

УДК 656.7:656.8

В. В. Матухно¹, к.т.н., заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-9713-7710)

Є. В. Морщ², д.т.н., головний інспектор (ORCID 0000-0003-0131-2332)

Р. В. Корнієнко¹, к.т.н., н.с. відділу (ORCID 0000-0003-4854-283X)

С. А. Вавренюк¹, д.держ.упр., проф. каф. (ORCID 0000-0002-6396-9906)

¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

²Департамент запобігання надзвичайним ситуаціям апарату ДСНС, Київ, Україна

СКРОЧЕННЯ ЧАСУ НЕТЕХНІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ІМОВІРНО ЗАБРУДНЕНОЇ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИМИ ПРЕДМЕТАМИ ТЕРИТОРІЇ

Розроблено «комбінований» метод практичного дослідження в рамках нетехнічного обстеження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території, який дозволить скоротити час такого обстеження та зменшити ризик травмування особового складу піротехнічних підрозділів за рахунок відсутності фізичного контакту особового складу з імовірно забрудненою територією. Розроблено математичну модель «комбінованого» методу практичного дослідження імовірно забрудненої території вибухонебезпечними предметами при нетехнічному обстеженні. Математичну модель отримано за результатами збору непрямих доказів, де не визначено статус вибухонебезпечного предмета. Розроблено керуючий алгоритм реалізації «комбінованого» запропонованого методу, де враховано площу підозрілої небезпечної території, яку здатна обстежити одна група нетехнічного обстеження за результатом збору прямих та непрямих доказів. Окрім того, при побудові алгоритму були враховані такі показники як: кількість груп, рівень і вид їх оснащення. Алгоритм складається з 12 блоків, які розмішені на 7 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними зв'язками. При визначенні площі, яка підлягає очищенню від вибухонебезпечних предметів, враховано площу території, яка отримала підтвердження статусу небезпечної зони та площу території підтвердженої небезпечної зони під час перевірки непрямих доказів імовірно забрудненої території за методом виключення даної території із загальної площі імовірно забрудненої території. Реалізація запропонованого методу (за рахунок візуалізації місцевості в 3-D проекції з визначенням точних географічних координат локальних та загальних зон небезпечної території) дозволить в 3,9 рази скоротити час проведення нетехнічного обстеження, а також зменшити час суцільного розмінування та вивільнення земель від вибухонебезпечних предметів, підвищити рівень безпеки цивільного населення в очищених районах.

Ключові слова: вибухонебезпечний предмет, небезпечна територія, гуманітарне розмінування, піротехнічні підрозділи, нетехнічне обстеження

1. Вступ

З початку повномасштабного військового вторгнення російської федерації на територію України, було забруднено вибухонебезпечними предметами (ВНП) близько 25 200000 га площі, це більше ніж майже 1/3 території України, яка є підозріло небезпечною територією та потребує перевірки.

За 566 днів війни підрозділами ДСНС обстежено 93824 га, було знайдено та знешкоджено майже 428380 одиниць ВНП. Для виконання цих завдань підрозділи залучалися 69249 разів.

Процес розмінування є клопітким та ретельним, враховуючи, що дані роботи відносяться до робіт з підвищеним ризиком, це обумовлює дотримання заходів безпеки, що першочергово підвищує безпеку саперів, але має досить повільний час реалізації.

За найоптимістичнішими прогнозами за наявними методами обстеження підозріло небезпечної території та її розмінування потрібно від 15 до 30 років із залученням великої кількості особового складу та техніки. Але остаточне прогнозування можливо буде сформулювати лише після закінчення ведення бойових дій та проведення загального нетехнічного обстеження (НТО) [9].

Згідно статистичних даних регіони після деокупації та завершення бойових

дій, діляться на зони:

- території, де активно велись бойові дії;
- території, де знаходились позиції ворожих військ;
- територія, де відбувалося дистанційне мінування;
- територія, яка піддавалася артилерійським обстрілам, обстрілам з систем залпового вогню та авіабомбардуванню.

Велика частина підозрілої небезпечної території припадає на НТО. З 100 % підозрілої небезпечної території на НТО припадає близько 80 %, найчастіше до даного виду відноситься територія, яка піддавалася артилерійським обстрілам, обстрілам з систем залпового вогню та авіабомбардуванню.

Термін «нетехнічне обстеження» включає всі заходи, здійснювані без застосування технічних засобів, включаючи «кабінетне» оцінювання території, аналіз історичних записів та широкий діапазон інших функцій збору та аналізу інформації, а також фізичне відвідування ділянок проведення польових робіт. У центрі всіх елементів нетехнічного процесу знаходяться операції виявлення, отримання доступу, збору інформації, доповіді та використання інформації. Вони допомагають визначити де можна знайти ділянки, які забруднені ВВП, а також де їх виявлення малоймовірне; вони використовуються додатково до процесів прийняття рішень за винятком, скорочення та очищення земель.

Таким чином, значний час, що потребує проведення НТО території, яка забруднена ВВП, обумовлює актуальність проблеми по відчуженню таких територій та неможливості використання їх за прямим призначенням, наприклад, для проведення сільськогосподарських робіт, що в подальшому впливає на економічний розвиток країни.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

На основі міжнародного досвіду та досвіду приватних компаній «The HALO Trust», «Danish Demining Group (DDG)», «SwissFoundationforMineAction (FSD)», «UnitedNations Office forProjeetServiees (UNOPS)» та ін., у сфері протимінної діяльності вироблені стандарти та алгоритми дій повного процесу гуманітарного розмінування.

Міжнародний стандарт [1] повністю розкриває метод НТО, на базі якого розроблено стандартну операційну процедуру [2] та інтегровано її в роботу піротехнічних підрозділів ДСНС.

В роботі [3] наведені результати досліджень впливу гуманітарного розмінування з використанням об'єктивної класифікації приміського земельного покриву та морфологічного виявлення будівель із зображенням VHR Worldview. Показано, що це дослідження мало дві основні цілі: скласти карту ґрунтового покриву після розчищення та виявити і кількісно визначити зміни в кількості та площі будівель. Було реалізовано та оцінено два незалежні робочі процеси. Щоб скласти карту ґрунтового покриву у цьому дослідженні було реалізовано два різних алгоритми: на основі об'єктів класифікації зображень та супутникових зображень VHR (Worldview-1,2,3). Але залишилися не вирішеними питання, пов'язані з формування трьохвимірної картографічної проекції імовірно забрудненої території. Причиною цього можуть бути відсутність в базовому алгоритмі технології Real Time Kinematic (RTK), яка дозволяє підтримувати поправки до вимірювання та встановлювати місце розташування з сантиметровою точністю в режимі реального часу за допомогою приймача GNSS в мережевих діях референтних GNSS станцій.

Варіантом подолання відповідних труднощів може бути застосування сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які в базовій комплектації матимуть таку технологічну функцію. Все це дає підстави стверджувати, що дана проблема є доцільною щодо проведення дослідження, присвяченого скороченню часу НТО за рахунок використання БПЛА з технологією RTK при формуванні картографічної проекції імовірно забрудненої місцевості.

В роботі [4] наведені результати досліджень виявлення наземних мін за допомогою гіперспектрального зображення. Показано, що ця техніка дає можливість дистанційно ідентифікувати склад кожного пікселя зображення. Таким чином, він є основним методом для цілей виявлення протипіхотних мін, завдяки своїй притаманній безпеці та швидкому часу відгуку. Але залишилися не вирішеними питання, пов'язані з формуванням картографічної проекції в реальному часі. Причиною цього можуть бути об'єктивні труднощі, пов'язані з роботою в зонах з магнітними аномаліями. Варіантом подолання відповідних труднощів може бути використання обладнання, яке матиме пряму прив'язку до WGS-84. Саме такий підхід використаний в роботах [5, 8]. Однак, в даному дослідженні не сказано про використання технологій, які підвищують точність позиціонування об'єкту на місцевості. Все це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, спрямованого на підвищення точності позиціонування об'єкту в зонах з аномальною магнітною активністю. Недоліком даного підходу є простота методу в якому враховується тільки ідеальна поверхня місцевості з максимальною зміною рельєфу до 1 м.

В роботі [6] наведені результати досліджень швидкості сегментації та класифікації даних дистанційного зондування за допомогою пікселів SLIC. Показано, що швидкість і точність є важливими факторами при роботі, які пов'язані з часовими обмеженнями, для запобігання катастроф, ризиків і нестандартних екстрактивних ситуацій. Об'єктний аналіз зображень може бути трудомістким завданням для отримання інформації з великих зображень, оскільки більшість алгоритмів сегментації використовують піксельну сітку для початкового представлення об'єкта чи місцевості. Класифікація на основі суперпікселів SLIC мала подібні або вищі загальні значення точності порівняно з класифікацією на основі MRS, але результати були отримані швидко й без параметризації MRS. Ці два підходи мають потенціал для покращення автоматизації аналізу та обробки великих даних дистанційного зондування, особливо коли час є важливим обмеженням. Але залишилися не вирішеними питання, пов'язані з класифікацією території за типом небезпек. Причиною цього можуть бути принципова неможливість застосування даного методу на місцевості, яка за своїм типом відноситься до небезпечної. Варіантом подолання відповідних труднощів може бути систематична класифікація підозрілої території. Саме такий підхід використаний в роботах [7, 10]. Однак, в роботах не враховується виключення території на початковому етапі як потенційно небезпечної. Все це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення дослідження, присвяченого класифікації території, яка в подальшому впливає на швидкість реалізації поставлених завдань. Недоліком підходу по класифікації території є не виключення небезпечної території з пілотного завдання.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є не врахування класифікації підозрілої з точки зору забруднення вибухонебезпечними предметами території та використання тепловізійного спектру для формування картографічної проекції місцевості.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розробка «комбінованого» методу для скорочення часу проведення нетехнічного обстеження при перевірці імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити математичну модель «комбінованого» методу нетехнічного обстеження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території;
- розробити керуючий алгоритм реалізації «комбінованого» методу нетехнічного обстеження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території;
- перевірити ефективність застосування «комбінованого» методу нетехнічного обстеження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є нетехнічне обстеження на етапі перевірки імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території.

Предметом дослідження є скорочення часу нетехнічного обстеження на етапі перевірки імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території.

Наявні методи нетехнічного обстеження є ефективними, але потребують вдосконалення, тому для збільшення ефективності роботи наявного методу НТО було побудовано «комбінований» метод, який базуватиметься на експериментальному методі дослідження з використанням Matrice 300 RTK, що дасть можливість перевірити отриманий результат.

Під час класифікації підозрілої території був використаний метод аналізу статистичних даних на основі комплексу The Information Management System for Mine Action, який включає пристрої опрацювання і зберігання отриманої інформації про протимінну діяльність на потрібній для розрахунку території.

5. Розробка математичної моделі «комбінованого» методу нетехнічного обстеження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території

Нетехнічне обстеження імовірно забруднених територій не слід проводити у відриві від наступних заходів – у рамках процесу вивільнення земель. Постійне вдосконалення процесів та процедур НТО впливає на ефективність періоду проведення даного етапу в рамках гуманітарного розмінування.

Позначимо площу території, яка є «підозріло небезпечною територією» та підлягає НТО через $S_{\text{ПНБТ}}$. Тоді **перша задача**, яка потребує розв'язання, це визначення території, яка відноситься до імовірно забрудненої території, де за результатами збору непрямих доказів не визначено статус ВВП, і яка потребує підтвердження. Для виконання цієї задачі необхідно визначити площу $S_{\text{Обс.ІЗТ}}$ та кількість груп НТО n .

Загальна площа підозріло небезпечної території визначається за допомогою аналітичних методів на основі попередніх статистичних даних територіального органу управління ДСНС з наступним схематичним зображенням та встановленням реперних точок, яка матиме вигляд:

$$S_{\text{Обс.ІЗТ}} = S_{\text{ПНБТ}} \cdot r, \quad (1)$$

де $S_{\text{ПН6Т}}$ – загальна площа підозрілої небезпечної території (га), яка підлягає нетехнічному обстеженню; r – аналітичний коефіцієнт визначення межі імовірно забрудненої території.

Результати проведеної роботи оформляються у вигляді схематичного плану «підозріла небезпечна територія».

Якщо кожна із груп здатна обстежити територію площею $S_{\text{Обс.ІЗТ}}$ та $S_{\text{Обс.Н6Т}}$, тоді з врахуванням кількості груп НТО приблизний час обстеження всієї підозрілої небезпечної території площею $S_{\text{ПН6Т}}$ буде визначатись відповідно до:

$$t_{\text{Обст.ПН6Т}} = \frac{S_{\text{ПН6Т}}}{n \cdot S_{\text{Обс.Н6Т}}} + t_{\text{Обс.ІЗТ}_{i,j}}, \quad (2)$$

де $t_{\text{Обс.ПН6Т}}$ – час обстеження всієї підозрілої небезпечної території (год); n – кількість груп НТО; $S_{\text{Обс.Н6Т}}$ – площа підозрілої небезпечної території (га), яку здатна обстежити одна група НТО за результатом збору прямих доказів; $t_{\text{Обс.ІЗТ}_{i,j}}$ – час нетехнічного обстеження імовірно забрудненої території (год), за результатами збору непрямих доказів в залежності від методу.

Очевидно, що кількість позаштатних розрахунків НТО n буде визначатись рішенням керівника територіального органу управління ДСНС.

Кількість особового складу, яка буде задіяна для виконання робіт, обчислюється наступним чином:

$$N = n \cdot \sum_{i=1}^m l_i, \quad (3)$$

де N – кількість особового складу, який задіяне для виконання робіт з НТО; l_i – кількість спеціалістів i -того типу в одній групі НТО; m – кількість типів спеціалістів в одній групі НТО.

Таким же чином підходимо і до визначення необхідного технічного оснащення для виконання робіт. Тоді загальна кількість необхідного технічного оснащення буде складати:

$$K = n \cdot \sum_{i=1}^k d_i, \quad (4)$$

де K – кількість необхідного технічного оснащення для виконання робіт; d_i – кількість технічного оснащення i -того типу в одній групі НТО; k – кількість типів технічного оснащення в одній розвідувальній групі.

Результатом вирішення першої задачі буде визначення площі території, яка матиме категорію «підтверджено небезпечна територія» та «імовірно небезпечна територія»:

$$S_{\text{ВНП}} = S_{\text{ПН6Т}} - (S_{\text{ПДН6Т}} + S_{\text{ІЗТзН6Т}}), \quad (5)$$

де $S_{\text{ВНП}}$ – площа території (га), яка підлягає очищенню від ВНП; $S_{\text{ПДН6Т}}$ – площа

«підтверджено небезпечна територія» (га) за результатами збору прямих доказів; $S_{\text{ІЗТзНБТ}}$ – площа «підтверджено небезпечна територія» за результатами НТО імовірно забрудненої території (га), при перевірці непрямих доказів.

За результатами кожного етапу НТО складаються відповідні звітні графічні документи із зображенням на них основних елементів небезпечної території.

Наступним кроком є вирішення проблеми ефективності проведення НТО імовірно забрудненої території, тобто розв'язання **другої задачі** – визначення часових параметрів практичного дослідження при зборі непрямих доказів. Площа, де в ході збору прямих або непрямих доказів практичного дослідження, НТО встановлена наявність ВВП, відноситься до «підтверджено небезпечна територія», а площа, де не встановлена наявність ВВП, – відноситься до «імовірно забрудненої території», яка відповідно до аналітичного досвіду складає 90 % від $S_{\text{ПНБТ}}$. Враховуючи аналітичний досвід, необхідно провести перевірку ефективності наявного методу практичного дослідження при перевірці непрямих доказів та запропонованого «комбінованого» методу, який не виключає елементи наявного методу дослідження, а навпаки вдосконалює його за рахунок використання БпЛА з тепловізійним спектром для формування картографічної сітки з визначенням географічних координат локальних зон «небезпечна територія».

Наявний метод практичного дослідження перевірки непрямих доказів, матиме вигляд:

$$t_{\text{Обс.ІЗТ}_i} = t_{\text{СТ}_i} + \frac{S_{\text{Обс.ІЗТ}}}{S_{\text{Обс. сап.пр.}}} \cdot V_{\text{сап.при.НТО}}, \quad (6)$$

де $t_{\text{Обс.ІЗТ}_i}$ – час, який необхідно саперу для обстеження імовірно забрудненої території за результатами непрямих доказів (год); $t_{\text{СТ}_i}$ – час, який необхідно саперу (год), для виходу на стартову точку імовірно забрудненої території; $S_{\text{Обс. сап.пр.}}$ – площа проходу при обстеженні одним сапером (га), яка є імовірно забрудненою та підлягає нетехнічному обстеженню; $V_{\text{сап.при.НТО}}$ – швидкість сапера при нетехнічному обстеженні імовірно забрудненої території на пересіченій місцевості.

«Комбінований» метод практичного дослідження збору непрямих доказів, матиме вигляд:

$$t_{\text{Обс.ІЗТ}_j} = t_{\text{СТ}_j} + \frac{S_{\text{Обс.ІЗТ}}}{S_{\text{Обс.БпЛА}}} \cdot V_{\text{БпЛА}} + t_{\text{Ф.К.}} + t_{\text{Під.зон.}}, \quad (7)$$

де $t_{\text{Обс.ІЗТ}_j}$ – час, який необхідно БпЛА для обстеження імовірно забрудненої території за результатами непрямих доказів (год); $t_{\text{СТ}_j}$ – час, який необхідно БпЛА (год), для виходу на стартову точку імовірно забрудненої території; $S_{\text{Обс.БпЛА}}$ – площа проходу при обстеженні одним БпЛА (га), яка є імовірно забрудненою та підлягає нетехнічному обстеженню; $V_{\text{БпЛА}}$ – швидкість БпЛА при нетехнічному обстеженні імовірно забрудненої території на пересіченій місцевості; $t_{\text{Ф.К.}}$ – час формування картографічної 3-D моделі (год); $t_{\text{Під.зон.}}$ – час проведення контролю якості та присвоєння локальним зонам статусу відповідної території (год).

Таким чином, запропонована математична модель щодо скорочення часу проведення нетехнічного обстеження на етапі перевірки імовірно забрудненої території, дозволяє оцінити ефективність застосування «комбінованого» методу перевірки непрямих доказів під час проведення НТО, оцінити загальну кількість особового складу та необхідну загальну кількість технічного оснащення для поставлених завдань.

6. Розробка алгоритму «комбінованого» методу нетехнічного обстеження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території

Нетехнічне обстеження імовірно забруднених вибухонебезпечними предметами територій не слід проводити у відриві від наступних заходів – у рамках процесу вивільнення земель від ВВП. Ефективне нетехнічне обстеження не тільки вирішує нагальні питання щодо характеру та масштабу небезпечних зон, але й надає інформацію, яка дозволяє зробити всі наступні етапи процесу вивільнення земель від ВВП більш ефективними та надійними.

Постійне вдосконалення процесів та процедур нетехнічного обстеження спирається на перегляд показників ефективності у світлі того, що згодом було виявлено у небезпечних зонах, у тому числі з урахуванням відомостей про небезпечні предмети, які були або не були виявлені в ході оперативних технічних заходів, а також результатів довгострокового моніторингу територій після вивільнення земель.

Алгоритм (рис. 1) складається з 7 блоків, які розміщені на 5 ієрархічних рівнях.

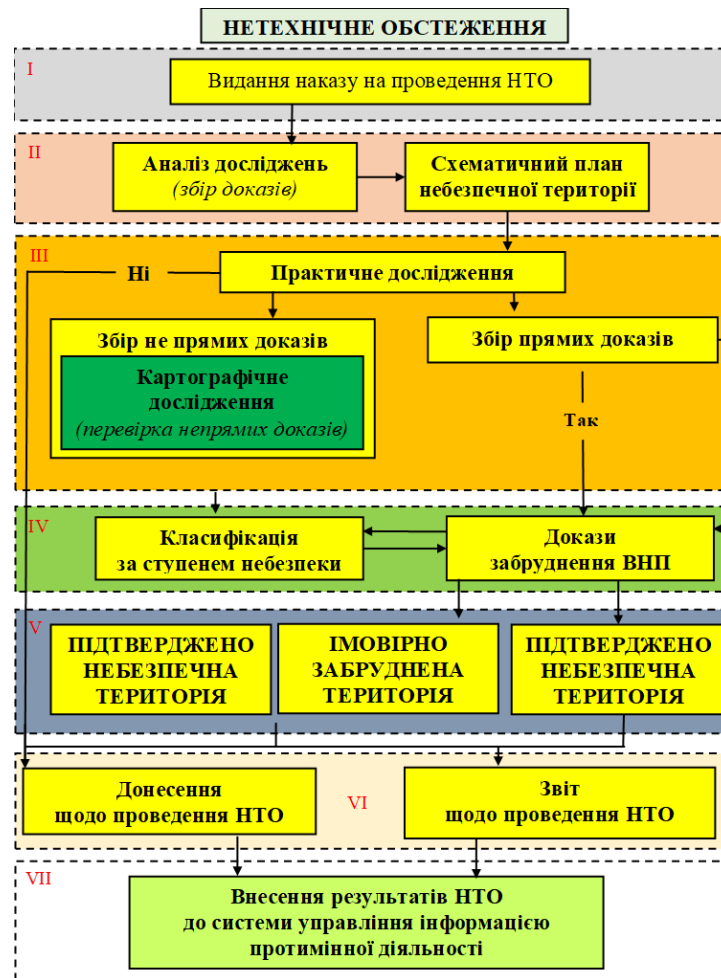


Рис. 1. Керуючий алгоритм проведення нетехнічного обстеження та класифікації території за статусом безпеки

Перший рівень є початковим блоком, який відповідає за формування та видання наказу на проведення НТО території рішенням керівника територіального органу управління ДСНС, на основі якого формуються позаштатні розрахунки НТО.

Другий рівень складається з аналітичного блоку, де проводяться дослідження шляхом збору доказів (усі доступні джерела інформації) щодо імовірності забруднення територій ВВП, їх аналіз та класифікація за статусом небезпеки. При цьому виїзд безпосередньо до території, стосовно якої виникла підозра щодо забруднення ВВП, не здійснюється. Результати проведення аналітичного дослідження оформлюються як схематичний план та надаються до структурного підрозділу (фахівця) територіального органу управління ДСНС, до функцій і повноважень якого належить організація піротехнічних робіт та гуманітарного розмінування.

Третій рівень є рівнем практичного дослідження, де відбувається підтвердження доказів аналітичних досліджень другого рівня та збір прямих доказів від інформатора і збір непрямих доказів під час опитування населення, де встановлюються межі зони можливого ВВП. На основі таких даних з отриманням реперних точок є можливість використання «комбінованого» методу, який дає можливість формування картографічної проекції місцевості (рис. 2).

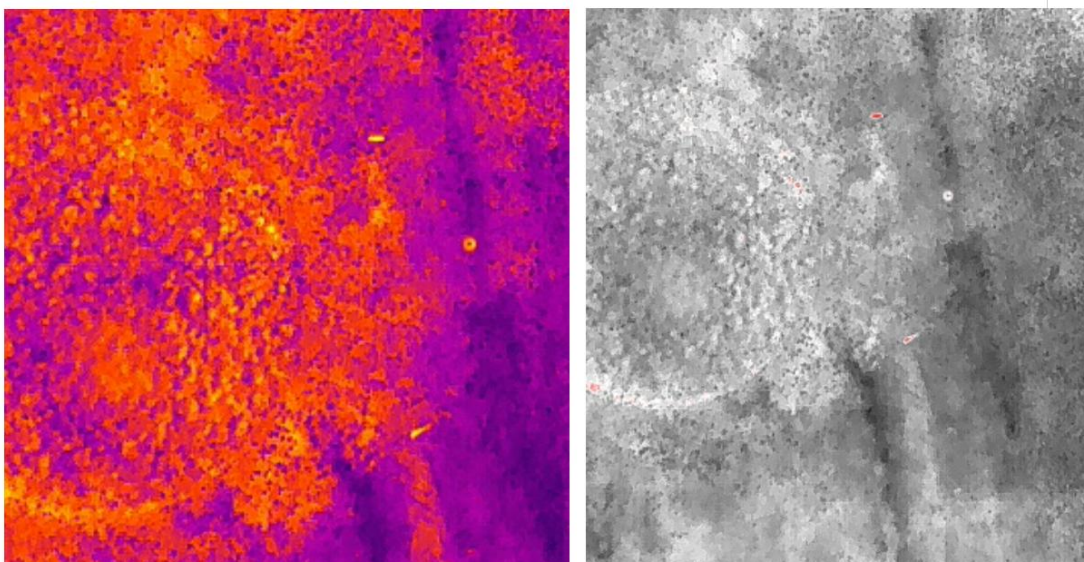


Рис. 2. Експериментальне формування картографічної проекції місцевості

Четвертий рівень складається з двох блоків, де після збору прямих та непрямих доказів (у разі виявлення ВВП) визначається класифікація ВВП за ступенем небезпеки. У разі відсутності доказів забруднення ВВП – слід переходити до шостого рівня.

Рівень п'ять, є продовженням рівня чотири і має на меті визначення статусу території в виду отриманих доказів.

Шостий рівень складається з двох блоків, які є відображенням роботи третього та п'ятого рівнів. В ньому висвітлюється інформація щодо проведення НТО на остаточному етапі.

Сьомий рівень має один блок та є останнім етапом, де не в залежності від рівня території, інформація заноситься в систему протимінної діяльності.

Таким чином, керуючий алгоритм скорочення часу нетехнічного обстеження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території, реалізує розроблений метод. Алгоритм складається з 12 блоків, які розмішені на 7 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними зв'язками.

7. Перевірка ефективності застосування алгоритму обстеження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території

Особливості застосування «комбінованого» методу практичного дослідження при НТО дозволяє зменшити ризик травмування особового складу групи НТО за рахунок виключення їх із процесу перевірки імовірно забрудненої території на наявність зон небезпеки.

Результати розрахунку ефективності застосування «комбінованого» методу практичного дослідження НТО на імовірно забрудненій вибухонебезпечними предметами території площею 10 га наведені в табл. 1.

Табл. 1. Результати розрахунку ефективності застосування «комбінованого» методу практичного дослідження НТО на імовірно забрудненій ВВП території

Метод перевірки непрямих доказів	$t_{\text{Обст.ПНБТ}}$, ГОД
Наявний метод перевірки непрямих доказів практичного дослідження імовірно небезпечної території при нетехнічному обстеженні території	20 год 56 хв
«Комбінований» метод перевірки непрямих доказів практичного дослідження імовірно небезпечної території при нетехнічному обстеженні території	5 год 21 хв

Таким чином, в результаті досліджень встановлено, що при застосуванні «комбінованого» методу практичного дослідження при НТО ефективність часових показників значно краща в порівнянні з наявним методом практичного дослідження при проведенні НТО імовірно забрудненої території.

8. Обговорення результатів експериментальних досліджень алгоритму обстеження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території

Аналіз показників, які було отримано у ході перевірки запропонованого методу, дає можливість зрозуміти високу ефективність «комбінованого» методу, який пояснюється новим підходом до виконання робіт з підвищеним ризиком, включаючи присутність особового складу групи НТО в зоні ураження від ВВП та зменшення загального часу проведення НТО.

Порівняльний аналіз запропонованого «комбінованого» методу НТО та існуючого полягає у більш ефективній та продуктивній роботі групи НТО по обстеженню імовірно забрудненої території, що призведе до коректного та швидкого визначення підозрілих зон з визначення їх географічних координат.

Даний метод має складнощі процесу обмеження при дослідженні ефективності застосування «комбінованого» методу, що можуть бути викликані недостатнім обсягом або не коректністю достовірних статистичних даних про приналежність території до підозріло небезпечної та підбором БпЛА, який буде обмежуватися часовими параметри виконання польотного завдання та якості формування картографічної проекції місцевості.

Одним з недоліків даного методу є відсутність врахування метеорологічних показників, які можуть збільшити виконання польотного завдання під час несприятливих метеорологічних умов. В подальшому даний недолік можливо вирішити за рахунок використання інноваційних технологій по стабілізації БпЛА.

Подальший розвиток запропонованого «комбінованого» методу повинен бути спрямованим на експериментальне дослідження впливу метеорологічних умов при проведенні нетехнічного обстеження, що може збільшити час проведення НТО.

9. Висновки

1. Розроблено математичну модель «комбінованого» методу практичного

дослідження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території при нетехнічному обстеженні з врахуванням міжнародного досвіду в сфері протимінної діяльності із застосуванням новітніх технологій безпілотного сканування рельєфу місцевості. Запропоновано включення до етапу нетехнічного обстеження картографічного дослідження, яке на відмінну від наявного методу дозволить забезпечити візуалізацію небезпечної території в реальному часі. При формуванні математичної моделі не враховувались метеорологічні показники, які можуть збільшити час виконання польотного завдання під час несприятливих умов.

2. Для підвищення ефективності розроблено керуючий алгоритм реалізації «комбінованого» методу практичного дослідження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території при нетехнічному обстеженні. Його використання передбачає виконання наступних процедур: збір прямих та непрямих доказів наявності вибухонебезпечних предметів, перевірка доказів, які були отримані в ході аналітичного дослідження, формування отриманих результатів нетехнічного обстеження імовірно забрудненої території в 3-D візуалізацію з визначенням точних географічних координат локальних та загальних зон небезпечної території. Особливістю запропонованого методу полягає у вдосконаленні наявного механізму збору непрямих доказів.

3. Перевірено ефективність запропонованого «комбінованого» методу практичного дослідження імовірно забрудненої вибухонебезпечними предметами території, стало очевидно, що даний метод на етапі нетехнічного обстеження дозволяє не тільки скоротити час проведення нетехнічного обстеження, але і створює можливість зменшити ризик травмування особового складу піротехнічних підрозділів за рахунок відсутності фізичного контакту попередніх з імовірно забрудненою територією. Про що свідчить математичне підтвердження, де при використанні наявного методу із заданими параметрами час проведення етапу нетехнічного обстеження складе 20 год 56 хв, а при «комбінованому» методі 5 год 21 хв, що в 3,9 разів покращує результат.

Література

1. IMAS 08.10. Non-technicals survey of the territory. First edition, 2019. URL: <https://www.mineactionstandards.org/standards/07-11/>

2. СОП 08.10 ДСНС. Порядок проведення органами та підрозділами цивільного захисту нетехнічного обстеження територій, імовірно забруднених вибухонебезпечними предметами. Затверджено наказом ДСНС України від 08.02.2017 року № 81 URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/6/8/9/6/1/xT3qhVpB4aVBVdPMFL73JOFwlaOgumsmm0N0z96I.pdf>

3. J. Killeen, L. Jaupi B. Barrett. Impact assessment of humanitarian demining using object-based peri-urban land cover classification and morphological building detection from VHR Worldview imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 2022. Vol. 27. P. 54–80. doi: 10.1016/j.rsase.2022.100766

4. I. Makki, R. Younes, C. Francis, T. Bianchi, M. Zucchetti. A survey of landmine detection using hyperspectral imaging. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2017. Vol. 124. P. 40–53. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2016.12.009

5. S. Kaya, U. M. Leloglu. Buried and surface mine detection from thermal image time series. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. 2017. Vol. 10(10). P. 4544–4552. doi: 10.1109/jstars.2016.2639037

6. O. Csillik. Fast segmentation and classification of very high-resolution remote sensing data using SLIC superpixels. Department of Geoinformatics Z_GIS, University of Salzburg, Austria. 2017. Vol. 9(3). P. 243. doi: 10.3390/rs9030243

7. M. Hussain, D. Chen, A. Cheng, H. Wei, D. Stanley. Change detection from remotely sensed images: from pixel-based to object-based approaches. ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens. 2013. Vol. 80. P. 91–106. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006

8. S. Battersby. The unicorn of map projections. International Journal of Cartography, Cartographers Write About Cartography. 2021. Vol 7. № 2. P. 146–151. doi: 10.1080/23729333.2021.1911593

9. Y. Hou, R. Volk, M. Chen, L. Soibelman. Fusing tie points RGB and thermal information for mapping large areas based on aerial images: A study of fusion performance under different flight configurations and experimental conditions. Automation in Construction. 2021. Vol. 124. P. 121–129. doi: 10.1016/j.autcon.2021.103554

10. L. M. García-Moreno, J. P. Díaz-Paz, H. Loaiza-Correa, A. D. Restrepo-Girón. Dataset of thermal and visible aerial images for multi-modal and multi-spectral image registration and fusion. Data in Brief. 2020. Vol. 29. P. 99–107. doi: 10.1016/j.dib.2020.105326

V. Matukhno¹, PhD, Deputy Head of Department

Ye. Morshch², DSc, Chief Inspector

R. Kornienko¹, PhD, Researcher of the Department

S. Vavreniuk¹, DSc, Professor of the Department

¹*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

²*Department of Emergency Prevention of the SES, Kyiv, Ukraine*

REDUCING THE TIME OF NON-TECHNICAL INSPECTION OF AN TERRITORY POSSIBLY CONTAMINATED WITH EXPLOSIVE OBJECTS

A “combined” method of practical research has been developed as part of a non-technical survey of a territory likely contaminated with explosive objects, which will reduce the time of such survey and reduce the risk of injury to personnel of pyrotechnic units due to the absence of physical contact of personnel with the likely contaminated territory. A mathematical model of a “combined” method for practical research of a supposedly contaminated territory with explosive objects during non-technical inspection has been developed. The mathematical model was obtained from the results of collecting indirect evidence, where the status of an explosive object is not determined. A control algorithm for implementing the “combined” proposed method has been developed, which takes into account the area of the suspicious dangerous territory, which is examined by one non-technical survey group based on the collection of direct and indirect evidence. In addition, when constructing the algorithm, indicators such as the number of groups, the level and type of their equipment were taken into account. The algorithm consists of 12 blocks located at 7 hierarchical levels and connected by direct and feedback connections. When determining the area to be cleared of explosive objects, the area of the territory that has received confirmation of the status of a dangerous zone and the area of the territory of a confirmed dangerous zone are taken into account when checking indirect evidence of a possibly contaminated territory by excluding this territory from the total area of a possibly contaminated territory. The implementation of the proposed method (due to visualization of the area in a 3-D projection with the determination of the exact geographical coordinates of local and general zones of the dangerous territory) will reduce the time of non-technical inspection by 3.9 times, as well as reduce the time of complete demining and clearing land from explosive objects, increase the level of security for civilians in cleared areas.

Keywords: explosive object, dangerous territory, humanitarian demining, pyrotechnic units, non-technical inspection

References

1. IMAS 08.10. (2019). Non-technical survey of the territory. First edition. Avail-

able at: <https://www.mineactionstandards.org/standards/07-11/>

2. SOP 08.10/SES. The procedure for carrying out non-technical inspection of territories allegedly contaminated by explosive objects by civil defense bodies and units. Approved by order SES of Ukraine from 08.02.2017. № 81. Available at: <https://dsns.gov.ua/upload/2/6/8/9/6/1/xT3qhVpB4aVBVdPMFL73JOFwlaOgumsmm0N0z96I.pdf>

3. Killeen, J., Jaupi, L., Barrett, B. (2022). Impact assessment of humanitarian demining using object-based peri-urban land cover classification and morphological building detection from VHR Worldview imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, (27), 54–80. doi: 10.1016/j.rsase.2022.100766

4. Makki, I., Younes, R., Francis, C., Bianchi, T., Zucchetti, M. (2017). A survey of landmine detection using hyperspectral imaging. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, (124), 40–53. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2016.12.009

5. Kaya, S., Leloglu, U. M. (2017). Buried and surface mine detection from thermal image time series. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. (10(10)). 4544–4552. doi: 10.1109/jstars.2016.2639037

6. Csillik, O. (2017). Fast segmentation and classification of very high-resolution remote sensing data using SLIC superpixels. *Department of Geoinformatics Z_GIS, University of Salzburg, Austria*, (9(3)), 243. doi: 10.3390/rs9030243

7. Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., Stanley, D. (2013). Change detection from remotely sensed images: from pixel-based to object-based approaches. *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sens*, (80), 91–106. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006

8. Battersby, S. (2021). The unicorn of map projections. *International Journal of Cartography, Cartographers Write About Cartography*, (7(2)), 146–151. doi: 10.1080/23729333.2021.1911593

9. Hou, Y., Volk, R., Chen, M., Soibelman, L. (2021). Fusing tie points RGB and thermal information for mapping large areas based on aerial images: A study of fusion performance under different flight configurations and experimental conditions, (124), 121–129. doi: 10.1016/j.autcon.2021.103554

10. García-Moreno, L. M., Díaz-Paz, J. P., Loaiza-Correa, H., Restrepo-Girón, A. D. (2020). Dataset of thermal and visible aerial images for multi-modal and multi-spectral image registration and fusion. *Data in Brief*, (29), 99–107. doi: 10.1016/j.dib.2020.105326

Надійшла до редколегії: 20.09.2023

Прийнята до друку: 06.11.2023