене застосування ручного способу розмінування, який є вкрай витратним та небезпечним. Завдання по подоланню МВЗ, перевірки місцевості на ВВП та розмінування в основному виконуються підрозділами інженерних військ, які на своєму оснащенні мають відповідні засоби розвідки та розмінування.

Досвід виконання цих завдань підрозділами ЗС та ДСНС України показує, що засоби розвідки місцевості та знищення ВВП, які знаходяться на їх оснащенні, застарілі, в наслідок чого ручний спосіб розмінування залишається основним. В наслідок такого стану щодня приходять відомості про втрати особового складу підрозділів інженерних військ, які виконують бойові завдання з розвідки місцевості на наявність ВВП та їх знищення, пророблення проходів в МВЗ, супроводу колон тощо.

Отже, враховуючі 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, які перебувають на озброєнні інженерних підрозділів.

Частково вирішити усунення вказаних невідповідностей можливо за рахунок впровадження експериментально підтверджених параметрів перспективних дистанційно керованих комплексів розмінування, які будуть оснащуватися індукційними пошуковими пристроями (міношукачами).

Аналіз останніх досліджень і публікацій [15-22] показав, що в них піднято та розглянуто часткові наукові задачі. Так відомі праці [15-21] 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, підняте питання залишається актуальним і вимагає проведення подальших досліджень.

Мета статті полягає у висвітленні результатів однофакторного експерименту, на основі якого проведено моделювання та підтверджена доцільність використання переносних

індукційних імпульсних засобів пошуку ВНП, встановлених на ДКРП для побудови перспективних дистанційно-керованих комплексів розмінування (ДККР).

Виклад основного матеріалу дослідження. В роботі [23] 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 імпульсного міношукача типу ИМП-2 (ПР-507).

Матеріально-технічним забезпеченням випробування були: дослідні ДКРП; макети учбових протитанкових мін типу ТМ-62М та протипіхотних мін типу ПМН-2; пошукове обладнання для розмінування: індукційний імпульсний міношукач типу ИМП-2 (ПР-507), прилади для вимірювання просторових параметрів (відстані, глибини встановлення); лінійка металева, штангенциркуль; ПЕОМ із осцилографом; пристрій фото- та відео-фіксації.

Загальна схема дослідження наведена на рис. 1.

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

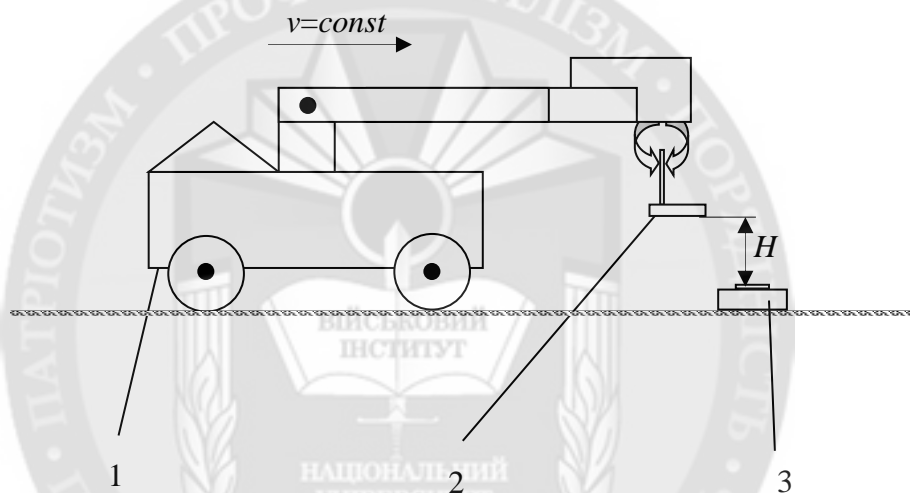


Рисунок 1 – Схема дослідження: 1 – ДКРП; 2 – антенний пристрій пошукового обладнання; 3 – міна або ВНП

В якості дистанційно-керованої рухомої платформи в умовах лабораторних випробувань використовувалась платформа ДКРП-1 (рис. 2).

Для проведення однофакторного експерименту (лабораторних випробувань) пошукове обладнання готувалось для роботи з одним коліном із додатковим дообладнанням пошукових елементів типу ИМП-2 (рис. 3) гвинтовим кріпленням із шайбою.



Рисунок 2 – Дистанційно керована рухома платформа ДКРП-1 (лабораторні випробування): а – транспортне положення; б – робоче положення

Утримання пошукового елемента під час проведення однофакторного експерименту (лабораторних випробувань) здійснювалось за допомогою захоплюючого пристрою (грейфера) маніпулятора.

Результати проведення однофакторного експерименту

Під час експерименту була визначена динаміка зміни значень обраних показників періоду (T), частоти (f) та амплітуди (A) сигналу при застосуванні різних типів інженерних мін та ВНП, зафіксовані за допомогою осцилографа.



Рисунок 3 – Варіант кріплення пристроїв для проведення експериментальних досліджень індукційного імпульсного типу ИМП-2 (ПР-507)

При проведенні експериментальних досліджень встановлено, що при використанні індукційного імпульсного методу виявлення ВНП під час збудження вторинного магнітного поля та фіксації його прийомною антеною пошукового елемента реєструються зміни параметри всіх трьох раніше вказаних показників: амплітуди (A), періоду (T) та частоти (f) сигналу.

На відміну від міношукача типу ИМП (індукційного з постійним магнітним полем) даний тип міношукача ИМП-2 (ПР-507) є більш чутливим до металевих предметів малої маси. Тому досліди проводились із використанням макетів як протитанкової міни типу ТМ-62М (в металевому корпусі) так і протипіхотної міни типу ПМН, що містить незначну кількість металу.

Реагування на протитанкову міну типу ТМ-62М

Динаміка зміни амплітуди сигналу (A) залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H) та наближення до її центру (l_y) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента та наведена у таблиці 1.

Значення показника амплітуди сигналу (A , В) залежно від висоти над відкрито розташованою протитанковою міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента.

Таблиця 1

Висота над міною H , см	Наближення до центру міни (l_y , см)									
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
10	0	1,54	1,32	1,36	1,315	1,27	1,36	1,45	0	0
15	0	0	1,36	1,45	1,45	1,45	1,455	1,46	0	0
20	0	0	1,47	1,37	1,41	1,45	1,465	1,48	0	0
25	0	0	0	1,49	1,535	1,58	0	0	0	0

Синтез результатів статистичних досліджень щодо значень показника амплітуди сигналу (A) наведено на рис. 4. Аналіз отриманих результатів показав, що при відсутності вторинного магнітного поля, що утворюється при наявності металевих предметів в межах первинного імпульсного магнітного поля, значення показника амплітуди сигналу (A) є відносно малим та дорівнює 24...27 мВ.

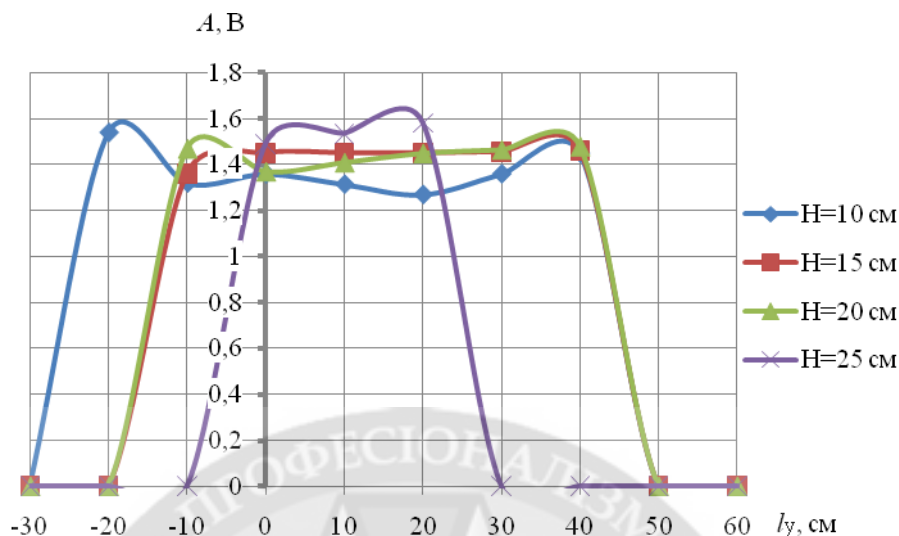


Рисунок 4 – Залежність значення показника амплітуди сигналу (A , В) від висоти над відкрито розташованою протитанковою міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента

При наближенні пошукового елемента до центра протитанкової міни типу ТМ-62М на відстань $l_y \approx -25$... -20 см фіксується різке збільшення амплітуди до 1,25...1,63 В. При подальшому переміщенні та при розташуванні пошукового елемента безпосередньо над центром міни зафіксовано незначні зниження амплітуди на 0,5...1,0 В. При наближенні до дальньої межі зони фіксації вторинного магнітного поля (відстань $l_y \approx +20$... 40 см) показник амплітуди сигналу відновлюється до попереднього максимального значення. Після проходження відстані $+25$... $+45$ см (для різної висоти розташування пошукового елемента відносно поверхні міни) відмічається різке зменшення амплітуди до рівня не збудженого стану.

Динаміка зміни періоду сигналу (T) залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H) та наближення до її центру (l_y) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента та наведена у таблиці 2. Значення показника періоду сигналу (T , мкс) залежно від висоти над відкрито розташованою протитанковою міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента.

Таблиця 2

Висота над міною H , см	Наближення до центру міни (l_y , см)									
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
10	0	88	70	73	72	71	68	65	0	0
15	0	0	248	63	66,5	70	226	382	191	0
20	0	0	279	76	72	68	189,5	311	0	0
25	0	0	41,58	126	94,5	63	0	0	0	0

Синтез результатів статистичних досліджень щодо значень показника періоду сигналу (T) наведено на рис. 5.

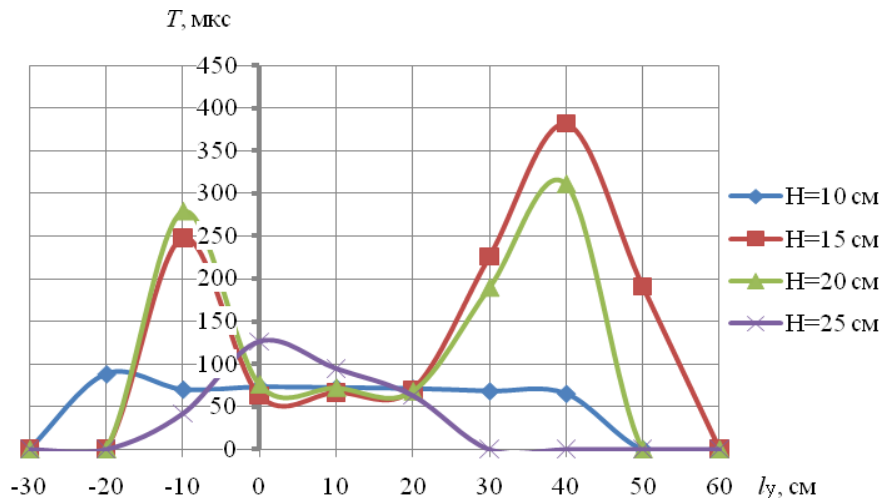


Рисунок 5 – Залежність значення показника періоду сигналу (T , мкс) від висоти над відкрито розташованою протитанковою міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента

Динаміка зміни частоти сигналу (f) залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H) та наближення до її центру (l_y) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента та наведена у таблиці 3. Значення показника частоти сигналу (f , кГц) залежно від висоти над відкрито розташованою протитанковою міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента.

Таблиця 3

Висота над міною H , см	Наближення до центру міни (l_y , см)									
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
10	0	11,4	14,3	13,7	13,9	14,1	14,7	15,4	0	0
15	0	0	4,0	15,9	15,0	14,3	4,4	2,6	5,2	0
20	0	0	3,6	13,2	13,9	14,7	5,3	3,2	0	0
25	0	0	24,1	7,9	10,6	15,9	0	0	0	0

Синтез результатів статистичних досліджень щодо значень показника частоти сигналу (f) наведено на рис. 6.

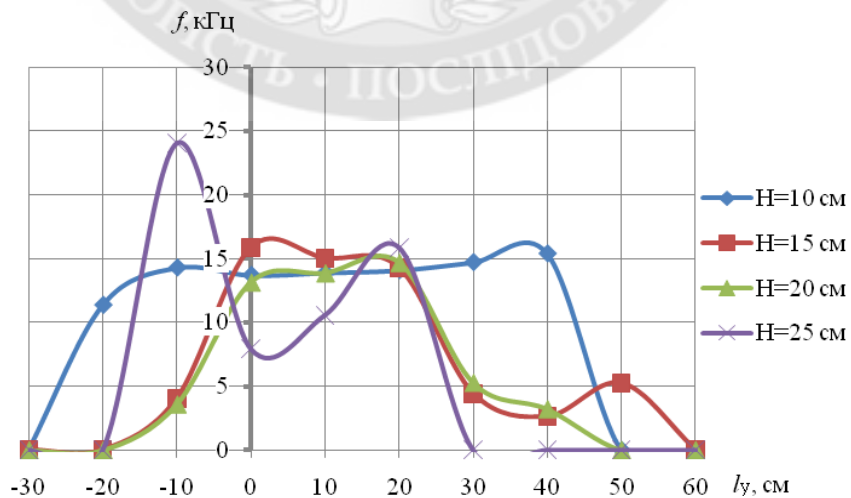


Рисунок 6 – Залежність значення показника частоти сигналу (f , кГц) від висоти над відкрито розташованою протитанковою міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента

Результати розрахунків (рис. 6) показали, що за зміною значення показника періоду сигналу (T) фіксація факту наявності протитанкової міни типу ТМ-62М можлива при розташуванні пошукового елемента на висоті відносно поверхні відкрито розташованої міною H , = 15...20 см та наближення до її центру (l_y) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента від -20 см до +40...50 см.

При наближенні до центру міни на тих же висотах розташування пошукового елемента відносно поверхні міни та при повздовжньому проходженні над нею від -10 см до +20 см зафіксовано зменшення значення періоду у шість разів до $T = 50$ мкс. Вказаний провал показника може бути прив'язаний до геометричних розмірів ВВП.

Зроблені висновки щодо повздовжніх параметрів зони гарантованого виявлення, що підтверджені результатами статистичних досліджень щодо динаміки зміни значення показника частоти сигналу (f) залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H) та наближення до її центру (l_y) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента.

В цілому, аналіз отриманих результатів статистичних досліджень значень показників сигналу при виявленні протитанкових мін типу ТМ-62М (аналогічних мін в металевих корпусах) під час здійснення пошуку за допомогою міношукача типу ИМП-2 (ПР-507) дозволив дійти висновку щодо можливості створення образів мін за обраними показниками. При цьому, ширина смуги зони реєстрації появи вторинного магнітного поля від металевого предмету може бути прийнята рівною 0,5 м (50 см).

Для оцінювання достовірності одержаних результатів експериментальних досліджень визначені значення дисперсії та середньоквадратичного відхилення за основним показником – амплітуди сигналу (A) для всієї вибірки дослідів ($n = 40$) в межах зони гарантованого виявлення ВВП аналогічні ПТМ типу ТМ-62М.

Встановлено, що значення математичного очікування вказаного показника для всієї вибірки дослідів дорівнює 150,33 мВ. При цьому, середньоквадратичне відхилення $\sigma = 5,99$ мВ. Розрахунки показали, що середня відносна похибка дорівнює 4,2%.

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

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \pm \frac{5,99}{\sqrt{40}} = \pm 0,95 .$$

Отже, можна стверджувати, що із довірчою ймовірністю не нижче ніж 0,95 середнє значення показника амплітуди сигналу $A = 150,33 \pm 0,95$ мВ в межах всієї зони гарантованого виявлення ПТМ типу ТМ-62М пошуковим пристроєм даного типу.

Реагування на протипіхотну міну типу ПМН-2 (мало металоємна)

Аналогічно як і в попередніх дослідженнях процесу використання міношукача типу ИМП-2 (ПР-507) підтверджено, що при використанні індукційного імпульсного методу виявлення ВВП під час збудження вторинного магнітного поля навіть від протипіхотної міни із малим вмістом металу та фіксації його прийомною антеною пошукового елемента реєструються зміни параметри всіх показників: амплітуди (A), періоду (T) та частоти (f) сигналу. Однак, за таких умов ефективна реєстрація відкрито розташованого на поверхні підлоги макета протипіхотної міни із масою металевого елемента 2...4 грами виявилась можливою лише при розташуванні пошукового елемента відносно поверхні міни на висоті до 10 см. Отже, зміна значень показників реєструвалась лише на вказаній висоті (H).

Динаміка зміни амплітуди сигналу (A) залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H) та наближення до її центру (l_y) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента та наведена у таблиці 4. Значення показника амплітуди сигналу (A , В) залежно від висоти над відкрито розташованою протипіхотною міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента.

Таблиця 4

Висота над міною H , см	Наближення до центру міни (l_y , см)				
	-20	-10	0	10	20
10	0	0,114	1,45	0,123	0

Синтез результатів статистичних досліджень щодо значень показника амплітуди сигналу (A) наведено на рис. 7.

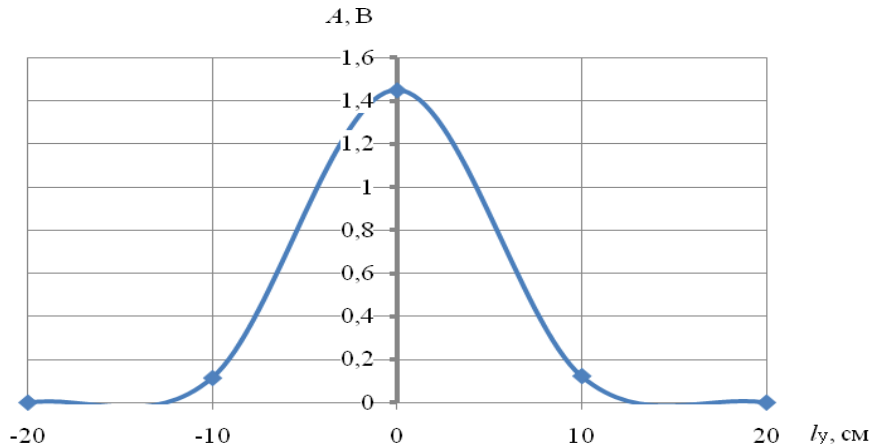


Рисунок 7 – Залежність значення показника амплітуди сигналу (A , мВ) від висоти над відкрито розташованою протипіхотною міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента

Динаміка зміни періоду сигналу (T) залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H) та наближення до її центру (l_y) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента та наведена у таблиці 5. Значення показника періоду сигналу (T , мкс) залежно від висоти над відкрито розташованою протипіхотною міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента.

Таблиця 5

Висота над міною H , см	Наближення до центру міни (l_y , см)				
	-20	-10	0	10	20
10	0	0	68	454	0

Синтез результатів статистичних досліджень щодо значень показника періоду сигналу (T) наведено на рис. 8.

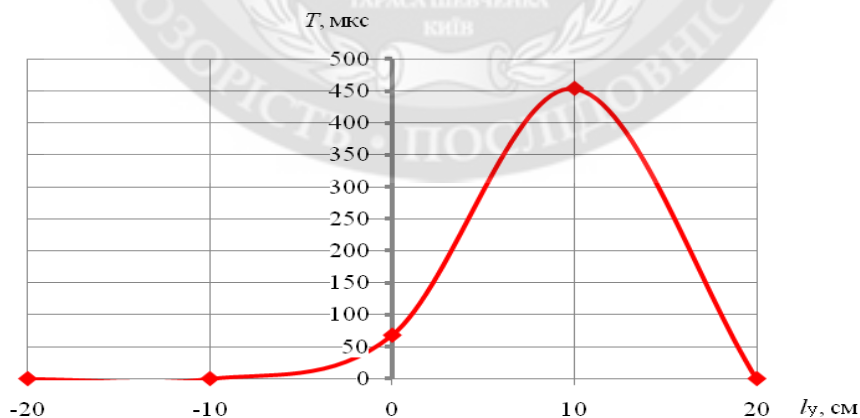


Рисунок 8 – Залежність значення показника періоду сигналу (T , мкс) від висоти над відкрито розташованою протипіхотною міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента

Динаміка зміни частоти сигналу (f) залежно від висоти над відкрито розташованою міною (H) та наближення до її центру (l_y) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента та наведена у таблиці 6. Значення показника частоти сигналу (f , кГц) залежно від

висоти над відкрито розташованою протипіхотною міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента.

Таблиця 6

Висота над міною H , см	Наближення до центру міни (l_y , см)				
	-20	-10	0	10	20
10	0	0	14,7	2,2	0

Синтез результатів статистичних досліджень щодо значень показника частоти сигналу (f) наведено на рис. 9.

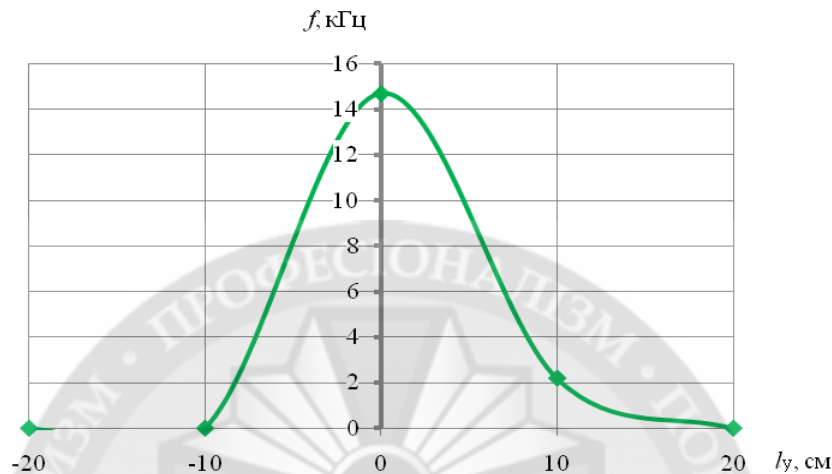


Рисунок 9 – Залежність значення показника частоти сигналу (f , кГц) від висоти над відкрито розташованою протипіхотною міною (H , см) та наближення до її центру (l_y , см) при повздовжньому переміщенні пошукового елемента

Аналіз отриманих результатів статистичних досліджень (рисунки 7-9) показав, що ширина смуги зони реєстрації появи вторинного магнітного поля від протипіхотної міни із малим вмістом металу може бути прийнята близько 0,2 м (20 см). Така ширина відповідає геометричним розмірам пошукового елемента та повинна бути врахована під час обґрунтування темпу пошуку протипіхотних мін. При цьому, максимального значення над центром міни зафіксовано для показників: амплітуди сигналу $A=1,42$ В та частоти сигналу $f=14,7$ кГц. За умов відсутності фіксації збудження вторинного магнітного поля в межах зони пошукового елемента показник амплітуди знижується до значення 11,4...12,3 мВ, а значення показників періоду та частоти сигналу на осцилограмах взагалі не фіксуються.

Для оцінювання достовірності одержаних результатів експериментальних досліджень визначені значення дисперсії та середньоквадратичного відхилення за основним показником – амплітуди сигналу (A) для всієї вибірки дослідів ($n = 32$) в межах зони гарантованого виявлення ВВП аналогічні ППМ типу ПМН-2 (мало металоємких).

Встановлено, що значення математичного очікування вказаного показника для всієї вибірки дослідів дорівнює 147,4 мВ. При цьому, середньоквадратичне відхилення $\sigma = 5,195$ мВ. Розрахунки показали, що середня відносна похибка дорівнює 3,4%.

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

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \pm \frac{5,195}{\sqrt{32}} = \pm 0,92 .$$

Отже, можна стверджувати, що із довірчою ймовірністю не нижче ніж 0,95 середнє значення показника амплітуди сигналу $A = 147,4 \pm 0,92$ мВ в межах всієї зони гарантованого виявлення ППМ типу ПМН-2 (мало металоємких) пошуковим пристроєм даного типу.

Висновки. В результаті проведення однофакторного експерименту параметрів міношукача типу ИМП-2 (ПР-507) встановлено, що фіксація наявності ПТМ, ППМ, в тому

числі й з малим вмістом металу здійснюється за значеннями параметрів амплітуди (A), періоду (T) та частоти (f) сигналу. За визначеною динамікою зміни показників встановлено, що виявлення ПТМ типу ТМ-62М фіксується при l_y від $-25...-20$ см до $+25...+45$ см (при різних значеннях висоти розташування міношукача над міною). При цьому, максимальне значення амплітуди знаходиться в межах $A = 1,25...1,63$ В. Встановлено, що ширина смуги зони реєстрації сигналу при пошуку мін типу ТМ -6 2М може бути прийнятою 50 см.

Дослідження зміни обраних параметрів показників при використанні міношукача типу ИМП-2 для пошуку мало металомістких ППМ показали, що фіксація наявності мін даного типу можлива при розташуванні антенного пристрою над міною на висоті $H \leq 10$ см. Встановлено, що ширина зони гарантованого виявлення буде рівною до 20 см. При цьому, значення амплітуди $A = 1,42$ В і частоти $f = 14,7$ кГц та періоду сигналу $T = 450$ мкс.

Достовірність отриманих результатів підтверджується розрахунками щодо визначення середньої очікуваної помилки під час проведення однофакторного експерименту. Встановлено, що її значення знаходиться в межах $3,4...4,2\%$ та є допустимою для обраних умов проведення експерименту.

Напрямок подальших експериментальних досліджень є проведення багатофакторного експерименту з метою встановлення параметрів пошуку ВНП з використанням пошукових елементів типу міношукачів ИМП, ИМП-2.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ментус І. Е. Ефективність інженерних боєприпасів: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський: ФВП ПДАТУ, 2008. 80 с.
2. Саламахин Т. М. Боевая эффективность инженерных боеприпасов и элементов системы заграждений: учебное пособие. М.: ВИА им. Куйбышева, 1983. 424 с.
3. 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.
4. Майже половину території України потрібно розмінувати внаслідок війни – ДСНС [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.unian.ua/war/viyna-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/novyna/bezpeka/skilky-terytoriyi-ukrayiny-potrebuye-rozminuvannya-oczinka-asociazziyi-saperiv>
6. ООН закликає активізувати зусилля з розмінування на сході України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.unian.ua/war/10502961-oon-zaklikaye-aktivizuvati-zusillya-z-rozminuvannya-na-shodi-ukrajini.html>
7. 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>
8. 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_vzryvov_min_doklad (дата звернення: 05.03.2020).
9. Міжнародні стандарти протимінної діяльності: організація національної програми. URL: <https://www.osce.org/ukraine/149431?download=true>
10. Commercial mine clearance agencies. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mine_clearance_agency#Commercial_mine_clearance_agencies.
11. Office of Weapons Removal and Abatement (WRA). URL: <https://www.state.gov/t/pm/wra/>.
12. Robots for Humanitarian Demining. <https://www.researchgate.net/publication/321954778>
13. Demining robots – home. <http://www.natospdeminingrobots.com/>

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

15. 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.

16. 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.

17. Денисенко А. Н., Коцюруба В. И. Математическая модель обнаружения взрывоопасных предметов индукционным методом. Артиллерийское и стрелковое вооружение. 2009. №4(33). С. 19-23.

18. Звержинский С.С., Парфенов И.В. Метод магнитометрического обнаружения взрывоопасных предметов // Научные технологии. № 5, 2001. С. 29-34.

19. Щербаков Г.Н. Обнаружение скрытых объектов: монография. М.: Арбат-Информ, 2004. - 144 с.

20. Щербаков Г. Н. Новые методы обнаружения скрытых объектов: монография. М.: ООО Эльф ИПР, 2011. 503 с.

21. Щербаков Г.Н. Методы обнаружения мин – применительно к проблеме гуманитарного разминирования. Актуальность, проблемы // Специальная техника, 2003. № 3. С. 24-31.

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

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

2. Salamakhin T. M. Combat effectiveness of engineering munitions and elements of the obstructed system: textbook. M.: VIA named after Kuibysheva, 1983. 424 p.

3. 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.

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/bezpeka/skilky-terytoriyi-ukrayiny-potrebuye-rozminuvannya-oczinka-asocziaczyiy-saperiv>

6. 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>

7. 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>

8. 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).
9. International mine action standards: organization of the national program. URL: <https://www.osce.org/ukraine/149431?download=true>
10. Commercial mine clearance agencies. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mine_clearance_agency#Commercial_mine_clearance_agencies.
11. Office of Weapons Removal and Abatement (WRA). URL: <https://www.state.gov/t/pm/wra/>.
12. Robots for Humanitarian Demining. <https://www.researchgate.net/publication/321954778>
13. Demining robots - home. <http://www.natospdeminingrobots.com/>
14. Demining Robots: Finding the right machine - Armtrac Ltd. <https://armtrac.net/demining-robots/demining-robots-finding-right-machine/>
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Zverzhinsky S.S., Parfenov I.V. The method of magnetometric detection of explosive objects // Naukoemkie tehnologii. No. 5, 2001. P. 29-34.
19. Shcherbakov G.N. Detection of hidden objects: monograph. M.: Arbat-Inform, 2004. 144 p.
20. Shcherbakov G.N. New methods of detecting hidden objects: monograph. M.: OOO Elf IPR, 2011. 503 p.
21. Shcherbakov G.N. Mine detection methods - applied to the problem of humanitarian demining. Relevance, problems // Special technology, 2003. No. 3. P. 24-31.
22. Mosov S.P., Gurak S.P. Robots and UAVs against mines. Defense Herald. No. 11, 2019.
23. Kotsyruba V.I., Kryvtun 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.

**Doctor of Technical Sciences Dovichoply A.S.,
 Doctor of Technical Sciences Kotsiuruba V.I.,
 PhD Krivtsun V.I.**

IMULATION OF EXPLOSIVE OBJECTS DETECTION PROCESSES USING THE INDUCTION METHOD BASED ON THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH

With the beginning of the undeclared war of the Russian Federation against Ukraine in 2014, and the subsequent large-scale invasion in February 2022, the issue of reconnaissance and demining of the area from explosive devices both during the conduct of hostilities and in their absence became very acute. 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, a large number of unexploded ordnance contaminates the territory of Ukraine, where hostilities are conducted or released.

Analysis of the execution of reconnaissance and demining tasks by the engineering units of the Armed Forces of Ukraine shows that the main method today remains manual, which is extremely dangerous for the lives of personnel. In order to ensure the fulfillment of these tasks, work is underway to create domestic means of remote reconnaissance and demining. One of the components of such means are 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.

In the article, based on previously developed theoretical provisions, the modeling of the processes of detecting explosive objects by the induction method during a one-factor experiment is carried out with the aim of substantiating individual indicators of the effectiveness of elements of the search for explosive objects of remote-controlled demining complexes.

Keywords: hostilities; explosive objects; demining; remote-controlled demining complex, experimental studies, induction method, factors, indicators.

