

## УДК 355:359

*І. Ш. Невлюдов<sup>1</sup>, д.т.н., професор, зав. каф. (ORCID 0000-0002-9837-2309)*

*Д. А. Янушкевич<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., доц. каф. (ORCID 0000-0003-3684-518X)*

*І. О. Толкунов<sup>2</sup>, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-5129-3120)*

*І. І. Попов<sup>2</sup>, к.т.н., доцент, викладач каф. (ORCID 0000-0003-4705-4404)*

*Г. В. Іванець<sup>2</sup>, к.т.н., доцент (ORCID 0000-0002-4906-5265)*

<sup>1</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

<sup>2</sup>Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ СТВОРЕННЯ РОБОТО-ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ

Проведено дослідження робото-технічних комплексів військового, спеціального або подвійного призначення, які застосовуються у системі гуманітарного розмінування. Визначено, що система гуманітарного розмінування передбачає виконання наступних завдань: обстеження об'єктів та місцевості, забруднених вибухонебезпечними предметами; їх пошук, дистанційна ідентифікація, знешкодження та знищення; картографування та маркування небезпечних територій тощо. У зв'язку з цим доведено, що для проведення гуманітарного розмінування доцільним буде використання робото-технічних комплексів спеціального призначення, які повинні бути оснащеними маніпуляторами та детекторами (сенсорами, датчиками), засобами прийняття рішень на всіх етапах виконання робіт. Розроблено математичну модель і керуючий алгоритм щодо очищення від вибухонебезпечних предметів території бойових дій з використанням робото-технічних комплексів, які реалізують принцип комплексного підходу до вирішення проблеми очищення територій України. Запропонована математична модель уявляє собою сукупність об'єднання взаємозв'язаних моделей: оцінки термінів вирішення проблеми очищення від вибухонебезпечних предметів території бойових дій, загальної кількості особового складу та технічного оснащення підрозділів для виконання поставлених завдань. За результатами дослідження запропоновано рекомендації щодо використання сучасних робото-технічних комплексів у гуманітарному розмінуванні та встановлено, що для підвищення ефективності виявлення вибухонебезпечних предметів доцільне комплексне використання різних методів пошуку в одному робото-технічному комплексі. Одним з найбільш перспективних методів є застосування комбінації електромагнітного, оптичного та механічного методів, а також розробка комплексів, здатних здійснювати пошук, знешкодження та знищення вибухонебезпечних предметів не тільки на поверхні ґрунту, але і на певній глибині.

**Ключові слова:** гуманітарне розмінування, робото-технічний комплекс, нетехнічне та технічне обстеження територій, вибухонебезпечний предмет

### 1. Вступ

Всі воєнні конфлікти, які виникали за часи існування людства, супроводжувалися і на теперішній час супроводжуються широким застосуванням протиборчими сторонами різноманітних боєприпасів, частина з яких за різних причин могла не спрацювати за штатним призначенням та призвести до масштабного забруднення територій небезпечними залишками війн – вибухонебезпечними предметами (ВНП). Найбільшу небезпеку серед них представляють протипіхотні міни, касетні боєприпаси, запалювальні боєприпаси, що містять білий фосфор, хімічні боєприпаси та багато інших. Однією з проблем, з якою країни у всіх регіонах, де велись бойові дії або існують воєнні конфлікти, які були породжені міжнародними та міжнаціональними визвольними рухами (наприклад: Ірак, Сирія, Афганістан, колишня Югославія, а на сьогоднішній день найзабрудненішою територією є Україна), стикаються з проблемами гуманітарного розмінування.

Згідно зі звітом Міжнародного руху за заборону протипіхотних мін (International Campaign to Ban Landmines, ICBL) за 2020 рік, 2019-й рік став одним з найтрагічніших за рівнем смертності від вибухів мін в світі. Найбільше число смертей від розривів мін було зафіксовано в Афганістані, Колумбії, Іраку, Малі, Нігерії, Україні та Ємені. Третина (33 %) смертей від вибухів протипіхотних мін в 2019 р. була зафіксована в 55 країнах, що приєдналися до Оттавського договору. Вибухи протипіхотних мін в 2019 р. забрали не менше 2170 життів по всьому світу, ще 3357 осіб отримали поранення. Понад 80 % загиблих від вибухів мін – цивільні особи, 43 % з яких діти [1].

Наприклад, за роки воєнного конфлікту на території українського Донбасу, який почався у 2014 р., він перетворився на одну з найбільш насичених мінами й ВВП територій в світі. За оцінкою Організації Об'єднаних Націй (ООН), за роки війни тут заміновано 1,6 млн. га землі, з них 700 тис. на території, підконтрольній урядові України. Площа забруднених регіонів, що містять міни та ВВП, становить майже 7 тис. км<sup>2</sup> на підконтрольній території та орієнтовно 14 тис. км<sup>2</sup> на окупованих територіях Донецької, Луганської областей та Автономної Республіки Крим. На цих територіях може знаходитися близько 3,3 млн. протипіхотних мін та ВВП.

Оцінити ж наслідки повномасштабної агресії на територію нашої держави з боку російської федерації на даний момент не представляється можливим як з огляду на площі тимчасово окупованих територій, так і масовістю застосування різних видів озброєння – починаючи від стрілецької зброї і закінчуючи найпотужнішими авіаційними бомбами і крилатими ракетами різних типів. Скільки б не тривала ця ганебна «спеціальна операція», це тільки додає страждань людям та призводить до більш масштабного забруднення ВВП території нашої багатостраждальної країни, площа яких оцінюється на сьогодні величезними масштабами – до 300 тис. км<sup>2</sup>. Рано чи пізно війна закінчиться та розпочнеться кропітка робота щодо гуманітарного розмінування забруднених територій, а розмінування цих територій, за різними оцінками, може тривати до кількох десятків років.

Гуманітарне розмінування – це заходи, які проводяться з метою ліквідації небезпек, пов'язаних із ВВП, включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, забруднених ВВП, їх картографування, маркування, пошук, ідентифікація та знешкодження ВВП, здійснення оцінювання якості розмінування тощо.

Для здійснення гуманітарного розмінування характерним є зростання уваги до проблем створення робото-технічних комплексів та систем військового, спеціального та подвійного призначення (РКСП). Це обумовлюється намаганням усіх передових країн світу до збереження людського життя, в контексті якого використання РКСП дозволяє досягти позитивних результатів. Крім того, ця тенденція пояснюється стрімким розвитком новітніх технологій в інформаційній сфері, тобто «роботизація» різноманітних напрямів діяльності людини, зокрема, військової та рятувальної сфери, що відповідає змісту сучасних концепцій постіндустріального суспільства на базі концепції Industry 4.0.

Отже, проблема організації гуманітарного розмінування та забезпечення безпечної життєдіяльності населення на території України в умовах військового стану та у післявоєнний період є актуальною.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Незважаючи на значну кількість наукових робіт із даної тематики, на сьогодні склалася тенденція розмежування зазначених питань [2].

Викладені вище проблеми, на думку фахівців, мають бути вирішені тільки в комплексі організаційно-технічних заходів, які в межах сучасного процесу трансформації в Збройних Силах та в інших силових структурах різних держав розділяються на дві окремі складові:

- використання мережно-центричної концепції ведення бойових дій;
- розвиток робото-технічних комплексів та систем військового, спеціального та подвійного призначення.

Дослідження по створенню РКСП проводяться в різних країнах світу. Так, США визнало, що застосування РКСП – один з найперспективніших напрямів розвитку військової справи. США можна вважати лідером не тільки розробок, а й практичного використання роботів, хоч багато зусиль нині здійснюють також Китай, Великобританія, Ізраїль, Туреччина й ін.

Сучасному стану та перспективам розвитку РКСП присвячена значна кількість досліджень. Останнім часом значного розвитку отримав напрямок використання РКСП в сфері гуманітарного розмінування. Авторами досліджень значна увага приділяється як розвитку базових носіїв (наземних, повітряних, підводних та надводних), так і вдосконаленню навісного обладнання (маніпуляторів, датчиків, сенсорів різноманітного призначення). Більшість дослідників йдуть по шляху створення РКСП з відкритою архітектурою, яка передбачає створення широкого переліку навісного обладнання для базових шасі з можливістю швидкої заміни та модернізації, а також удосконалення існуючих його варіантів для військового, спеціального або подвійного використання, в тому числі і для гуманітарного розмінування.

В роботі [3] розглядаються існуючі варіанти датчиків, які використовуються в робототехніці для гуманітарного розмінування, однак не достатньо глибоко вивчаються питання комплексного їх використання для виконання широкого спектру завдань: обстеження об'єктів та місцевості, забруднених ВНП; пошуку, ідентифікації та знешкодження ВНП; картографування та маркування територій, забруднених ВНП; виконання завдань з дистанційного знешкодження та знищення ВНП; здійснення контролю якості гуманітарного розмінування.

В дослідженнях [4] структуроване та каталогізоване механічне обладнання для розмінування, що буде дуже корисним при практичній організації робіт з гуманітарного розмінування. Однак в той же час відсутні практичні рекомендації, які б враховували особливості його застосування в тих чи інших умовах, наближених до реальних.

Дослідження [5] присвячені розробці рекомендацій щодо застосування робото-технічних комплексів в небезпечних умовах в ході ведення бойових дій та виконання інших особливих завдань, а питанням функціонального та математичного обґрунтування процесів гуманітарного розмінування приділяється недостатньо уваги.

Представлені в [6] результати досліджень стосуються розробці рекомендацій щодо технологій розмінування, які потрібні кінцевим користувачам робототехніки та механізованих засобів при гуманітарному розмінуванні. В той же час знову ж таки не вирішене питання комплексного підходу щодо використання РКСП при виконанні подібних завдань.

Авторами [7] проведено дослідження теоретичного та експериментального характеру, що стосуються розробки маніпуляторів для мобільних роботів спеціального призначення, адаптованих для роботи РКСП з небезпечними об'єктами, але не в повній мірі враховано конструктивні особливості ВНП різних типів.

Дослідження [8] присвячено удосконаленню методів пошуку мін та ВВП. Як показав аналіз цих досліджень, вони стосуються лише питань розробки та застосування РКСП для ведення бойових дій, боротьби з тероризмом, пошуку ВВП. В той же час невирішеною частиною розглянутої проблеми є питання комплексного застосування РКСП для здійснення окремих завдань з гуманітарного розмінування (пошук, ідентифікація, знешкодження ВВП).

В роботі [9] також розглянуто методи пошуку мін та ВВП, проведено теоретичне обґрунтування можливості застосування того чи іншого з них в умовах протидії терористичним загрозам та для пошуку ВВП. В той же час недостатньої уваги приділено можливості застосування РКСП для здійснення гуманітарного розмінування.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є відсутність математичного та алгоритмічного обґрунтування щодо застосування робототехнічних комплексів спеціального призначення для здійснення гуманітарного розмінування.

### **3. Мета та задачі дослідження**

Метою роботи є дослідження вимог до робото-технічних комплексів військового, спеціального та подвійного призначення (включаючи маніпулятори, які у них застосовуються) та розроблення пропозицій щодо їх використання у гуманітарному розмінуванні.

Для досягнення поставленої мети потребували вирішення наступні завдання:

- дослідити робото-технічні комплекси військового, спеціального або подвійного призначення, які можуть застосовуватися у системі гуманітарного розмінування;
- розробити керуючий алгоритм і математичну модель щодо очищення від вибухонебезпечних предметів території бойових дій з використанням робототехнічних комплексів;
- надати рекомендації щодо використання сучасних робото-технічних комплексів у гуманітарному розмінуванні.

### **4. Матеріали та методи дослідження**

Об'єкт дослідження – методологія та способи організації робіт з гуманітарного розмінування. Предмет дослідження – робото-технічні комплекси різного призначення та математичне обґрунтування можливості застосування технічних засобів різного призначення у визначеній кількості, в тому числі і РКСП, для вирішення завдань з гуманітарного розмінування, із урахуванням концепцій постіндустріального суспільства на базі концепції Industry 4.0.

Робоча гіпотеза полягала в тому, що ефективна реалізація методів і заходів гуманітарного розмінування може бути здійснена на основі формалізованої багатоетапної операції. Для перевірки цієї гіпотези проаналізовано існуючі методи щодо очищення (розмінування) територій, забруднених ВВП, та визначено етапи, на яких можуть бути застосовані РКСП різного призначення наявними (необхідними) силами піротехнічних підрозділів ДСНС України або інших залучених силових структур протягом визначеного (заданого) терміну. Це дозволило математично обґрунтувати та кількісно визначити необхідні сили, технічні засоби та часові показники для комплексного вирішення завдань із гуманітарного розмінування на території України в сучасних умовах та у післявоєнний період.

Комплексність підходу щодо використання РКСП в ході робіт з гуманітарного розмінування визначається необхідністю вирішення широкого переліку завдань, які включають наступні складові:

- нетехнічне (НТО) та технічне обстеження (ТО) територій, забруднених ВВП;
- пошук, ідентифікацію, знешкодження та знищення ВВП;
- картографування та маркування територій, забруднених ВВП;
- здійснення оцінювання якості розмінування тощо.

При цьому слід враховувати специфіку та конструктивні особливості окремих типів ВВП, їх призначення, порядок використання та просторове розташування після їх бойового застосування тощо.

Основні ідеї щодо оптимізації організаційних рішень при управлінні відповідними процесами гуманітарного розмінування враховує наступні припущення:

– процеси, які реалізуються в ході гуманітарного розмінування формалізуються у багатоетапну операцію, при цьому будь-який з етапів повинен бути максимально безпечним для людини-оператора (персоналу) та оточуючого середовища;

– планування багатоетапної операції повинно враховувати можливість втручання людиною-оператором РКСП на будь-якому з етапів з урахуванням усіх його майбутніх наслідків для наступних етапів, а результат, що досягається при реалізації плану операції з гуманітарного розмінування повинен бути максимально можливим.

Методи дослідження, зокрема методи статистичного та факторного аналізу, визначаються сукупністю вирішуваних завдань і базуються на принципах конструювання РКСП з відкритою архітектурою, яка дозволяє максимально оперативно підлаштовуватися під широкий комплекс завдань, що виконуються; включають методи аналізу та синтезу, які використані під час розроблення керуючого алгоритму та математичної моделі щодо очищення від ВВП території бойових дій з використанням робото-технічних комплексів, а також рекомендацій щодо планування та реалізації операцій з гуманітарного розмінування з використанням РКСП. Математичні розрахунки здійснювалися із використанням програмного продукту MatLab.

Для апробації отриманих результатів використовувалися методи спостереження та експертної оцінки, що дає змогу досягти максимально можливого результату із забезпеченням оптимального співвідношення між результативністю використання РКСП для операцій з гуманітарного розмінування та безпекою виконання цих робіт по відношенню до персоналу та оточуючого середовища.

Використання відмічених методів дослідження в ході розв'язання поставлених наукових завдань дозволило отримати наступні наукові результати.

## **5. Дослідження робото-технічних комплексів, які застосовуються у системі гуманітарного розмінування**

Дослідження зроблені за методикою, яка представлена в роботах [10, 11].

Згідно міжнародного стандарту ISO 8373:2012 «Robots and robotic devices. Terms and definitions», робото-технічний комплекс (robot system) – це комплекс, що складається з одного або декількох роботів, їх робочих органів та будь-яких механізмів, обладнання, приладів або датчиків, що забезпечують виконання роботом функціонального призначення (завдання).

Створенням робото-технічних комплексів військового призначення активно займаються провідні країни світу, беручи за основу свої наукові, технічні та промислові накопичення [3, 12]. Створення РКСП потребує суттєвого опрацювання ядра найважливіших технологій, які необхідні для створення всієї номенклатури перспективних РКСП. При цьому типовий зразок РКСП може бути представлений у вигляді сукупності функціонально пов'язаних елементів. Зокрема [5, 6]:

1. Базовий носій – це може бути мобільна платформа, шасі чи корпус будь-якої конфігурації, призначені до застосування у різних середовищах.

2. Спеціалізоване навісне (вбудоване) обладнання у вигляді набору знімних модулів корисного (цільового) призначення.

3. Засоби забезпечення та обслуговування, що використовуються при підготовці до застосування та технічної експлуатації робота.

Склад спеціалізованого обладнання встановлюється, виходячи з функціонального призначення РКСП і може включати [5]:

- засоби розвідки;
- засоби озброєння;
- навігаційні пристрої;
- спеціальне технологічне обладнання;
- засоби телекомунікації;
- спеціалізовані обчислювачі та контролери із програмно-алгоритмічним забезпеченням;
- засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ);
- захисні засоби.

Крім цього, РКСП потребують забезпечення та обслуговування, тобто до складу комплексу додатково включаються [5]:

- пункт управління, контролю та обробки інформації;
- засоби доставки, транспортування та запуску;
- засоби спорядження, заправки та зарядки;
- засоби підготовки фахівців;
- комплект керівних документів;
- комплект запасного приладдя.

Таке уявлення типового РКСП дозволяє виділити технології для розробки перелічених елементів. Критичні технології робототехніки можна декомпонувати на:

- основні, тобто розроблювані безпосередньо для робото-технічних комплексів;
- допоміжні – розроблювані для широкої номенклатури зразків озброєння та перспективи застосування під час створення РКСП [5].

До основних можуть бути віднесені такі технології [3]:

- систем сприйняття та обробки сенсорної інформації, оцінки ситуації та планування поведінки;
- автоматичного наведення та управління;
- дистанційного та автономного управління рухом;
- автоматичного розпізнавання образів (цілей), аналізу ситуацій та динамічних сцен;
- штучного інтелекту та навчання;
- людино-машинного інтерфейсу;
- інтелектуальних систем групового керування.

До допоміжних можна віднести технології [5]:

- автоматизованого керування;
- створення та функціонування нових перспективних конструкцій;
- енергетики;
- створення та застосування нових матеріалів та речовин;
- геоінформаційні та точного глобального позиціонування;
- створення перспективних систем датчиків та їх елементів;
- створення оптичних та оптико-електронних засобів.

Володіння такими технологіями – запорука успіху у забезпеченні необхідного ступеня автономності та інтелектуальності безпілотних літальних апаратів (БПЛА), наземних РКСП та автономних морських апаратів.

Використовуючи запропоновану співробітниками Оксфордського університету наочну класифікацію, можна систематизувати робото-технічні системи за чотирма поколіннями [10]:

1. «Рівень ящірки» – відповідає швидкодії процесорів універсальних роботів першого покоління, що становить від 3000 до 1 млн команд в секунду (MIPS). Основне призначення таких роботів – отримання та виконання лише одного завдання, яке програмується заздалегідь.

2. «Рівень миші» – роботи другого покоління, які можуть реалізовувати адаптивну поведінку, тобто навчання у процесі виконання завдань.

3. «Рівень мавпи» – роботи третього покоління, які будуються на основі процесорів від 10 млн. MIPS. Особливість таких роботів у тому, що для отримання завдання та навчання потрібен лише показ чи пояснення.

4. «Рівень людини» – четверте покоління роботів, яке повинно буде здатне мислити та приймати самостійні рішення.

Класифікація РКСП за ступенем їхньої залежності від оператора така:

1. Роботи 1-го покоління – це пристрої з програмним та дистанційним управлінням, здатні функціонувати тільки в організованому середовищі.

2. Роботи 2-го покоління – адаптивні, що мають синтетичні органи «чуття» та здатні функціонувати в заздалегідь невідомих умовах, та пристосовуватися до зміни ситуацій.

3. Роботи 3-го покоління – інтелектуальні, мають систему управління з елементами штучного інтелекту (створені поки лише у вигляді лабораторних макетів).

Інша класифікація РКСП передбачає їх поділ на три категорії [3]:

1. «Людина в системі управління» (human-in-the-loop) – до цієї категорії віднесені безпілотні машини, здатні самостійно виявляти цілі та здійснювати їх селекцію, проте рішення про їх знищення приймає тільки людина-оператор.

2. «Людина над системою управління» (human-on-the-loop) – до цієї категорії належать системи, здатні самостійно виявляти та вибирати цілі, а також приймати рішення на їх знищення, але людина-оператор, що виконує роль спостерігача, у будь-який момент може втрутитися та скоригувати чи заблокувати це рішення.

3. «Людина поза системою управління» (human-out-of-the-loop) – до цієї категорії віднесені роботи здатні виявляти, вибирати та знищувати цілі самостійно без людського втручання.

Сьогодні найбільш поширені РКСП першого покоління (керовані пристрої) та швидко удосконалюються системи другого покоління (напівавтономні пристрої). Для переходу до використання РКСП третього покоління (автономних пристроїв) фахівці розробляють систему самонавчання зі штучним інтелектом, в

якій будуть з'єднані можливості найпередовіших технологій в галузі навігації, візуального розпізнавання об'єктів, штучного інтелекту, озброєння, незалежних джерел живлення, маскування тощо.

Наймасовішим американським військовим роботом (випущено понад 3 тис. одиниць) є дистанційно-керована машина (ДКМ) «TALON», розроблена компанією Foster-Miller [13, 14] (рис. 1).



Рис. 1. Американський дистанційно керований робото-технічний комплекс «TALON»

Американські дослідники підраховали, що цей робот знешкодив більше 50 тис. вибухових пристроїв. «TALON» здатний діяти за будь-якої погоди та недостатнього освітлення, долати завали та дротяні загородження, пересуватися на місцевості зі складним рельєфом, функціонувати під водою на глибині.

Робот може виступати як шасі для розміщення на ньому різного спеціалізованого обладнання, завдяки якому може виконувати різні завдання на полі бою та в тилу. Стандартний робот «TALON» уявляє собою модульну систему, яка включає знімну руку маніпулятор з подвійним шарніром, довжиною 1,6 м.

Робот управляється за допомогою дуплексного радіозв'язку або по волоконно-оптичній лінії. Управління дистанційно керованої машиною «TALON» здійснюється оператором з пульта дистанційного керування оптоволоконним кабелем (але на дальності до 300 м) або по радіоканалу (до 800 м), а при використанні спрямованої антени дальність дії збільшується до 1200 м. Час безперервного функціонування дистанційного робота «TALON» у звичайному режимі становить 8,5 год. Бойова маса «TALON» 52-71 кг (залежно від комплектації). Швидкість ДКМ «TALON» коливається від максимальної 8,3 км/год до повзучої з можливістю безперервно працювати більше чотирьох годин. Бортове обладнання складається з денних та інфрачервоних камер, GPS-навігатора, датчиків, за допомогою яких визначаються вибухові та токсичні речовини, а також проводиться оцінка радіаційної, хімічної та біологічної обстановки, може нести на борту озброєння (кулемет M240 калібру 7,62 мм, снайперську гвинтівку M82A1, чотириствольну 66-мм ракетну установку M202, 40-мм гранатомети, багатоствольну Metal Storm»).

Пульт управління є кейсом, в якому також розміщений і блок живлення. Завдяки семи камерам, розташованим на борту, на екрані блоку управління безперервно відображається інформація для точного позиціонування машини. Шасі робота може нести на собі вантаж понад 90 кг для забезпечення максимальної



гнучкості у будь-якій ситуації.

Крім цих робото-технічних комплексів, найбільш розповсюдженими є такі РКСП [4]:

1. Гусенична роботизована міні-машина FirstLook 110 виробництва США (вага – 2,2 кг; розміри – 250×230×100 мм; обладнана 4 відеокамерами з підсвічуванням).

2. Військовий робот-розвідник Spybot виробництва Швейцарії. Робот SpyRobot випускається у двох варіантах – з шасі 4×4 та 6×6 (вага – 5 кг, розвідувальна апаратура включає теплові та оптичні датчики, а також радіолокаційну станцію із синтезованою апертурою). В результаті модернізації машини SpyRobot була створена дистанційно-керована платформа (ДКП) Dragon Runner [15] для розвідки місцевості в радіусі ефективної дальності стрільби стрілецької зброї (вага – 9 кг, розміри – 230×200×75 мм, обладнаний ІЧ-датчиками та відеокамерою).

3. Багатофункціональна платформа-робот Warrior 710 [16] виробництва США. Її основними завданнями є проведення розмінування, розчищення доріг, пожежогасіння, розвідка, віддалене спостереження за місцевістю, надання допомоги при надзвичайних ситуаціях, переміщення вантажів і проведення зварювальних робіт, а також евакуація поранених солдатів з-під вогню супротивника.

4. Гусеничний робот PackBot-510 виробництва США призначений для знешкодження вибухонебезпечних боєприпасів. PackBot може працювати з усією гамою ВНП та вирішувати проблеми утилізації звичайних боєприпасів. Його легка та надійна система маніпулятора OmniReach може розкладатися до двох метрів у будь-якому напрямку, щоб безпечно проникати у важкодоступні місця, де знаходяться саморобні вибухові пристрої, боєприпаси, міни та інші вибухонебезпечні предмети.

5. Наймініатюрніший робот-розвідник Recon Scout, який американські військові використовували в Афганістані. Він має вагу 1,3 кг та довжину 200 мм, обладнаний звичайною й інфрачервоною камерами. Цього робота можна закидати за перешкоди [3].

Також розробкою РКСП займаються і в Україні [7, 17]. До основних розробників робототехнічних комплексів військового призначення в Україні відносяться:

1. Львівська приватна компанія Roboneers (Global Dynamics) розробляє роботизовану, дистанційно керовану платформу з гібридним приводом у двох основних версіях – Hound і Ironclad.

2. Київське приватне акціонерне товариство «Кузня на Рибальському» розробило роботизований комплекс «Піранья» на гусеничній платформі.

3. Запорізька компанія «Infocom Ltd» розробила роботизовану конструкцію «Ласка 2.0», призначену для патрулювання, розвідки, розмінування, доставки боєприпасів та евакуації поранених. Крім того, ця компанія розробила автоматичну роботизовану турель «Страж», основним призначенням якої є захист периметру, що охороняється (державний кордон, важливі об'єкти, військові частини тощо), від несанкціонованого доступу.

4. Національний університет «Львівська політехніка» створив мобільні роботизовані платформи МРП-05 «Борсук» гусеничній платформі з електромеханічним приводом та МРП-07 «Кубик» на колісній платформі (6×4), ці платформи призначені для здійснення інспекційних перевірок території, моніторингу довкілля або для виконання спеціальних завдань.

5. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» є розробником багатофункціонального робота високої прохідності для надзвичайних ситуацій.

б. Київська приватна компанія «Конструкторське бюро «Роботікс» (Robotics) розробила та провела випробування роботизованого спостережно-вогневого комплексу «Мисливець», який створений на базі дистанційно керованої платформи.

Усі перелічені вище розробки роботів знаходяться на різних стадіях життєвого циклу продукції: проектування, виготовлення або випробувань.

## **6. Розробка керуючого алгоритму та моделі очищення територій від вибухонебезпечних предметів**

На звільнених територіях та в післявоєнний час нагальною проблемою буде виявлення, знешкодження та знищення ВВП на територіях, де велись бойові дії. Очищення (розмінування) місцевості від ВВП є складним і трудомістким завданням, що потребує чіткого планування та організації проведення робіт при знешкодженні і знищенні боєприпасів, що не вибухнули. При цьому необхідний обґрунтований підхід щодо матеріально-технічного забезпечення, підготовки відповідних спеціалістів за різним фахом, часові розрахунки термінів проведення робіт і т.ін.

Перше та дуже важливе завдання, яке виникає в ході очищення від ВВП імовірно небезпечних територій (ІНТ), площею  $S_{\text{ІНТ}}$  – це нетехнічне та технічне обстеження цих територій, що, за результатами отримання непрямих та прямих доказів, дає можливість розподілити (класифікувати) загальну площу на дві категорії – підтверджено небезпечні території (ПНТ) площею  $S_{\text{ПНТ}}$ , забруднені ВВП, та виключені або зменшені території (ВТ та ЗТ, відповідно) площею  $S_{\text{В(З)Т}}$ , на яких гарантовано відсутні ВВП (рис. 2).

З огляду на це запропонована функціональна модель, яка уявляє собою керуючий алгоритм, що описує процеси очищення території України, які знаходилися в зоні безпосередніх бойових дій, піддавались артилерійським, мінометним, ракетним та іншим обстрілам або можуть бути заміновані, чи мати ВВП, які не вибухнули з тієї чи іншої причини та підлягають очищенню (розмінуванню) від ВВП.

Другим завданням для вирішення проблеми забезпечення безпеки життєдіяльності на територіях, забруднених ВВП – є проведення очищення (розмінування) місцевості від ВВП. Для виконання цих завдань у визначені (або задані) терміни необхідно визначити кількість персоналу, а також техніки для оснащення підрозділів, які проводитимуть обстеження та очищення (розмінування) забруднених територій.

Всі процеси у запропонованій функціональній моделі, заплановані у вигляді багатоетапної операції, є динамічними та взаємопов'язаними, що дозволяє оперативно реагувати на зміни ситуації. Модель дозволяє враховувати можливість втручання керівником робіт, виконавцями робіт, наприклад, людиною-оператором РКСП, на будь-якому з етапів операції з очищення (розмінування) територій з урахуванням усіх майбутніх наслідків втручання для наступних етапів, а результат, що досягається при реалізації плану операції з гуманітарного розмінування, якість реалізації якої повинна бути максимально можливою.

За результатами проведених досліджень та відповідних розрахунків було запропоновано математичну модель щодо очищення від вибухонебезпечних предметів територій бойових дій та забезпечення безпеки життєдіяльності населення на них, яка дозволяє оцінити термін вирішення цієї проблеми та загальну кількість особового складу і необхідну загальну кількість технічного оснащення для виконання поставлених (визначених) завдань.

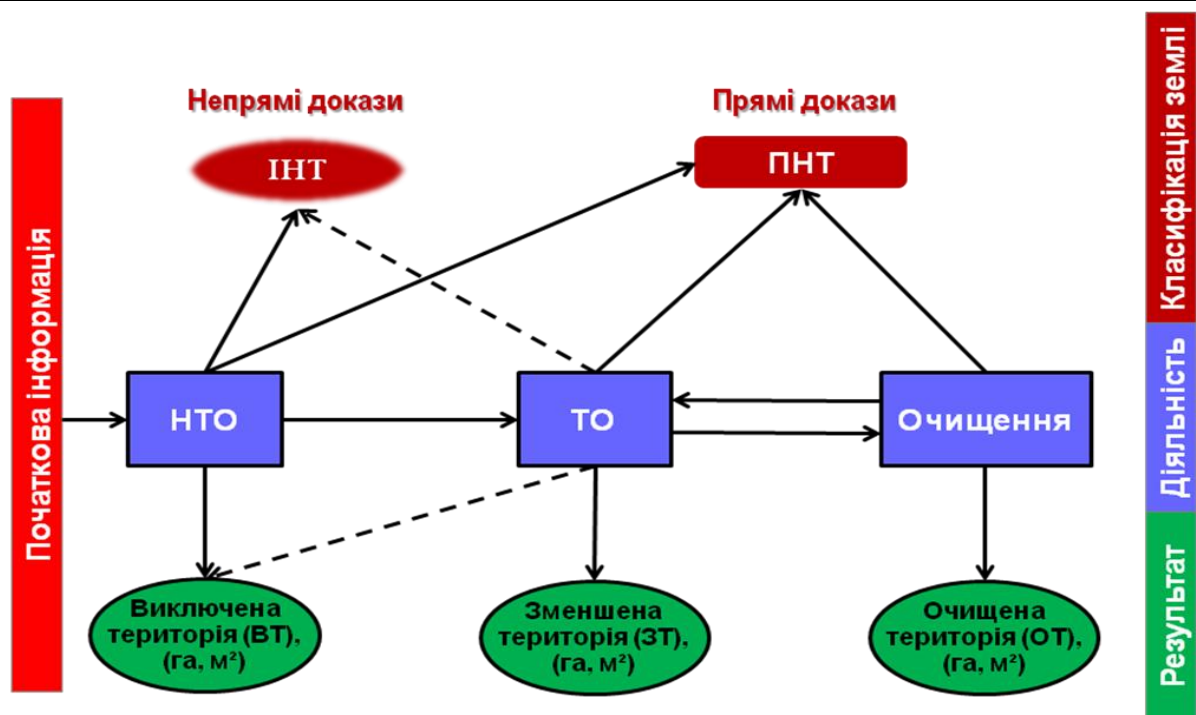


Рис. 2. Керуючий алгоритм, який описує процеси обстеження та очищення (розмінування) територій, забруднених ВМП

З урахуванням працездатності підрозділів щодо проведення робіт з обстеження та очищення (розмінування) забруднених ВМП територій, загальний термін вирішення проблеми забезпечення безпеки життєдіяльності населення на цих територіях, буде складати:

$$T_{\text{ЗАГ}} = t_{\text{обст}} + t_{\text{очищ}} = \frac{S_{\text{ІНТ}}}{n \cdot S_{\text{ІНТО}}} + t_1 + \frac{S_{\text{ПНТ}}}{n \cdot S_{\text{ПНТО}}} + t_2, \quad (1)$$

де  $T_{\text{ЗАГ}}$  – загальний термін вирішення проблеми забезпечення безпеки життєдіяльності населення на територіях, забруднених ВМП, год. (днів, років);  $t_{\text{обст}}$  – термін обстеження визначеної території  $S_{\text{ІНТ}}$ , год. (днів, років);  $t_{\text{очищ}}$  – термін очищення визначеної території  $S_{\text{ПНТ}}$ , год. (днів, років);  $S_{\text{ІНТ}}$  – площа імовірно небезпечної території, яка підлягає обстеженню,  $\text{м}^2$ ;  $n$  – кількість груп обстеження;  $S_{\text{ІНТО}}$  – площа територія, яку здатна обстежити одна група обстеження,  $\text{м}^2$ ;  $t_1$  або  $t_2$  – кількість неробочих або несприятливих для виконання робіт днів на протязі терміну обстеження або очищення визначеної території, відповідно;  $S_{\text{ПНТ}}$  – площа підтверджено небезпечної території, яка підлягає очищенню,  $\text{м}^2$ ;  $k$  – кількість піротехнічних груп;  $S_{\text{ПНТО}}$  – площа територія, яку здатна очистити одна піротехнічна група за день,  $\text{м}^2$ .

Загальна кількість особового складу, в тому числі операторів РКСП, який буде задіяний для вирішення завдань щодо обстеження та очищення територій буде складати:

$$N_{\text{ЗАГ}} = N_{\text{обст}} + N_{\text{очищ}} = 1,1 \cdot \left( n \cdot \sum_{i=1}^1 n_{ni} + k \cdot \sum_{j=1}^r n_{kj} \right), \quad (2)$$

де  $N_{\text{ЗАГ}}$  – загальна кількість особового складу задіяна для виконання робіт, чол.;  $N_{\text{обст}}$  – кількість особового складу, задіяного для обстеження територій, чол.;  
 weapons and military equipment. DOI: 10.52363/2524-0226-2023-38-2

$N_{\text{очищ}}$  – кількість особового складу, задіяного для очищення територій, чол.;  $1,1$  – коефіцієнт, який враховує резервну кількість спеціалістів, визначається на основі досвіду експертним шляхом і складає близько 10 % від необхідної кількості задіяного особового складу для виконання робіт;  $n_{ni}$  – кількість спеціалістів  $i$ -го фаху в одній групі обстеження, чол.;  $l$  – кількість типів спеціалістів в одній групі обстеження;  $n_{kj}$  – кількість спеціалістів  $j$ -го фаху в одній піротехнічній групі, чол.;  $r$  – кількість типів спеціалістів в одній піротехнічній групі.

Загальна кількість технічного оснащення, в тому числі РКСП, для вирішення завдань щодо обстеження та очищення територій від ВМП буде складати:

$$M_{\text{ЗАГ}} = M_{\text{обст}} + M_{\text{очищ}} = 1,1 \cdot \left( n \cdot \sum_{i=1}^q m_{ni} + k \cdot \sum_{j=1}^g m_{kj} \right), \quad (3)$$

де  $M_{\text{ЗАГ}}$  – загальна кількість техніки, задіяної для виконання робіт, од.;  $M_{\text{обст}}$  – кількість техніки, задіяної для обстеження територій, од.;  $M_{\text{очищ}}$  – кількість техніки, задіяної для очищення територій, од.;  $1,1$  – коефіцієнт, який враховує резервну кількість техніки, визначається на основі досвіду експертним шляхом і складає близько 10% від необхідної кількості задіяної техніки для виконання робіт;  $m_{ni}$  – кількість техніки  $i$ -го типу в одній групі обстеження, од.;  $q$  – кількість типів техніки в одній групі обстеження;  $m_{kj}$  – кількість техніки  $j$ -го типу в одній піротехнічній групі, од.;  $g$  – кількість типів техніки в одній піротехнічній групі.

Розроблений керуючий алгоритм, який реалізує запропоновану математичну модель щодо очищення (розмінування) територій бойових дій від ВМП та забезпечення безпеки життєдіяльності населення на них, передбачає виконання наступних процедур: збір та обробку попередньої інформації про території, які підлягають нетехнічному та технічному обстеженню на наявність ВМП; збір та обробку інформації про укомплектованість піротехнічних підрозділів технікою та обладнанням, наявність технічного оснащення; збір та обробку інформації про кількість піротехнічних підрозділів та укомплектованість спеціалістами за різним фахом; аналіз інформації про площі території для обстеження на наявність ВМП; аналіз інформації про укомплектованість піротехнічних підрозділів технікою і обладнанням, наявність технічного оснащення; аналіз інформації про кількість піротехнічних підрозділів та укомплектованість спеціалістами за різним фахом; визначення площі території для обстеження на наявність ВМП та часу для проведення НТО та ТО; оцінка необхідної кількості технічного оснащення для проведення НТО та ТО, включаючи і РКСП; оцінка необхідної кількості груп для проведення НТО та ТО й кількості спеціалістів за різним фахом; оцінка інформації про загальний термін вирішення проблеми забезпечення безпеки життєдіяльності населення на територіях, загальну кількість особового складу, технічного оснащення для виконання робіт та формування рішення щодо дій піротехнічних підрозділів; реалізація дій піротехнічних підрозділів, оцінки ефективності і корегування рішень на основі аналізу дій піротехнічних підрозділів.

В разі необхідності модель дозволяє вирішувати і обернену задачу: на основі конкретного або заданого терміну вирішення поставленої проблеми оцінити необхідну загальну кількість особового складу та необхідну загальну кількість технічного оснащення для виконання робіт у відведений термін.

## 7. Рекомендації щодо використання сучасних робото-технічних комплексів у гуманітарному розмінуванні

Як показали дослідження, система гуманітарного розмінування має містити такі підсистеми [4]:

- нетехнічне та технічне обстеження територій, забруднених ВВП;
- пошук, ідентифікацію, знешкодження та знищення ВВП;
- картографування та маркування територій, забруднених ВВП;
- здійснення оцінювання якості розмінування тощо.

Складові системи гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних систем [11], наведені на рис. 3, включають:

- технічні засоби, в тому числі РКСП;
- технології гуманітарного розмінування;
- системи прийняття рішень;
- системи проведення розвідки (дані аерофоторозвідки, дані опитування та зовнішньої розвідки);
- системи пошуку, локації (топографічної прив'язки) ділянок місцевості, забруднених ВВП;
- маркування та картографування місцевості, забруднених ВВП;
- ідентифікацію ВВП;
- розробку стратегії прийняття рішень, яка включає оцінку рівня загрози та прийняття рішень щодо знищення, утилізації або знешкодження ВВП;
- контроль якості гуманітарного розмінування ділянок місцевості, забруднених ВВП.

Пошук та ідентифікація ВВП для гуманітарного розмінування є комплексним завданням. РКСП для проведення гуманітарного розмінування повинні бути оснащені відповідними маніпуляторами та детекторами (сенсорами, датчиками), засобами прийняття рішень та застосовуватись на етапах розвідки, пошуку, локації, маркування, ідентифікації, знешкодження та знищення ВВП.

Виявлення ВВП означає їх пошук, зумовлений факторами, до яких відносяться [8]:

- наявність вибухової речовини та локально розташованої маси металу;
- специфічна форма мін, фугасів та ВВП;
- неоднорідності середовища, де розміщений ВВП (порушення поверхні ґрунту, дорожнього покриття, порушення кольору рослинності або снігового покриву тощо).

Додаткові демаскуючі фактори:

- наявність ліній управління та антени для радіоприймальних пристроїв ВВП;
- наявність годинникового механізму або електронного таймера, розміщених на ВВП;
- наявність сейсмічного, магнітного або оптичного датчика.

Таким чином, міна або ВВП можуть виявлятися за рахунок таких факторів:

- наявності зосередженої маси вибухової речовини;
- конструкції міни або ВВП (специфічна форма, матеріал, із якого виготовлений корпус);
- неоднорідність оточуючого середовища (колір рослинності, щільність ґрунту тощо).

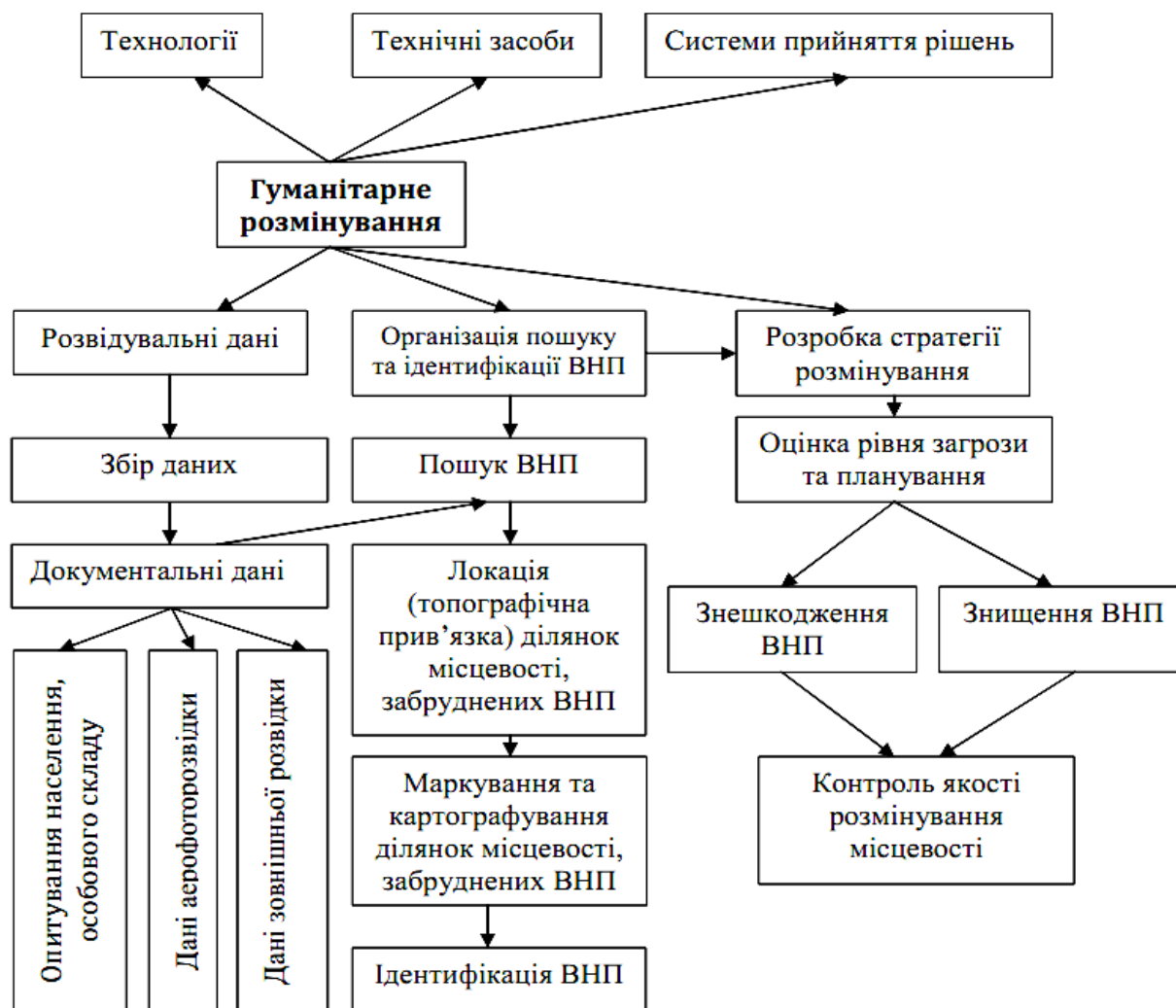


Рис. 3. Складові системи гуманітарного розмінування

Пошук мін та ВВП має здійснюватися за двома напрямками:

- 1) пошук окремих мін та ВВП (відстані для пошуку складають від декількох сантиметрів до декількох метрів);
- 2) розвідка територій, забруднених ВВП та мінних полів (відстані для пошуку складають від десятків метрів до декількох кілометрів).

В даний час найбільшого застосування знайшли такі методи пошуку мін та ВВП: електромагнітні (індукційний, радіохвильовий, магнітометричний, нелінійний), ядерно-фізичні, теплофізичний та механічний (механічного зондування). Саме вони дозволяють створити технічні засоби пошуку ВВП, які можуть бути придатними для гуманітарного розмінування.

У табл. 1 наведені найбільш важливі демаскуючі ознаки вибухонебезпечних предметів, що реалізуються при їх пошуку. Їх основними фізичними характеристиками є: щільність, твердість, електрична провідність, діелектрична і магнітна проникності, коефіцієнти відображення і випромінювання у видимому (0,4...0,76 мкм) і інфрачервоному (0,76...1000 мкм) діапазонах електромагнітних хвиль.

Сучасні методи та детектори виявлення вибухонебезпечних предметів наведені у табл. 2 [8, 9]. Проблеми, які виникають при застосуванні цих методів – це питання безпеки та зниження часових та матеріальних витрат на розмінування. Інші вимоги: кліматичні, ефективність роботи в темний час доби та у несприятливих погодних умовах, стійкість до механічних впливів, електромагнітна сумісність тощо.

**Табл. 1. Демаскуючі ознаки вибухонебезпечних предметів**

Вид контрасту між об'єктом і оточуючим середовищем	Тип об'єкта пошуку			
	Протипіхотні міни (ППМ)	Протитанкові міни (ПТМ)	ВНП з електронними компонентами	ВНП з кабельними лініями управління
Відмінність електропровідності	+	+	+	+
(може бути дуже малою)				
Відмінність магнітної проникливості	±	±	+	+
Відмінність діелектричної проникності	+	+	+	+
Відмінність теплофізичних характеристик	±	±	±	±
Відмінність оптичних характеристик	±	±	±	±
Відмінність механічних характеристик	+	+	+	+
Наявність парів вибухової речовини (ВР)	±	±	±	±
Наявність нелінійних електромагнітних властивостей	±	±	+	±

**Примітка:** + – контраст є; ± – контраст майже відсутній або є не завжди.

**Табл. 2. Сучасні методи та детектори виявлення ВНП**

Метод	Детектори та обладнання для виявлення ВНП
Електромагнітний	Металошукач (MD)
	Радіолокатор (GPR)
	Електричний імпедансний томограф (EIT)
	Радіометр на міліметрових хвилях (MMWR)
	Мікрохвильовий радіометр (MWR)
	Інфрачервоний спектроскоп (IR)
Оптичний метод	Лідар – детектор отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем (LIDAR)
Ядерно-фізичний	Детектори нейтронного випромінювання
	Ядерний квадрупольний резонанс (NQR)
Акустичний	Детектори акустичних та сейсмічних хвиль (A/S)
	Детектори звукових та ультразвукових хвиль
Механічний	Інженерні машини для виявлення та підризу мін і вибухових пристроїв
	Щупи
Газоаналітичний	Газоаналізатори та детектори парів вибухових речовин
Теплофізичний	Тепловізори
Біологічний	Сенсорна система тварин (собаки, щури тощо).

Табл. 3 характеризує глибини розміщення у ґрунті ВНП та безконтактні методи пошуку та ідентифікації ВНП, які можуть бути застосовані.

Виходячи із вищезазначеного, сформульовано наступні рекомендації щодо використання сучасних робото-технічних комплексів у гуманітарному розмінуванні:

1) Оскільки процеси, які реалізуються в ході гуманітарного розмінування об'єктів та місцевості, уявляють собою багатоетапну операцію (рис. 3), при цьому будь-який з етапів повинен бути максимально безпечним для персоналу та оточуючого середовища, слід реалізувати комплексний підхід щодо використання РКСП для вирішення широкого переліку завдань, які передбачають використання weapons and military equipment. DOI: 10.52363/2524-0226-2023-38-2

різних за призначенням та принципами функціонування РКСП та можуть включати наступні варіанти:

– РКСП для проведення НТО та ТО територій, забруднених ВВП – робото-технічні комплекси наземного, надводного або повітряного тощо базування для отримання розвідувальних даних з використанням фотометричних, відеометричних, магнітометричних, термометричних, лідарних та інших методів і засобів обстеження без фізичного втручання в структуру об'єкту (території), що обстежується;

– РКСП для проведення пошуку, ідентифікації, знешкодження та знищення ВВП, а також оцінювання якості розмінування – робото-технічні комплекси наземного, надводного, підводного або повітряного тощо базування для виконання комплексу робіт щодо пошуку і розпізнання ВВП з використання доступних або знову створених електронних баз даних та програмного забезпечення до них; знешкодження шляхом дистанційного відділення основного заряду ВВП та засобів його ініціювання або переведення ВВП в безпечний стан (у разі можливості); часткового або повного знищення ВВП шляхом доставки та дистанційного підризу зарядів вибухових речовин або засобів випалювання цих речовин тощо;

– РКСП для фіксації місця знаходження потенційної небезпеки, наприклад, міни або ВВП, картографування та маркування територій, забруднених ВВП – робото-технічні засоби або навісне обладнання до них, спроможні здійснювати автоматичний або керований процес позиціонування знайдених, знешкоджених або знищених ВВП, обстежених або очищених територій шляхом використання доступних або знову створених геоінформаційних технологій та засобів їх реалізації.

**Табл. 3. Глибини розміщення у ґрунті ВВП та методи пошуку ВВП, які можуть бути застосовані**

Глибина пошуку	Методи пошуку ВВП	Тип ВВП
Поверхня ґрунту	Електромагнітний, оптичний, газоаналітичний, механічний, теплофізичний, біологічний	Всі типи ВВП
До 0,1 м	Радіохвильовий	Всі типи ВВП
	Індукційний	Металеві ВВП
До 1 м	Короткоімпульсна радіолокація	Всі типи ВВП
	Магнітометричний	Феромагнітні ВВП

2) Враховуючи специфіку та конструктивні особливості окремих типів ВВП, їх призначення, порядок використання та просторове розташування після їх бойового застосування, що може характеризуватися наявністю різних демаскуючих ознак, наведених в табл. 1, слід мати в наявності та обґрунтовано обирати для подальшого застосування засоби пошуку, знешкодження та знищення ВВП, побудовані на різних фізичних принципах, які наведені в табл. 2 та 3. Як вже відмічалося, найбільшого застосування знайшли такі методи пошуку ВВП: електромагнітні (індукційний, радіохвильовий, магнітометричний, нелінійний), ядерно-фізичні, теплофізичний та механічний (механічного зондування).

3) Для своєчасного та безперервного виконання робіт з гуманітарного розмінування, необхідно забезпечити наявність резервного запасу технічного оснащення, який повинен складати близько 10 % від необхідної його кількості для виконання робіт по очищенню (розмінуванню) територій.

4) Для ефективного та безпечного виконання робіт з гуманітарного розмінування на всіх етапах їх проведення, а також оптимізації організаційних рішень при управлінні відповідними процесами, персонал, який залучається повинен ма-



ти відповідну фахову підготовку, яка здійснюється акредитованими навчальними закладами вищої та професійно-технічної освіти.

### 8. Обговорення результатів дослідження щодо використання робото-технічних комплексів для розмінування

У ході роботи показано, що система гуманітарного розмінування має виконувати такі завдання:

- обстеження територій, забруднених ВВП;
- пошук, ідентифікацію та знешкодження ВВП;
- картографування та маркування територій, забруднених ВВП;
- здійснення оцінювання якості гуманітарного розмінування.

Пошук та ідентифікація ВВП в ході гуманітарного розмінування є комплексним завданням. У зв'язку з цим, для проведення гуманітарного розмінування РКСП повинні бути оснащені відповідними маніпуляторами та детекторами (сенсорами, датчиками), засобами прийняття рішень та застосовуватись на етапах розвідки, пошуку, локації, маркування, ідентифікації, знешкодження та знищення ВВП, та відповідати встановленим вимогам. Отже, для підвищення ефективності виявлення мін та ВВП доцільно комплексування різних пошукових методів в одному РКСП.

Математична модель щодо очищення (розмінування) територій бойових дій від ВВП та забезпечення безпеки життєдіяльності населення на них, отримана в результаті проведених досліджень, дозволяє оцінити загальний термін  $T_{ЗАГ}$  вирішення цієї проблеми. На величину цього терміну впливають різноманітні об'єктивні і суб'єктивні фактори:

- термін нетехнічного та технічного обстеження визначеної імовірно небезпечної території  $t_{обст}$ , який значною мірою залежить від підготовленості особового складу підрозділів, залучених до обстеження та оснащеності цих підрозділів спеціальною технікою та спорядженням, умов виконання завдань тощо. Оснащення цих підрозділів сучасними зразками РКСП різного призначення, особливо безпілотних літальних апаратів (БПЛА) повітряного базування, значною мірою скоротить час на проведення етапу практичного дослідження, а за результатами проведених розрахунків та експертної оцінки час на виконання цього етапу може скоротитися в 3–5 разів;

- термін очищення (розмінування) підтверджено небезпечної території  $t_{очищ}$  також значною мірою від тих самих показників, а застосування для робіт гуманітарного розмінування територій сучасних роботизованих засобів механічного очищення (розмінування) може скоротити загальний час у 5–10 разів. Однак, при застосуванні РКСП різного призначення на всіх етапах проведення робіт з гуманітарного розмінування зростає час на підготовку, технічне обслуговування та поточний і капітальний ремонт, а також логістичне забезпечення цих технічних засобів.

Проведені розрахунки дозволили в певній мірі оцінити загальну кількість особового складу та технічного оснащення для виконання необхідних робіт з очищення (розмінування) територій, забруднених ВВП. На оціночні показники також впливають певні аспекти:

- якість та швидкість виконання завдань залежить не тільки від кількості особового складу та технічних засобів, а й від підготовленості (навченості) та досвіду персоналу, досконалості та ефективності використання ним наявних зразків технічного оснащення. Як доводять розрахунки та експертна оцінка, на сучасно-

му етапі наявну на початок повномасштабного вторгнення в Україну ройської армії чисельність особового складу піротехнічних підрозділів ДСНС слід збільшити до 3-х разів, з понад 500 до понад ніж 1700 осіб. Таке збільшення тягне за собою витрати часу на підготовку, перепідготовку та підвищення кваліфікації персоналу для знову створених піротехнічних підрозділів. Важливим є не допустити зменшення якості підготовки особового складу в обґрунтовано зменшені строки їх навчання;

– збільшення в такому ж обсязі технічного оснащення для знову створених піротехнічних підрозділів призводить до необхідності збільшення часу на опанування зразками сучасної закордонної техніки та обладнання.

– слід також враховувати, що при виконання робіт з підвищеною небезпекою, до яких відносяться роботи з гуманітарного розмінування, необхідно забезпечити наявність резервного запасу технічного оснащення, який повинен складати близько 10 % від необхідної його кількості для виконання робіт по очищенню (розмінуванню) території.

Результати досліджень можуть бути застосовані при створенні робото-технічних комплексів та систем військового, спеціального та подвійного призначення, які застосовуються у сфері гуманітарного розмінування. Також встановлено, що для підвищення ефективності виявлення ВНП доцільний комплексний підхід щодо застосування різних пошукових методів в одному РКСП з відкритою архітектурою, яка дозволяє максимально оперативно підлаштовуватися під широкий комплекс завдань, що виконуються. Розрахунки, які проведені з використанням запропонованої математичної моделі, та експертна оцінка проведення робіт з гуманітарного розмінування в сучасних умовах та їх перспектив у післявоєнний період підтверджує доцільність та ефективність такого підходу, при цьому може бути забезпечене прискорення темпів проведення робіт у 2–3 рази.

Один з нових перспективних методів виявлення мін – це параметричний. Він заснований на реєстрації взаємодії збудливого (силового) та зондуючого (інформаційного) фізичних полів, на об'єктах пошуку штучного походження (мінах). Поєднання цих полів може бути різним.

Проте, в реальному застосуванні, найбільш перспективним є застосування комбінації електромагнітного, оптичного та механічного методів.

Обмеженням досліджень є те, що сучасні методи та детектори виявлення ВНП не достатньо повно пройшли експериментальну перевірку в умовах реальних обставин, які можуть бути на територіях, забруднених ВНП.

Можливим розвитком цього дослідження може бути розробка РКСП, які можуть здійснювати пошук (не тільки на поверхні ґрунту, але і на певній глибині або висоті), ідентифікацію та прийняття рішення щодо знешкодження мін та ВНП.

## 9. Висновки

1. Досліджено робото-технічні комплекси військового, спеціального або подвійного призначення, які застосовуються у системі гуманітарного розмінування. Визначено, що система гуманітарного розмінування передбачає виконання наступних завдань: обстеження територій, забруднених вибухонебезпечними предметами; пошук, ідентифікація та знешкодження вибухонебезпечних предметів; картографування та маркування територій, забруднених вибухонебезпечними предметами; здійснення оцінювання якості гуманітарного розмінування. Найбільш комплексним і водночас кропітким та науково ємким завданням є пошук та ідентифікація вибухонебезпечних предметів. У зв'язку з цим, для проведення гуманітарного розмінування

робото-технічні комплекси спеціального призначення повинні бути оснащені відповідними маніпуляторами та детекторами (сенсорами, датчиками), засобами прийняття рішень та застосовуватись на етапах розвідки, пошуку, локації, ідентифікації, а також маркування, знешкодження та знищення вибухонебезпечних предметів, та відповідати встановленим вимогам.

2. Запропоновані керуючий алгоритм та математична модель щодо очищення (розмінування) територій бойових дій від вибухонебезпечних предметів та забезпечення безпеки життєдіяльності населення на них, дозволяють оцінити терміни вирішення цієї проблеми, загальну кількість особового складу та необхідну загальну кількість технічного оснащення для виконання робіт при вирішенні даної проблеми. Дослідження довели, що наявна чисельність особового складу, а отже і технічного оснащення, повинні бути збільшеними в понад ніж 3 рази. Застосування сучасних зразків технічного оснащення піротехнічних підрозділів ДСНС дозволить прискорити темпи проведення нетехнічного та технічного обстеження в 3–5 разів, а очищення (розмінування) підтверджено небезпечних територій – в 5–10 разів, однак слід враховувати терміни та якість підготовки персоналу, час на логістичне забезпечення технічного оснащення.

3. Надано рекомендації щодо використання сучасних робото-технічних комплексів у гуманітарному розмінуванні та встановлено, що для підвищення ефективності виявлення мін та вибухонебезпечних предметів доцільний комплексний підхід щодо застосування різних пошукових методів в одному робото-технічному комплексі з відкритою архітектурою, яка дозволяє максимально оперативно підлаштовуватися під широкий комплекс завдань, що виконуються. Розрахунки та експертна оцінка підтверджує доцільність та ефективність такого підходу, при цьому може бути забезпечене прискорення темпів проведення робіт у 2–3 рази. Одним з найбільш перспективних методів виявлення мін та вибухонебезпечних предметів є параметричний який, заснований на реєстрації взаємодії збудливого (силового) та зондуючого (інформаційного) фізичних полів, на об'єктах пошуку штучного походження (мінах). Проте, в реальному застосуванні, найбільш перспективним є застосування комбінації електромагнітного, оптичного та механічного методів.

### Література

1. Tarhan M. Invisible Death: Antipersonnel mines continue to claim thousands of lives. Anadolu agency. 2021. URL: <https://bit.ly/352MG61>
2. Manjula Udayanga Hemapala. Robots for Humanitarian Demining. Submitted: 25th October, 2016; Reviewed: 29th June, 2017; Published: 20th December, 2017. doi: 10.5772/intechopen.70246
3. Florez J., Parra C. Review of sensors used in robotics for humanitarian demining application. Colombian Conference on Robotics and Automation (CCRA); 29–30 September, 2016. Bogota: IEEE, 2016. P. 1–6.
4. Koppetch K. Mechanical Demining Equipment Catalogue [Internet]. Geneva: GICHD. 2019. URL: [http://www.eudem.vub.ac.be/publications/publication.asp?pub\\_id=14](http://www.eudem.vub.ac.be/publications/publication.asp?pub_id=14)
5. Trevelyan J., Hamel W.R., Kang S.C. Robotics in hazardous applications. Springer Handbook of Robotics. Springer International Publishing. London: 2016. P. 1521–1548.
6. Cepolinaa E., Bruschini C., De Bruyn K. Providing demining technology end-users need. In: Proceeding of the IARP International workshop on Robotics and Mechanical Assistance in Humanitarian Demining (HUDEM2005). Tokyo Denki University

ty, 21–23 June, 2005. Tokyo, Japan: 2005. P. 9–14. URL: <https://www.gichd.org/fileadmin/pdf/LIMA/HUDEM2005.pdf>

7. Струтинський В. Б., Юрчишин О. Я., Кравець О. М. Розвиток основних положень проектування маніпуляторів мобільних роботів спеціального призначення адаптованих для роботи з небезпечними об'єктами. Матеріали XXII міжнародної НТК «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. С. 129–131. URL: <http://conf.mmi.kpi.ua/proc/article/view/239152>

8. Furuta K., Ishikawa J. Anti-personnel Landmine Detection for Humanitarian Demining. London: Springer, 2009. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1483&context=cisr-journal>

9. Kasban H., Zahran O., Sayed M. Elaraby, M. El-Kordy, F. E. Abd El-Samie. A Comparative Study of Landmine Detection Techniques. An International Journal Sensing and Imaging. 2010. Vol. 11. P. 89–112. URL: [https://www.researchgate.net/publication/225752842\\_A\\_Comparative\\_Study\\_of\\_Landmine\\_Detection\\_Techniques](https://www.researchgate.net/publication/225752842_A_Comparative_Study_of_Landmine_Detection_Techniques)

10. Янушкевич Д. А., Іванов Л. С. Роботизовані засоби спеціального призначення: аналіз міжнародних нормативних документів. Виробництво & Мехатронні Системи 2021. Матеріали V Міжнародної конференції. Харків, ХНУРЕ. 2021. С. 176–179. URL: [https://nure.ua/wp-content/uploads/2021/M&MS-2021/zbirnik\\_mms\\_2021.pdf](https://nure.ua/wp-content/uploads/2021/M&MS-2021/zbirnik_mms_2021.pdf)

11. Янушкевич Д. А., Іванов Л. С. Сучасні тенденції застосування роботизованих систем для гуманітарного розмінування. Збірник матеріалів III форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2021. URL: <https://mts.nure.ua/conferences-ua/forum/aert-2021>

12. Freese M., Matsuzawa T., Oishi Y., Debenest P., Takita K., Fukushima E.F., Hirose S. Robotics-assisted demining with gryphon. Advanced Robotics. 01 January, 2007. Tokyo, Japan. 2007. 21(15). P. 1763–1786. URL: <https://ru.booksc.eu/book/36010951/4c0f48>

13. TALON Small Mobile Robot URL: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/talon.htm>

14. Foster-Miller unveils TALON robot that detects chemicals, gases, radiation and heat. URL: <https://bit.ly/3FrZ1Rm>

15. Dragon Runner 6×6. URL: <https://bit.ly/3xsWxQ2>

16. Warrior 710. URL: <http://www.army-guide.com/rus/product4994.html>

17. Наземні бойові роботи: лідери та Україна. URL: [https://lb.ua/news/2021/11/17/498795\\_nazemni\\_boyovi\\_roboti\\_lideri.html](https://lb.ua/news/2021/11/17/498795_nazemni_boyovi_roboti_lideri.html)

*I. Nevlyudov<sup>1</sup>, DSc, Professor, Head of the Department*

*D. Yanushkevich<sup>1</sup>, PhD, Senior Research Fellow, Associate Professor of the Department*

*I. Tolkunov<sup>2</sup>, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department*

*I. Popov<sup>2</sup>, PhD, Associate Professor, Teacher of the Department*

*H. Ivanets<sup>2</sup>, PhD, Associate Professor*

<sup>1</sup> *Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, Ukraine*

<sup>2</sup> *National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkov, Ukraine*

## JUSTIFICATION OF THE NEED TO CREATE MODERN ROBOTIC AND TECHNICAL COMPLEXES FOR HUMANITARIAN DEMINING

A study of military, special or dual purpose robotic complexes used in the humanitarian demining system was conducted. It was determined that the system of humanitarian demining involves the following tasks: inspection of objects and terrain contaminated by explosive objects; their search, remote identification, neutralization and destruction; mapping and marking of dangerous areas, etc. In this re-

gard, it has been proven that for humanitarian demining, it will be appropriate to use robotic and technical complexes of special purpose, which should be equipped with manipulators and detectors (sensors, gauges), means of decision-making at all stages of the work. A mathematical model and a control algorithm have been developed for the clearance of explosive objects from the territory of hostilities using robotic complexes that implement the principle of an integrated approach to solving the problem of clearing the territories of Ukraine. The proposed mathematical model is a combination of interconnected models: estimation of the terms of solving the problem of clearing the territory of combat operations from explosive objects, the total number of personnel and technical equipment of the units to perform the assigned tasks. According to the results of the research, recommendations were given for the use of modern robotic complexes in humanitarian demining and it was established that to increase the efficiency of detecting explosive objects, it is advisable to use various search methods in one robotic complex. One of the most promising methods is the use of a combination of electromagnetic, optical and mechanical methods, as well as the development of complexes capable of searching for, neutralizing and destroying explosive objects not only on the surface of the soil, but also at a certain depth.

**Keywords:** humanitarian demining, robotic complex, non-technical and technical inspection of territories

### References

1. Tarhan, M. (2021). Invisible Death: Antipersonnel mines continue to claim thousands of lives. Anadolu agency. Available at: <https://bit.ly/352MG61>
2. Manjula Udayanga Hemapala. (2017). Robots for Humanitarian Demining. Submitted: 25th October, 2016; Reviewed: 29th June, 2017; Published: 20th December, 2017. doi: 10.5772/intechopen.70246
3. Florez, J., Parra, C. (2016). Review of sensors used in robotics for humanitarian demining application. Colombian Conference on Robotics and Automation (CCRA); 29-30 September, 2016. Bogota: IEEE. 1–6.
4. Koppetch, K. (2019). Mechanical Demining Equipment Catalogue [Internet]. Geneva: GICHD. Available at: [http://www.eudem.vub.ac.be/publications/publication.asp?pub\\_id=14](http://www.eudem.vub.ac.be/publications/publication.asp?pub_id=14)
5. Trevelyan, J., Hamel, W. R., Kang, S. C. (2016). Robotics in hazardous applications. Springer Handbook of Robotics. Springer International Publishing. London, 1521–1548.
6. Cepolinaa, E., Bruschini, C., De Bruyn, K. (2005). Providing demining technology end-users need. In: Proceeding of the IARP International workshop on Robotics and Mechanical Assistance in Humanitarian Demining (HUDEM2005). Tokyo Denki University, 21–23 June, 2005. Tokyo, Japan, 9–14. Available at: <https://www.gichd.org/fileadmin/pdf/LIMA/HUDEM2005.pdf>
7. Strutynsky, V. B., Yurchyshyn, O. Ya., Kravets, O. M. (2021). Development of the basic principles of designing manipulators of mobile robots of special purpose adapted for work with dangerous objects. Materials of the XXII International STC «Progressive Engineering, Technology and Engineering Education». Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, 129–131. Available at: <http://conf.mmi.kpi.ua/proc/article/view/239152>
8. Furuta, K., Ishikawa, J. (2009). Anti-personnel Landmine Detection for Humanitarian Demining. London: Springer. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1483&context=cisr-journal>
9. Kasban, H., Zahran, O., Sayed, M. Elaraby, M. El-Kordy, F. E. Abd El-Samie. (2010). A Comparative Study of Landmine Detection Techniques. An International Journal Sensing and Imaging, 11, 89–112. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/225752842\\_A\\_Comparative\\_Study\\_of\\_Landmine\\_Detection\\_Techniques](https://www.researchgate.net/publication/225752842_A_Comparative_Study_of_Landmine_Detection_Techniques)
10. Yanushkevich, D. A., Ivanov, L. S. (2021). Robotic special purpose vehicles: weapons and military equipment. DOI: 10.52363/2524-0226-2023-38-2

analysis of international regulations. Manufacturing & Mechatronic Systems 2021. Proceedings of the V International Conference. Kharkov, KhNURE, 176–179. Available at: [https://nure.ua/wp-content/uploads/2021/M&MS-2021/zbirnik-\\_m-ms\\_2021.pdf](https://nure.ua/wp-content/uploads/2021/M&MS-2021/zbirnik-_m-ms_2021.pdf)

11. Yanushkevich, D. A., Ivanov, L. S. (2021). Current trends in the use of robotic systems for humanitarian demining. Proceedings of the III Forum «Automation, Electronics and Robotics. Development Strategies and Innovative Technologies» AERT-2021. Available at: <https://mts.nure.ua/conferences-ua/forum/aert-2021>

12. Freese, M., Matsuzawa, T., Oishi, Y., Debenest, P., Takita, K., Fukushima, E. F., Hirose, S. (2007). Robotics-assisted demining with gryphon. Advanced Robotics. 01 January, 2007. Tokyo, Japan, 21(15), 1763–1786. Available at: <https://ru.booksc.eu/book/36010951/4c0f48>

13. TALON Small Mobile Robot Available at: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/talon.htm>

14. Foster-Miller unveils TALON robot that detects chemicals, gases, radiation and heat. Available at: <https://bit.ly/3FrZ1Rm>

15. Dragon Runner 6×6. Available at: <https://bit.ly/3xsWxQ2>

16. Warrior 710. Available at: <http://www.army-guide.com/rus/product4994.html>

17. Ground combat robotics: leaders and Ukraine. Available at: [https://lb.ua/news/2021/11/17/498795\\_nazemni\\_boyovi\\_roboti\\_lideri.html](https://lb.ua/news/2021/11/17/498795_nazemni_boyovi_roboti_lideri.html)

Надійшла до редколегії: 19.09.2023

Прийнята до друку: 08.11.2023