

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ



Міжнародна
науково-практична конференція

**Проблеми
надзвичайних
ситуацій**

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Черкаси
14 травня 2025 року

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Кустов М.В., д.т.н., професор,

Карпов А.А.,

Яужева О.О.,

Національний університет цивільного захисту України

Актуальність проблеми гуманітарного розмінування зумовлена значним забрудненням територій вибухонебезпечними предметами. Військові конфлікти спричиняють накопичення мін, снарядів та інших небезпечних об'єктів, що становлять серйозну загрозу для цивільного населення та ускладнюють господарську діяльність. Очищення територій потребує впровадження ефективних методів детектування вибухонебезпечних матеріалів, оскільки традиційні технології, такі як металодетектори та механічні системи, мають обмеження, зокрема низьку ефективність для об'єктів без металевих складових.

Протяжність лінії бойового зіткнення може сягати тисяч кілометрів, а тривалість військових дій призводить до забруднення вибухонебезпечними предметами територій площею десятки тисяч квадратних кілометрів. Яскравим прикладом цього є військові дії на території України [1]. За таких умов особливо актуальним є питання оперативного та безпечного очищення територій. Гуманітарним розмінуванням займаються як державні рятувальні підрозділи, так і цивільні волонтерські організації. Основною проблемою в цій сфері є виявлення вибухонебезпечних предметів, що обумовлено їх значною різноманітністю [2].

Процес гуманітарного розмінування включає кілька етапів:

1. Планування та оцінка ризиків – аналіз наявних даних щодо потенційно забруднених територій.
2. Нетехнічне та технічне обстеження – використання дронів, аналіз картографічної інформації та опитування місцевого населення.
3. Очищення територій – знешкодження або знищення вибухонебезпечних предметів із залученням механічних, дистанційних і ручних методів.
4. Контроль якості – перевірка очищених ділянок на відсутність небезпечних об'єктів.
5. Передача територій у безпечне користування – документальне оформлення та підтвердження безпеки.

Застосування дронів значно підвищує ефективність виявлення небезпечних зон, а механізовані системи розмінування мінімізують ризик для саперів. Однак остаточний контроль якості здійснюється фахівцями у захисному спорядженні із використанням спеціалізованого обладнання, зокрема металодетекторів.

Магнітний метод виявлення має низку обмежень, що частково компенсується електромагнітним скануванням. Водночас ефективність георадарів ускладнюється значними втратами енергії у ґрунті та низьким співвідношенням сигнал/шум. Попередні дослідження моделювали поширення електромагнітних хвиль у ґрунті, враховуючи їх відбиття, поглинання та діелектричні властивості вибухонебезпечних матеріалів, що сприяє підвищенню точності детектування [3]. Проте визначення технічних обмежень цього методу залишається актуальною проблемою.

Використання протипіхотних та протитанкових мін є одним із поширених методів ведення бойових дій. Останні розробки у сфері дистанційного мінування значно збільшили площі забруднених територій. Це ускладнює протимінну боротьбу, яка

постійно розвивається у відповідь на вдосконалення методів маскування вибухонебезпечних предметів.

Різноманітність конструкцій і матеріалів вибухових пристроїв створює додаткові труднощі в їхньому виявленні. Окрім стандартних мін, поширеними є різні види боєприпасів, такі як гранати, снаряди, а також саморобні вибухові пристрої [13].

Моделювання ймовірності детектування вибухонебезпечних предметів на різній глибині показало, що найбільший вплив має частота сигналу сканування. Дослідження встановили, що при зниженні частоти з 3 ГГц до 1 ГГц ймовірність виявлення об'єкта розміром 0,1 м зростає з 0,2 м до 0,5 м. Однак це супроводжується зменшенням роздільної здатності, що може ускладнювати ідентифікацію дрібних об'єктів.

Було також визначено, що при зниженні діелектричної проникності ґрунту до $\epsilon_r=3$ ймовірність виявлення вибухонебезпечних предметів значно знижується, тоді як при $\epsilon_r=10$ вона залишається задовільною навіть на глибині 0,3 м. У межах типових розмірів вибухонебезпечних предметів (0,1–0,5 м) ймовірність детектування зменшується на 10–25 %.

Аналіз часових сигнатур вибухонебезпечних предметів підтвердив, що створення бази таких сигнатур дозволяє зменшити кількість хибних спрацьовувань та підвищити ефективність детекторів.

Запропоновано алгоритм реалізації методу електромагнітного виявлення вибухонебезпечних матеріалів, який може бути використаний у системах гуманітарного розмінування для підвищення ефективності пошуку небезпечних об'єктів. Використання отриманих результатів дозволить підвищити швидкість обстеження території, збільшити ймовірність виявлення вибухонебезпечних предметів та знизити ризик травмування персоналу.

Отримані результати можуть бути застосовані для розробки нових систем дистанційного сканування, що використовуються в автоматизованих комплексах гуманітарного розмінування. Подальші дослідження у цій сфері будуть зосереджені на вдосконаленні алгоритмів обробки сигналів та розширенні діапазону частотного спектру для покращення роздільної здатності детектування вибухонебезпечних предметів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ustymenko, V., Rohozian, Y., Trehub, O., Liashenko, P., Zabloudska, D. (2023). Economic and legal dimension of humanitarian demining of Ukraine: problem and research prospects. *Amazonia Investiga*. 12(65). 287–295.
2. Rohozian, Y., Sieriebriak, K., Akhromkin, Y., Plietnov, M., Vakhlakova, V. (2024). International Determinants of Demining Territories in the Context of Sustainable Development: Economic Projection. *ProblemyEkorozwoju*, 19(2). 203–214.
3. Karpov, A., Kustov, M., Basmanov, O., Kulakov, O. (2024). Investigation of Diffraction of Electromagnetic Microwaves on Explosive Materials. *Advances in Science and Technology*. 156. 91–102.
4. Kustov, M., Karpov, A., Harbuz, S., Savchenko, A. (2023). Effect of Physical and Chemical Properties of Explosive Materials on the Conditions of their Use. *Key Engineering Materials*. 952. 143–154.

Наукове видання

«Problems of Emergency Situations»

***Матеріали
Міжнародної науково-практичної конференції
14 травня 2025 року***

Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси: Національний університет цивільного захисту України, 2025. 468 с.

*За зміст вміщених у збірник матеріалів
персональну відповідальність несуть автори*

Відповідальний за випуск Ю.А. Отрош
Технічні редактори Н.В. Рашкевич, Ю.А. Отрош

Підписано до друку 25.04.2025 Формат А4 (60 x 84 1/8)
Гарнітура Times New Roman. Тир. 100
Обл. – вид. арк. 30,87. Ум. друк. арк. 54,29

Надруковано «ФОП» Супрун Т. О.»
Дата та номер запису в Єдиному державному реєстрі
23.09.2024 р. № 2010350000000647670
Україна, 61007 м. Харків, вул. Миру, 32.
Тел. 096 132 53 75