

Застосування інтелектуальних систем управління робототехнічними системами для досягнення цілей сталого розвитку у сфері гуманітарного розмінування

Дмитро Янушкевич¹, Леонід Іванов², Ігор Толкунов³

1. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: dmytro.ianushkevych@nure.ua

2. Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14., email: leonid.ivanov@nure.ua

3. Кафедра піротехнічної та спеціальної підготовки, Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, вул. Чернишевська, 94, email: tolkunov_ia@ukr.net

Анотація: У доповіді розглядаються актуальні питання щодо досягнення цілей сталого розвитку у сфері гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних систем. Розв'язання цієї проблеми потребує креативності, комплексного підходу та інтелектуальних систем управління. Це дозволяє розробити моделі управління робототехнічною системою як на рівні прийняття рішень, так і на виконавчому рівні.

Ключові слова: гуманітарне розмінування, робототехнічні системи, сталий розвиток, системи управління.

I. ВСТУП

У вересні 2015 року в рамках 70-ї сесії Генеральної Асамблеї ООН у Нью-Йорку відбувся Саміт ООН зі сталого розвитку. Підсумковим документом Саміту було розроблення 17 Цілей сталого розвитку (ЦСР). Сталий розвиток пов'язується з гармонічним досягненням наступних цілей:

- високої якості навколишнього середовища і здорової економіки для всіх народів світу;
- задоволенні потреб людей і збереженні сталого розвитку протягом тривалого періоду.

Урядом України розпорядженням від 29 листопада 2024 р. № 1190 затверджено розпорядження «Деякі питання забезпечення досягнення Цілей сталого розвитку в Україні», яким встановлено національні завдання, індикатори їх досягнення, цільові значення до 2030 року. Зокрема, були визначені в умовах воєнного стану, завдання щодо відбудови та відновлення пошкоджень наслідків збройної агресії Російської Федерації, гуманітарного розмінування замінованих територій, екологічної кризи тощо.

Унаслідок російського вторгнення Україна стала однією з найзамінованіших країн у світі. За оцінками Організації Об'єднаних Націй, було встановлено, наприклад, що за роки війни, близько 30 % території України забруднено вибухонебезпечними предметами (міни, снаряди, авіабомби тощо), що не розірвалися. На розмінування територій, забруднених вибухонебезпечними предметами (ВНП) піде до 100 років. Уряд України ставить за мету, щоб за десять років 80 % цих територій були обстежені на наявність вибухонебезпечних предметів ВНП та щоб ці території були безпечними для життєдіяльності мирного населення та військових і необхідна базуватись на креативності підходу до системи гуманітарного

розмінування із застосуванням робототехнічних систем (РТС).

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Гуманітарне розмінування – комплекс заходів, які проводяться з метою ліквідації небезпек, пов'язаних із ВНП, включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, складення карт, виявлення, знешкодження та/або знищення ВНП, маркування, підготовку документації після розмінування, надання громадам інформації щодо протимінної діяльності та передачу очищеної території [1].

Гуманітарне розмінування спрямоване на зменшення шкідливого фактору дії ВНП на життєдіяльність людей. Мета розмінування полягає в тому, щоб знизити мінну небезпеку до рівня, при якому люди можуть жити безпечно; при якому економічний, соціальний і фізіологічний розвиток може здійснюватися безперешкодно, не наражаючись впливу обмежень, що викликаються впливом забруднення території України ВНП. Гуманітарне розмінування, на відміну від військового, передбачає комплексний огляд усієї території, де тривали бойові дії, визначення небезпечних районів, виявлення забруднених вибухонебезпечними предметами ділянок та їх очищення, після чого місцевість стає повністю придатною для використання [2]. Існує три види розмінування: оперативне, військове та гуманітарне.

Оперативне розмінування виконується в разі невідкладної необхідності працівниками Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС), саперами поліції та фахівцями Держспецслужби транспорту (ДССТ).

Військове розмінування – це процес, який виконують солдати для розчищення шляху, щоб військові могли просуватися під час конфлікту. У цьому випадку міни знешкоджуються лише в тому випадку, якщо вони блокують стратегічні шляхи, необхідні для просування або відступу солдатів на війні.

Головною метою гуманітарного розмінування є планове очищення землі, щоб цивільні особи могли повернутися до своїх домівок і виконувати свої повсякденні справи без загрози для життя і здоров'я. Задача гуманітарного розмінування – відновлення миру та безпеки на рівні громади.

Пошук та ідентифікація ВНП для гуманітарного розмінування з метою зменшення ризиків з питань безпеки людей, які його здійснюють, є комплексним

завданням та вимагають застосування РТС для його проведення. РТС для проведення гуманітарного розмінування повинні бути оснащені відповідними детекторами (сенсорами, датчиками), засобами прийняття рішень та застосовуватись на етапах розвідки, пошуку, локації, маркування, ідентифікації, знешкодження та знищення ВВП [1].

ВВП можна виявляти за рахунок трьох факторів:

- наявність зосередженої маси вибухової речовини;
- характерна конструкція мін та ВВП (форм, матеріал корпусу, колір тощо);
- порушення однорідності навколишнього фону (кольору рослинності, щільності ґрунту тощо).

Основні цілі та мета гуманітарного розмінування може бути досягнута та повинна базуватися на креативному підході. Креативний підхід передбачає застосування новітніх засобів, зокрема безпілотних літальних апаратів, наземних робототехнічних комплексів та систем, систем зі штучним інтелектом, які можуть без втручання людини визначати наявність небезпеки шляхом дослідження результатів обстеження території БПЛА та управлінням якістю розмінування.

Система управління якістю розмінування складається з двох частин:

- це гарантія якості, тобто впевненість у тому, що оператор, який заявив свою спроможність розмінувати, дійсно на це спроможний;
- контроль якості.

Пріоритетними для розмінування є об'єкти електро-, водо-, газо-, теплопостачання, критичної й транспортної інфраструктури, сільськогосподарські землі тощо.

Перший етап гуманітарного розмінування розпочинається з оцифрування супутникових даних на предмет кратерів, окопів, траншей, аномалій та інших неоднорідностей по всій території України.

Другий рівень даних – це візуальна інспекція за допомогою БПЛА, який виявляє ВВП на землі.

Третій рівень даних – це вибухонебезпечні предмети під землею. Їх шукають з допомогою магнітометрів, термокамер, мультиспектральних камер, хімічних сенсорів і металошукачів.

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

Роботи по створенню РТС у сфері гуманітарного розмінування ведуться в Україні і за кордоном [1]. В Україні та світі виконано значний обсяг досліджень теоретичного та експериментального характеру, які стосуються розробки мобільних роботів. Наявні окремі дослідження статичних характеристик, розроблені дослідні зразки РТС у сфері гуманітарного розмінування та проведена їх апробація [1, 2].

Тому проблема розроблення креативного підходу до застосування робототехнічних комплексів у сфері гуманітарного розмінування є актуальним завданням.

Еволюція розвитку РТС показує, наскільки швидким є розвиток даної галузі. Від появи першого робота, який міг виконувати самі прості операції, до масового виробництва робототехнічних комплексів пройшло не більше 70 років. Як показує статистика, зростання в індустрії робототехніки продовжує бути вибуховим. Сьогодні існує величезна різноманітність роботів, які застосовуються у гуманітарного розмінування.

Основні етапи процесу гуманітарного розмінування можна розділити на етапи, які наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Етапи процесу гуманітарного розмінування

Номер етапу	Зміст етапу
1-й етап	Нетехнічне обстеження
2-й етап	Технічне обстеження
3-й етап	Розмінування території, забруднених ВВП та очищення районів ведення бойових дій
4-й етап	Утилізація (знищення, знешкодження) ВВП
5-й етап	Контроль якості розмінування та передача території, забруднених ВВП їх користувачам

Нетехнічне обстеження (НТО) передбачає збір, аналіз та оцінювання інформації стосовно території для подальшої її класифікації за статусом небезпеки, без використання технічних засобів пошуку ВВП.

Технічне обстеження включає збір та аналіз даних про наявність, тип, розподіл та навколишні умови знаходження мін та вибухонебезпечних предметів із застосуванням технічних засобів, щоб точніше визначити місце, де присутні міни та вибухонебезпечні боєприпаси, а де їх немає, для сприяння пріоритизації вивільнення земель та забезпечення прийняття рішень шляхом надання фактів [2].

Розмінування полягає у здійсненні операцій виявлення, видалення або знищення мін та вибухонебезпечних боєприпасів, а для операцій з розмінування може також бути потрібне забезпечення доступу, діагностування, приведення в безпечний стан, остаточна утилізація та (у разі потреби) захисні роботи.

Очищення районів ведення бойових дій передбачає виявлення та знешкодження в певних районах, на яких велися бойові дії і які можуть включати оборонні позиції та місця, де були випущені або скинуті авіаційні або артилерійські боєприпаси, включаючи касетні боєприпаси.

Утилізація, знешкодження (знищення) мін та вибухонебезпечних предметів включає всі аспекти виявлення та знешкодження боєприпасів, що не розірвалися, шляхом проведення операцій з розмінування. Виконання операції зі знешкодження та знищення ВВП варіюється від відносно простих методик знешкодження та відкритого підриву до дуже складних промислових процесів із залученням відповідних фахівців.

Контроль якості розмінування – елемент процесу управління якістю розмінування, який забезпечує повне дотримання вимог щодо ліквідації небезпек, пов'язаних з ВВП, а також контроль за дотриманням вимог щодо якості розмінування.

На теперішній час для гуманітарного розмінування передові країни світу розробляють та використовують сучасні мобільні РТС.

Основна увага приділяється створенню РТС збільшеної автономності. Через специфіку завдань, що підлягають вирішенню, мобільні РТС удосконалюються для забезпечення можливості діяти в реальній

обстановці за умови часткової або повної відсутності вихідної інформації про середовище функціонування. Основною тенденцією здійснення цих проєктів є дооснащення комплексів, що знаходяться на озброєнні, цифровими і аналоговими візуальними системами, засобами автоматизації управління, каналами зв'язку (радіо і оптоволоконними) та засобами управління рухом, заснованими на модульному принципі [6]. Відсутність особового складу в зоні ураження і застосування РТС значно підвищують морально-психологічний стан військовослужбовців і забезпечують ефективність виконання бойових завдань, істотно знижуючи до того ж бойові втрати.

Водночас, одним з актуальних у світі напрямів розроблення РТС, у зв'язку з розвитком різноманітних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), стала активізація ідеї щодо застосування БПЛА для ведення розвідки та картографування територій, забруднених ВНП, пошук, ідентифікація мін та ВНП, а також їх дистанційне знищення. БПЛА здатні піднімати апаратуру вагою понад 50 кг, зависати над об'єктами, літати автономно за закладеною у ньому програмі тощо. БПЛА здатні також виконувати завдання з дистанційного знищення мін та ВНП.

Крім того, під час ведення бойових дій і контртерористичних операцій, виникає необхідність провести приховану інженерну розвідку місцевості, маршруту руху на наявність установлених або відсутності мін, вибухових пристроїв, легкий або тактичний БПЛА вертолітного чи літакового типу, оснащений модульною малогабаритною розвідувальною апаратурою з високою розрізною здатністю, багатозональною телевізійною, тепловізійною, нелінійною радіолокацією, у поєднанні з автоматизованою системою топоприв'язки на основі ГЛОНАСС (GPS) і цифровою обробкою інформації, що дасть змогу на відстані до десятків кілометрів виявляти і визначати координати мінних полів і місць установки мін та ВНП.

До найбільш розповсюджених РТС, які застосовуються у сфері гуманітарного розмінування, відносяться також військові роботи серії SuperDroid Robots.

Основне цільове призначення роботів серії SuperDroid Robots – оперативна розвідка, спостереження, пошук, виявлення, ідентифікація, вилучення, переміщення, знешкодження, утилізація ВНП, очищення приміщень та територій, забруднених ВНП, здійснення гуманітарного розмінування та виконання інших завдань, які вирішуються на тактичному рівні бойового управління. Ці роботи дають змогу зменшити людські втрати під час виконання задач з гуманітарного розмінування, проведенні контртерористичних операцій, оперативної розвідки тощо.

Дистанційний блок керування роботом (блок управління оператора – ОСУ) здійснюється за допомогою цифрових радіосистем, які забезпечують зашифроване дистанційне керування. Для оперативного управління роботів серії SuperDroid Robots застосовуються 3 види дистанційного керування:

- стандартний пульт дистанційного керування. Цей пульт міститься у футлярі, має вбудовані промислові джойстики та 12-дюймовий дисплей;

- обробка відео з чотирьох розділених екранів, яка доступна як опція. Також доступна розширена кінематична модель робота та маніпулятора, що відображається на РК-дисплеї ОСУ, забезпечуючи точний зворотний зв'язок щодо положення маніпулятора та виявлення перешкод та ВНП;

- ретранслятори та вторинні станції дистанційного моніторингу, які доступні для всіх цифрових систем керування роботом. На рис. 1 наведено загальний вигляд робота SuperDroid Robots та пульт дистанційного керування до нього.



Рисунок 1. Загальний вигляд робота SuperDroid Robots та пульт дистанційного керування

Більшість цих елементів керування є стандартними для роботів серії SuperDroid Robots. Але для забезпечення ефективності в складних умовах застосовуються спеціальні методи та пакети оперативного управління.

Бездротове керування та відеоспостереження складні, і на них можуть впливати кілька факторів. Це включає наявність перешкод, стін, електричних перешкод, рельєф та ландшафт місцевості, інші радіочастотні перешкоди тощо.

Найпростіший тип бездротового керування – аналогові RC системи радіочастотного діапазону. Вони, як правило, дешевші та досить стійкі до проблем прямої видимості: наявність стін, дерев, пагорбів тощо.

Недоліком використання аналогової системи є лише односторонній зв'язок обмежена дальність передачі даних та несумісність з ретрансляторами (мережами) системи mesh.

Цифрові системи дистанційного управління доступні в Wi-Fi, Digital і High Bandwidth Smart Radio.

Wi-Fi базовий тип передачі даних та здійснення оперативного управління. Система управління на платформі Wi-Fi сумісна з усіма доступними опціями дистанційного керування. Система Wi-Fi найкраще працює в місцях з мінімальними перешкодами між ОСУ та роботом. Дальність дії – до 100 м.

Digital Radio System (цифрова радіосистема), яка забезпечує підтримувати стабільний мережевий зв'язок на великих відстанях. Типовий діапазон дії від 300 м до 800 м.

High Bandwidth Smart Radio – система радіозв'язку з високою смугою пропускання, яка поєднує діапазон цифрового радіо з можливістю передачі чіткого HD-відео. Оптимізовані канали забезпечують відмінне керування, передачу аудіо та відео інформації. Інтелектуальне мікропрограмне забезпечення встановлює пріоритети для керування, забезпечуючи

безперебійну роботу роботів. Типовий діапазон дії від 300 м до 800 м.

Для оперативного управління роботів серії SuperDroid Robots можуть застосовуватись також дротові варіанти (оптоволоконний кабель, «вита пара»), де застосовування радіочастотного діапазону неможливе.

Одним із шляхів удосконалення систем оперативного управління РТС є рівень «інтелектуальності», що робить розробку РТС дуже важливою темою. Інтелектуальний РТС – це робот, що включає інтелектуальну систему управління (ІСУ) [3].

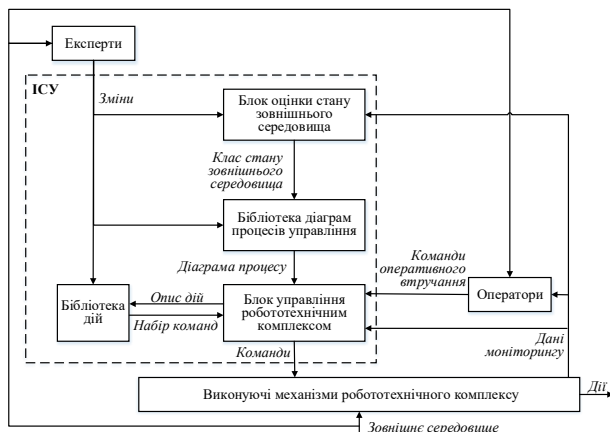


Рисунок 2. Модель ІСУ РТС гуманітарного розмінування

ІСУ означає комп'ютерну систему для вирішення завдань, які людина не може вирішити в режимі реального часу, або їхнє рішення вимагає автоматизованої підтримки або дає результати, які можна порівняти з рішеннями людини. При цьому, серед іншого, мається на увазі, що для розв'язуваних завдань ІСУ не передбачає повноти знань, а сама ІСУ повинна мати можливість упорядковувати дані та експертизу з виділенням суттєвих параметрів, пристосовуватися до змін набору фактів і знань, тощо. Концептуальна модель ІСУ робототехнічними комплексами гуманітарного розмінування на основі вербальних методів наведена на рис. 3.

Модель ІСУ РТС включає такі елементи: блок оцінки стану зовнішнього середовища, бібліотека діаграм процесів управління, блок керування РТС, бібліотека дій, рівень виконання для виконавчих механізмів робототехнічного комплексу (ВМПК), набори команд для ВМПК, групу експертів та операторів.

III. ВИСНОВКИ

Проведений аналіз дає змогу дійти висновку про складність проблеми досягнення цілей сталого розвитку у сфері гуманітарного розмінування із застосуванням РТС. Розв'язання цієї проблеми потребує креативності, комплексного підходу та ІСУ РТС та дозволяє розробити моделі ІСУ як на рівні прийняття рішень, так і на виконавчому рівні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Nevliudov, I., Yanushkevych, D., Ivanov, L. Analysis of the state of creation of robotic complexes for humanitarian demining. / I. Nevliudov, D. Yanushkevych, L. Ivanov // Technology Audit and Production Reserves, 6/2 (62). – 2021. – P. 47-52.
- [2] Янушкевич Д., Іванов Л., Толкунов І. Креативні підходи управління якістю у сфері гуманітарного розмінування із застосуванням робототехнічних систем / Д. Янушкевич, Л. Іванов Л., І. Толкунов // Збірник матеріалів V форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2023. – Харків, ХНУРЕ, – С. 55-59.
- [3] O Hutsa, D Yanushkevych, D Yelchaninov, I Tolkunov, L Ivanov, R Petrova, A Morozova (2024) Conceptualization of intelligent control systems conceptual model for humanitarian demining robotic complexes based on verbal methods. Science and Innovation Vol. 20 №. 3 (2024), 82-95.
- [4] Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. Computational intelligence and neuroscience, 2022(1), 3046116.
- [5] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) (pp. 61-64). IEEE.
- [6] Проектування мобільних маніпуляційних роботів : монографія / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв та ін. ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – 427 с.
- [7] Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. International Journal of Crowd Science, 9(1), 29-43.
- [8] Невлюдов І. Ш. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi) і мови Python 3.6 : підручник / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв – Харків, 2020. - 257 с.
- [9] Yevsieiev, V., & Starodubcev, N. (2023). Development of a control algorithm for a small-sized mobile manipulation robot. Scientific Collection «InterConf», (140), 648-651.
- [10] Yevsieiev V. Development of a program for modeling the control of a mobile manipulation robot in the unity environment / V. Yevsieiev, N. Starodubcev // Science in Environment of Rapid Changes : proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference, Brussels, Belgium, February 6-8, 2023. - Brussels : De Boeck, 2023. - Scientific Collection «InterConf» . - № 141. - P. 331-334.