

БОЙОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОВТ

УДК 621.865.8

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024.27-38>

О.В. Корольова, П.І. Казан, І.Б. Мількович

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

Article history: Received 01 October 2024; Revised 03 October 2024; Accepted 04 November 2024

ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ТЕХНІЧНОЇ ДОСКОНАЛОСТІ КРОКУЮЧИХ БЕЗПЛОТНИХ НАЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ ТИПУ ROBOT DOG

Сьогодні безпілотні системи у війні проти росії стали одним з ключових озброєнь, впроваджуються нові різні способи застосування цих систем, тривають пошуки нових шляхів їх застосування. Наприклад, ЗС України використовують крокуючі безпілотні наземні комплекси типу Robot Dog з огляду на особливості конструкції, а також масогабаритні та вантажні можливості. Комплекси типу Robot Dog вже використовують для гуманітарних місій, наприклад, залучають для розмінування територій. Також вони виконують охоронні та наглядові функції, патрулювання території; вивчення важкодоступних місць, моніторинг та розвідка, збирання даних у небезпечних або складних умовах. Такі комплекси використовуються для перевезення легких вантажів (медичного обладнання чи необхідних ресурсів).

У статті проведено аналіз сучасних популярних багатофункціональних біоморфних крокуючих наземних платформ – безпілотних наземних комплексів типу Robot Dog. Розглянуто їх функції і можливості, наведено задачі, які сьогодні виконують крокуючі безпілотні наземні комплекси типу Robot Dog у збройних силах провідних країн світу. Надано основні тактико-технічні характеристики цих зразків.

Проведено оцінювання рівня технічної досконалості за пропорційною шкалою та шкалою «оцінка-вагомість» п'яти найпоширеніших зразків крокуючих безпілотних наземних комплексів типу Robot Dog, та вплив негативних показників технічної досконалості зразка на його комплексну оцінку. Визначено рейтинг серед досліджуваних однотипних зразків крокуючих безпілотних наземних комплексів типу Robot Dog.

Ключові слова: безпілотний наземний комплекс, крокуючі безпілотні системи, собаки-роботи, Robot Dog, засіб ситуаційної обізнаності, моніторинг, збір даних про ціль, рівень технічної досконалості.

Постановка проблеми

Сьогодні в протистоянні України російському агресору спостерігається швидкоплинність бойових дій, висока мобільність угруповань, щодобова зміна лінії фронту, необхідність виявлення та знищення важливих цілей противника в умовах безпосередньої близькості до мирного населення тощо. Це потребує удосконалення форм і способів ведення збройної боротьби, пошуку нових шляхів застосування існуючих засобів та впровадження новітніх технологій.

Безпілотні системи (БпС) стали одним з ключових озброєнь у війні проти росії. Від початку повномасштабного вторгнення виробництво БпС вийшло на кардинально інший рівень, і сьогодні Україна продовжує залучати все більш новітні технології для війни проти армії агресора. Відомо, що значущості набули крокуючі безпілотні наземні комплекси (БпНК) типу Robot Dog (пер. з англ. – робот-собака) з огляду на особливості конструкції, а також масогабаритні та вантажні можливості.

При розробці та створенні нових або придбанні існуючих зразків виникає необхідність оцінки їх

ефективності та технічної досконалості (ТД) вже на етапі попереднього проектування для нових або прийняття рішень щодо вибору та закупівлі існуючих зразків.

Тактико-технічні характеристики (ТТХ) виробу, які визначають його технічний обрис, закладаються в результаті проведення науково-дослідних робіт на початкових етапах розробки. При цьому мають місце такі характерні особливості, як невизначеність або недостатня кількість вихідної інформації, а також висока ціна помилок рішень, що приймаються, тому необхідно оцінити рівень ТД крокуючих БпНК типу Robot Dog.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Згідно з матеріалами видання Bild від 14 серпня 2024 року [1, 2] стало відомо, що Україна почала використовувати на фронті БпНК типу Robot Dog. Зазначається, що Збройні Сили України вже застосовують для бойових завдань на фронті понад 30 роботів-собак моделі BAD.2 від британської компанії Brit Alliance (рис. 1). Першими роботів-собак випробували бійці 28-ї бригади ЗС України.



Рис. 1. Робот-собака моделі BAD.2 компанії Brit Alliance, Великобританія

У наукових роботах вже застосовувався метод визначення рівня технічної досконалості (РТД) для оцінювання ТТХ однотипних зразків ОВТ.

Так, у статті [3] розглянуто визначення кращого серед кількох БпНК I класу (мікро) мультикоптерного типу методом розрахунку рівня технічної досконалості (РТД). Для порівняльного аналізу взято п'ять найбільш популярних однотипних моделей мультикоптера різних світових виробників та розглянуто основні характеристики (параметри): ціна, тривалість польоту, максимальна дальність польоту, практична стеля, цільове навантаження. За підсумками виконаного порівняльного аналізу встановлено зразки, які відповідають сучасним вимогам та визначено напрями вдосконалення показників їх технічних характеристик (вимог).

У роботі [4] наведено застосування комплексного показника технічної досконалості для оцінки низки характеристик (параметрів функціонування) безпілотних літальних апаратів з різними силовими установками, який надає можливість з більшою точністю та оперативністю оцінити потрібні параметри, а також у певних умовах зменшити матеріальні витрати, крім того, заощадити час та ресурси при випробуваннях.

У статті [5] розглянуто питання щодо вибору рівня технічної досконалості і характеристик перспективних однотипних зразків озброєння та військової техніки.

У роботі [6] наведено результати аналізу практичного застосування методики розрахунку коефіцієнта військово-технічного рівня тактичного бойового літака. Запропоновано удосконалення зазначеної методики у напрямі модифікації її формального (математичного) апарату, що дозволяє підвищити точність отримуваних оцінок за рахунок коректного врахування впливу негативних показників технічної досконалості зразка

У статті [7] запропоновано один з варіантів часткової методики порівняльного оцінювання рівня технічної досконалості зразків засобів (комплексів) розмінування з використанням методів імітаційного моделювання та прогресуючого еталону. Оцінювання ступеня відповідності варіантів альтернатив комплексів розмінування проводять порівнюванням з еталоном, на який відсутній державний стандарт та

загальні вимоги чи кількісні показники. Визначення відповідності вимогам полягає у порівнянні комплексного показника альтернатив комплексом розмінування, що оцінюється, з комплексним базовим показником.

Аналіз сучасних способів та методів оцінювання РТД однотипних зразків ОВТ показує, що військовими фахівцями приділяється значна увага цій проблемі і досліджено низку зразків ОВТ, однак для крокуючих БпНК типу Robot Dog проводились лише часткові дослідження окремих можливостей та технічних характеристик.

Окремо розглядаються питання щодо розвитку крокуючих платформ типу Robot Dog та дослідження їх функціональних можливостей.

У статті [8] розглядається сучасний стан розвитку стійкості та бар'єрних функцій крокуючих роботів як двоногих та чотирилапих, обговорюються методики керування даними з акцентом на нейронні мережі та досліджується їх застосування до крокуючих роботів. Проаналізовано виконання роботами різних завдань: стабільне стояння, відстеження швидкості, контроль пересування, ходьба по камінню та керування навігацією. Ці завдання оцінюються на кількох роботах із різними ногами як у моделюванні, так і в реальних сценаріях. Але питання щодо вантажності та часу роботи не досліджено.

У роботі [9] розглядається динамічна поведінка крокуючих роботів, а саме: вплив опору землі на поведінку пересування крокуючих роботів, були розроблені методи вимірювання опору землі та поверхневого тертя на місці, представлені експериментальні дані робота MIT Super Mini Cheetah, який стрибає на твердому та м'якому ґрунті. Показано, що контролери, налаштовані на кожен поверхню, працюють краще для кожного конкретного типу поверхні, оцінюючи продуктивність за допомогою цих вимірювань.

Отже, для БпНК типу Robot Dog комплексне оцінювання ТТХ не проводилось, тому оцінення рівня технічної досконалості крокуючих БпНК типу Robot Dog є актуальним.

Формулювання мети статті – формування методологічного апарату для комплексного оцінювання рівня технічної досконалості крокуючих БпНК типу Robot Dog.

Викладення основного матеріалу

Біонічний робот-собака BAD.2 [1, 2, 10] – це компактний, міцний та маневрений сухопутний крокуючий дрон на чотирьох лапах, який веде оператор. Зазначається, що собаки-роботи оснащені відеокамерою, що дозволяє використовувати їх як засіб ситуаційної обізнаності та з їх допомогою:

- розвідувати околиці;
- виявляти міні-пастки;
- відстежувати та фіксувати пересування військ.

Такий робот-собака обмежує ризик для солдатів, що є його основною функцією, і збільшує оперативні можливості, наприклад, допомагає дістатися туди, куди не може потрапити повітряний дрон (всередину будівель або ворожих окопів).

Вкриті спеціальною фарбою від німецької фірми Сопсато, що забезпечує їм протитепловий камуфляж і їх практично неможливо виявити за допомогою тепловізора (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Маскування робота-собаки моделі BAD.2

Роботи-собаки пересуваються по полю бою зі швидкістю до 15 км/год і діють у розташуванні противника в радіусі 3,5 км (відстань робота від оператора). Заряду акумулятора вистачає на 5 годин безперервного користування. Робот-собака керується оператором (рис. 3 а), а завдяки тепловізійній камері може виявляти цілі вдень і вночі за будь-якої погоди; у разі потрапляння до рук противника, оператор зможе дистанційно видалити всі дані робота аварійним вимикачем. Окрім основного завдання – спостереження за позиціями ворога, вони також можуть перевозити до семи кілограмів вантажу (зокрема боєприпаси, медикаменти тощо) (рис. 3 б). Їхня вартість залежно від модифікації становить від 4 до 8 тис. євро.



а



б

Рис. 3. Застосування робота-собаки моделі BAD.2

Раніше (03 травня 2023 року) колишній Міністр оборони Олексій Резніков показав відеосюжет з роботом-собакою. Судячи з відео, йдеться про чотириногий робота Spot від компанії Boston Dynamics. Зі слів міністра, робот вміє імітувати поведінку справжніх собак, грайливий та маневрений. Робота використовують для гуманітарних місій – залучають до розмінування територій, зокрема, для боротьби з касетними боєприпасами.

В серпні 2024 року в Інтернеті з'явилося відео, на якому показано, як бійці 28-ї ОМБр "працюють" разом із роботом-собакою у Торезьку Донецької області. Бригада Kurt & Company 28-ї ОМБр опублікувала відео і кілька фотографій, на яких робот-собака пересувається населеним пунктом (рис. 4 а), розвідуючи маршрут і оцінюючи його безпеку, збирає дані про ціль. Також роботів-собак намагаються використовувати у вуличних боях у Торезьку. Робот неважкий і за потреби його можна перенести вручну (рис. 4 б).



а



б

Рис. 4. Робот-собака моделі BAD.2

Зазначається, що функціонал робота дає змогу проводити операції вдень і вночі в міських умовах і на пересіченій місцевості (у його корпус вбудовані камера, ліхтарик і лазерний датчик). Конструкція робота дає йому змогу швидко пересуватися, плавно маневрувати і виконувати команди оператора.

Серед найвідоміших світових аналогів біоморфних роботів-собак можна назвати ще декілька моделей. Китайська версія робота-собаки – Unitree Go 2 та Unitree Go2 Pro, робототехнічної компанії Unitree Robotics (рис. 5) [11, 12].



Рис. 5. Робот-собака компанії Unitree Robotics, Китай

Моделі Unitree Go2 та Unitree Go2 Pro відомі своєю мобільністю, гнучкістю та передовими технологічними характеристиками. При висоті 40,6 см, довжині 68,6 см та вазі 15 кг може переносити корисне навантаження до 10 кг.

Роботи-собаки Unitree оснащені камерою, ліхтариком і LIDAR датчиком, що обертається на 360°; руху їм надають 12 двигунів (по три на кожен ногу), що дозволяє роботу плавно маневрувати на різних поверхнях, пересуватись складними ландшафтами (сходи та скелясті поверхні тощо) і виконувати трюки (стояти і танцювати на двох ногах, виконувати сальто), самі рухи подібні до рухів справжнього собаки.

Акумулятор ємністю 8000 мАч забезпечує Unitree Go2 1-2 години автономної роботи. Крім того, робот підтримує Wi-Fi 6 та Bluetooth, що забезпечує безперебійне з'єднання. Максимальна швидкість 2,5 м/с для Unitree Go2 та 3,5 м/с для Unitree Go2 Pro. Можливість побудови карти хмари точок у певній області та вказання шляху для автономного руху Go2 (рис. 6). Відстань дистанційного керування становить більше 30 м.

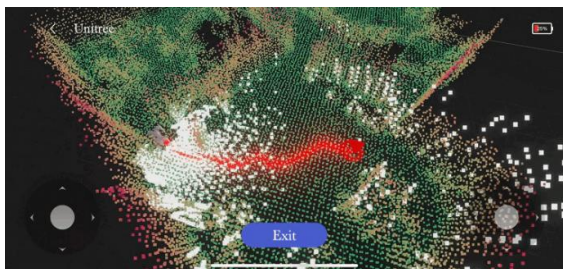


Рис. 6. Екран оператора дистанційного керування Go2

Відмінністю версії Unitree Go2 Pro є чат-бот на основі штучного інтелекту, бездротовий модуль відстеження векторного позиціонування для точного виконання команд, а також вбудовані динаміки та мікрофон для голосових команд, оснащеність

технологією розпізнавання голосу для розумного та інтуїтивно зрозумілого керування, відтворення медіа та функцій інтеркому.

Застосування: охоронні та наглядові функції, патрулювання території; моніторинг та розвідка, вивчення важкодоступних місць, збирання даних у небезпечних або складних умовах; рятувальні операції, перевезення легких вантажів (медичного обладнання чи необхідних ресурсів).

Як було згадано вище, у відеосюжеті колишнього Міністра оборони України Олексія Резнікова з роботом-собакою представлено модель Spot американської компанії Boston Dynamics (рис. 7 а) для очищення українських територій від мін та інших боєприпасів [13]. Укрінформ передає, що армія США ще у червні 2022 року погодила передачу одного з двох роботизованих собак Spot для знешкодження мінометних снарядів і касетних боєприпасів у раніше контрольованих росією районах поблизу Києва [14, 15].



а



б

Рис. 7. Робот-собака Spot компанії Boston Dynamics, США

Зазначається, що сапери все частіше використовують роботів у польових умовах для зменшення ризику підриву людей. Так, Spot планується використовувати для огляду потенційно небезпечних матеріалів з безпечної відстані або роботизованою рукою допомогати перетягнути боєприпаси до ями, що дозволить саперам безпечно підривати їх партиями від 50 до 100 снарядів далеко від цивільного населення і не наражаючи на небезпеку жодну з команд неурядової організації HALO Trust, що працює у Бучі та в Броварах.

Робота-собаку Spot у квітні 2021 року вже залучали під час військових навчань, які проводила французька армія (рис. 7 б). Spot був однією з машин, які використовували для розвідки на навчаннях військової школи Saint-Суг [16]. Роботів

перевіряли в декількох сценаріях, серед них – атакуючий маневр на перехресті, захисний маневр удень та вночі, а також сценарій бойового зіткнення в населеному пункті. Кожний сценарій проходили двічі: без роботів та з ними, щоб оцінити різницю. За словами учасників навчань, роботи затримували операції, але гарантували більшу безпеку для кадетів.

Робот-собака Spot із вагою 31 кг здатний підіймати вантаж до 14 кг; долає перешкоди; підніметься на ноги, якщо впаде; працює за температури від -20 до +45 °С; обладнаний камерами, ліхтарем, маніпуляторами; може бути дистанційно керованим. На сьогодні Spot використовується для дистанційного обстеження багатьох середовищ: від будівельних майданчиків до заводів та підземних шахт.

У травні 2024 року The War Zone оголосувало, що Міноборони США тестують бойових робособак-снайперів (рис. 8) [17-20].



Рис. 8. Робот-собака моделі Ghost Vision 60 компанії Ghost Robotics, США

Це багатофункціональна біоморфна платформа середнього розміру, яка призначена для виконання задач в місті та природньому середовищі, стійка до погодних умов. Універсальність платформи дозволяє адаптацію до широкого спектра використань: задач в області патрулювання місцевості або розвідки; картографування приміщення та місцевості; роботизована рука – для нейтралізації вибухових речовин; виявлення хімічних, біологічних або радіологічних загроз в заданому районі експлуатації (установка на платформу додаткових детекторів); встановлення різних типів засобів ураження дозволяє застосування Vision 60 як бойову платформу.

Командування спеціальних операцій морських сил проводить випробування роботів-собак зі штучним інтелектом, озброєних гвинтівками. Робот тестується ними як одна з багатьох частин технології в оцінці наземної робототехніки. Роботів тестували протягом чотирьох років. Зокрема, наземний апарат Vision 60 (Q-UGV) – "всепогодний наземний дрон" фірми Ghost Robotics, що розміром і силуетом дійсно нагадує собаку. У той же час зараз військові США перейшли до оцінки можливостей додавання наступальних можливостей цій машині. Сьогодні підрозділ спецназу ВМФ США має двох собак-робіт, оснащених дистанційною системою озброєння Опух

Industries SENTRY – один з гвинтівкою калібру 7,62x39 мм, а інший – з гвинтівкою Creedmoor калібру 6,5 мм, робот з гвинтівкою не стоїть на озброєнні їхніх підрозділів, а зброя є лише одним із варіантів корисного навантаження для цієї платформи (рис. 9).



Рис. 9. Озброєний Ghost Vision 60

Отже, можна зазначити, що використання на передовій роботів-собак стає все більш актуальним. Розширюється спектр завдань, які виконують такі наземні крокуючі дрони, що значно знижує ризик для українських бійців. Важливими є не тільки бойові завдання, а і рятувальні операції та гуманітарне розмінування, оскільки це береже життя українців. Використання роботів-собак не лише підвищує ефективність ведення бойових дій (рис. 10), а й зміцнює моральний дух армії. Прогнозується подальше збільшення використання зазначених зразків озброєння, що потребує глибшого аналізу їх ТТХ.



Рис. 10. Робот-собака на службі ЗСУ

Коли постає вибір, який зразок техніки найбільше відповідає встановленим вимогам, необхідно провести порівняльний аналіз їх технічних характеристик. Визначення кращого серед кількох варіантів доцільно робити методом розрахунку рівня технічної досконалості [3, 5].

Для крокуючих БпНК типу Robot Dog одним із напрямів такої оцінки може бути співвідношення обґрунтованих оперативних-технічних (тактико-технічних) вимог та очікуваних технічних властивостей перспективного зразка із характеристиками кращих аналогів.

Для проведення порівняльного аналізу РТД декількох однотипних крокуючих БпНК типу Robot

Dog взято п'ять найпопулярніших закордонних зразків: BAD.2 (Великобританія), Unitree Go2 (Китай), Unitree Go2 Pro (Китай), Spot (США), Ghost Vision 60 (США). Дослідження виконано шляхом порівняння їх ТТХ (табл. 1). Під час дослідження прийнято, що всі розглянуті зразки володіють однаковими параметрами захищеності.

Для визначення напрямів покращення ТТХ побудовано профілі ТД однотипних зразків крокуючих БпНК типу Robot Dog за шкалою від 1 до 5. Наочне зображення профілів РТД показує відсутність рівномірного співвідношення між ваговими показниками та представлено у вигляді гістограми (рис. 11), де ОР – оцінка рангу.

Таблиця 1

Основні ТТХ популярних крокуючих БпНК типу Robot Dog, що обрано для дослідження

Марка крокуючого БпНК типу Robot Dog	Вага, кг	Вантажність, кг	Час роботи, год	Дальність керування, км	Швидкість, м/с	Ціна, тис. дол
BAD.2	12	7	5	3,5	4,2	8
Unitree Go2	15	8	1,5	0,03	2,5	2,4
Unitree Go2 Pro	15	10	2	0,03	3,5	3,9
Spot	31	14	1,5	1	1,6	75
Ghost Vision 60	51	40	3	2	3	150

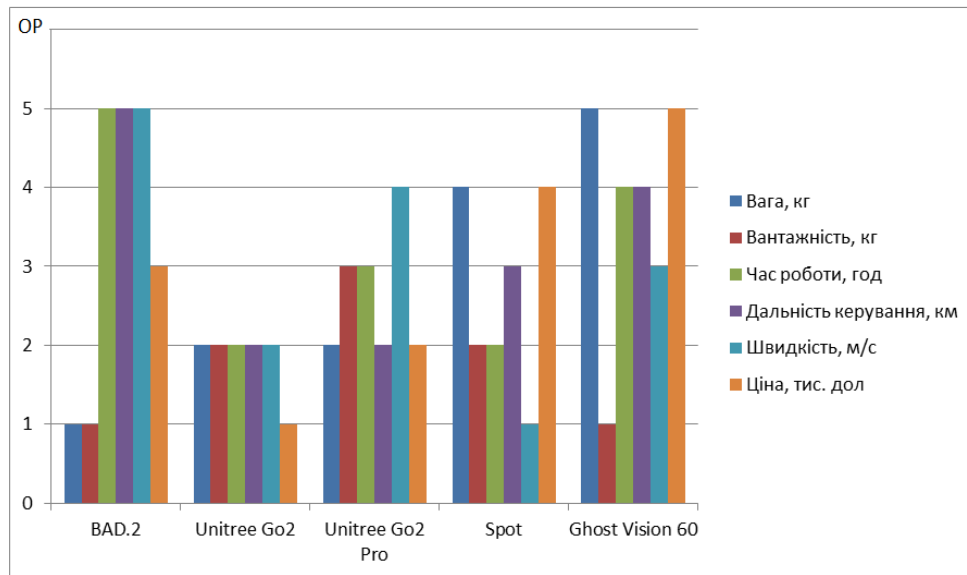


Рис. 11. Гістограми зображення профілів РТД крокуючих БпНК типу Robot Dog

Додатково було розраховано "коефіцієнт відносної вантажності", з огляду некоректності прямого порівняння загальної ваги зразків та їх вантажності: BAD.2 – 1,71, Unitree Go2 – 1,87, Unitree Go2 Pro – 1,5, Spot – 2,21, Ghost Vision 60 – 1,27. Аналіз отриманих даних та наведених у табл. 1 ТТХ зразків ілюструє, що усі досліджувані зразки крокуючих БпНК типу Robot Dog потребують покращення одночасно кількох характеристик. Наприклад: зразок BAD.2 має високий показник часу роботи, дальності керування та швидкості, але потребує покращення показника "коефіцієнт відносної вантажності"; зразок Unitree Go2 має найкращий результат цінового порівняння, але низькі показники всіх решти ТТХ; зразок Unitree Go2 Pro має достатню швидкість та середній час роботи, але необхідно збільшити дальності керування та "коефіцієнт відносної вантажності"; зразок Spot має

кращий "коефіцієнт відносної вантажності" але має достатньо високу ціну та низьку швидкість; зразок Ghost Vision 60 має помірні значення часу роботи та дальності керування, але має найвищу ціну та потребує покращення показника "коефіцієнт відносної вантажності".

Оскільки ТТХ зазначених зразків виражені у різних одиницях вимірювання, то їхні значення нормуються за допомогою пропорційної шкали оцінок [3, 5]. Оцінку кількість рейтингових балів $E_{p\sigma}$ визначають по-різному (якщо значення показника підвищують або знижують РТД) за наступними співвідношеннями

$$E_{p\sigma}^+ = \left(\frac{X_{ou} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \right) * 100 \quad (1)$$

та

$$E_{рб}^- = \left(\frac{X_{\max} - X_{оц}}{X_{\max} - X_{\min}} \right) * 100, \quad (2)$$

де $X_{оц}$, X_{\max} та X_{\min} – оцінювальне, максимальне та мінімальне значення частинного показника у групі однотипних зразків відповідно. Таке оцінювання дає змогу визначити, на скільки балів один зразок кращий (гірший) відносно інших, а також визначити градацію порівняльного РТД (табл. 2).

Результати оцінювання РТД за пропорційною шкалою показують, що найбільше значення комплексного показника (колонка 8 табл. 2) у крокуючого БпНК типу Robot Dog BAD.2 – 433 бали, що свідчить про його більший рівень досконалості серед зразків, які досліджувались; найнижчий РТД має зразок Unitree Go2 – 198 балів. Для оцінки РТД зразки розподіляються по місцях – найкращому зразку присвоюється перший ранг і виставляється оцінка 5, найгіршому – п'ятий ранг та оцінка 1, значення наведено у колонці 9 табл. 2.

Таблиця 2

Результати оцінювання показників РТД за пропорційною шкалою

Марка крокуючого БпНК типу Robot Dog	"КВВ"	Вантажність	Час роботи	Дальн. керув.	Швидкість	Ціна	Сума балів РТД, S_j^{np}	Оцінка РТД / ранг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
BAD.2	47	0	100	100	90	96	433	5 / 1
Unitree Go 2	64	3	0	0	31	100	198	1 / 5
Unitree Go2 Pro	24	9	14	0	66	99	212	3 / 3
Spot	100	21	0	28	0	51	200	2 / 4
Ghost Vision 60	0	100	43	57	48	0	248	4 / 2

Оцінка РТД за пропорційною шкалою вимірювання не враховує вагомість кожної з ТТХ, що істотно може позначитися на кінцевому результаті. Для оцінювання вибрано комплексний показник шкали «оцінка-вагомість» – S_j^{OB} ($j \in 1, \dots, N$, кількість досліджуваних ТТХ). Він дорівнює сумі добутків E^{OB} – оцінок показників ТТХ, які визначені за пропорційною шкалою вимірювання, на їхній $K_{ваг}$ – коефіцієнт вагомості.

$$E^{OB} = X_{оц} \cdot K_{ваг}. \quad (3)$$

Значення вагових коефіцієнтів окремих ТТХ для зразків ОВТ визначено методом експертного аналізу. Для обґрунтування вагових коефіцієнтів окремих ТТХ використано метод експертних оцінок. Для оцінювання вагових коефіцієнтів було залучено 18 провідних науковців, практиків, експертів з проблеми оцінювання РТД зразків ОВТ. Кінцеве рішення щодо висновків на основі результатів обробки даних опитуваних можна зробити лише тоді, коли є певний ступінь узгодженості думок експертів. Для оцінки узагальненої міри узгодженості думок експертів використовувався $K_{конк}$ – коефіцієнт конкордації. Ступінь узгодженості думок експертів визначено за співвідношенням [21, 22]

$$K_{конк} = \frac{12 \sum_{i=1}^n (S_j - \frac{\sum_{j=1}^n S_j}{n})^2}{m^2 (n^2 - n)}, \quad (4)$$

де n – кількість показників, що запропоновані для експертної оцінки; $1, 2, 3, \dots, j, \dots, n$ множина номерів показників; S_j – сума рангів; m – кількість експертів, що взяли участь у колективній експертній оцінці; $1, 2, 3, \dots, i, \dots, m$ – множина номерів експертів. Ступінь узгодженості думок експертів вважається прийнятним, якщо $K_{конк} > 0.5$. Отримане значення коефіцієнта конкордації – в межах від 0,80 до 0,88, що вказує на середню надійність узгодженості думок експертів.

Після застосування співвідношення (3) з урахуванням значень відповідного $K_{ваг}$ для досліджуваних характеристик крокуючих БпНК типу Robot Dog отримано значення для оцінки показників РТД за шкалою «оцінка-вагомість» (колонка 8 у табл. 3). Аналогічно до табл. 2 для оцінки РТД зразки розподілено по рангах 1–5 (колонка 9 у табл. 3).

Таблиця 3

Оцінка показників РТД за шкалою «оцінка-вагомість»

Марка крокуючого БпНК типу Robot Dog	"КВВ"	Вантажність	Час роботи	Дальн. керув.	Швидкість	Ціна	Сума балів РТД, S_j^{OB}	Оцінка РТД / ранг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Значення $K_{ваг}$	0,19	0,24	0,15	0,16	0,12	0,14	-	-
BAD.2	8,89	0,00	15,00	16,00	10,76	13,47	64,12	1
Unitree Go2	12,13	0,73	0,00	0,00	3,72	14,00	30,58	5
Unitree Go2 Pro	4,65	2,18	2,14	0,00	7,86	13,86	30,69	4
Spot	19,00	5,09	0,00	4,47	0,00	7,11	35,68	3
Ghost Vision 60	0,00	24,00	6,43	9,08	5,79	0,00	45,31	2

Для наочного зображення оцінювання за рангами РТД зразків крокуючих БпНК типу Robot Dog за пропорційною шкалою вимірювання та шкалою вимірювання "оцінка-вагомість" застосовується графічна форма подання результатів (рис. 12). Гістограма демонструє, що два зразка мають кращі характеристики – це BAD.2 та Ghost Vision 60.

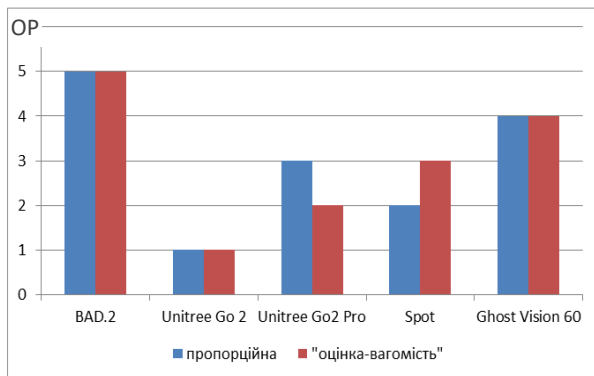


Рис. 12. РТД за шкалами вимірювання: пропорційна та "оцінка-вагомість"

Порівняльний РТД виконано за допомогою коефіцієнтів градації. Відносну характеристику якості зразка (коефіцієнт РТД $K_{РТД}^{np}$) використання пропорційної шкали оцінок визначається за співвідношенням

$$K_{РТД}^{np} = \frac{S_j^{np}}{b_j^{\max} \cdot n}. \quad (5)$$

де S_j^{np} – сума балів досліджуваного зразка; b_j^{\max} – максимальна кількість балів, яку може набрати частковий показник ($b_j^{\max} = 100$); n – кількість досліджуваних зразків. За шкалою "оцінка-вагомість"

коефіцієнт РТД $K_{РТД}^{OB}$ перетворюється шляхом ділення значення S_j^{OB} на 100 – максимальна кількість балів, яку може набрати частковий показник. Результати перетворень наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Порівняльні дані для оцінки РТД

Марка крокуючого БпНК типу Robot Dog	за пропорційною шкалою		за шкалою «оцінка-вагомість»	
	Сума балів РТД, S_j^{np}	Коеф-т градації, $K_{РТД}^{np}$	Сума балів РТД, S_j^{OB}	Коеф-т градації, $K_{РТД}^{OB}$
BAD.2	433	0,865	64,12	0,641
Unitree Go2	198	0,396	30,58	0,306
Unitree Go2 Pro	212	0,425	30,69	0,307
Spot	200	0,400	35,68	0,357
Ghost Vision 60	248	0,496	45,31	0,453

Оскільки шкала оцінок пропорційна, то саму шкалу можна розбити за балами на 6 інтервалів. Відповідно до значень коефіцієнтів градації визначаються оцінки порівняльного РТД однотипних зразків (табл. 5).

Значення коефіцієнта градації показує, що жоден з розглянутих зразків крокуючих БпНК типу Robot Dog за РТД не відповідає оцінці "відмінний", незалежно за якою шкалою обчислено комплексний показник. За пропорційною шкалою оцінок "високий" РТД має BAD.2, "середній" – Ghost Vision 60, а "задовільний" – Unitree Go2, Unitree Go2 Pro та Spot. За шкалою "оцінка-вагомість": "добрий" РТД має BAD.2, "середній" – Ghost Vision 60, а "задовільний" – Unitree Go2, Unitree Go2 Pro та Spot.

Таблиця 5

Градація порівняльного РТД зразків крокуючого БпНК типу Robot Dog за шкалами

Коефіцієнт градації	Результат оцінювання рівня технічної досконалості	За пропорційною шкалою		За шкалою "оцінка×вагомість"	
		коефіцієнт градації, $K_{РТД}^{пр}$	кількість зразків	коефіцієнт градації, $K_{РТД}^{ОВ}$	кількість зразків
0,88-0,99	відмінний	–	0	–	0
0,75-0,87	високий	0,865	1	–	0
0,62-0,74	добрий	–	0	0,641	1
0,45-0,61	середній	0,496	1	0,453	1
0,30-0,44	задовільний	0,396, 0,425, 0,400	4	0,306, 0,307, 0,357	3
< 0,29	незадовільний		0	–	0

Такий розподіл зразків крокуючих БпНК типу Robot Dog за градацією засвідчує, що зразки знаходяться на стадії початкових розробок, їх почали випускати порівняно недавно і вони мають великі перспективи вдосконалення. Також отримана неоднозначність оцінок показує, що на аналіз суттєво впливає призначення зразка – військові розробки значно впливають на економічну складову оцінювання, а цивільні – недостатньо задовольняють завдання військового призначення.

У подальшому доцільно розглянути оцінку технічної досконалості крокуючих БпНК типу Robot Dog залежно від завдань, що поставлені досліджуваним зразкам.

Висновки

1. Проведено аналіз сучасних зразків багатифункціональних біонічних крокуючих наземних платформ типу Robot Dog. Розглянуто їх функції і можливості, наведено завдання, які сьогодні виконуються крокуючими безпілотними наземними комплексами типу Robot Dog у збройних силах провідних країн світу. Надано основні тактико-технічні характеристики цих зразків.

2. Запропоновано методологічний апарат для комплексного оцінювання рівня технічної досконалості крокуючих БпНК типу Robot Dog

3. З метою висвітлення слабких і сильних сторін крокуючих БпНК типу Robot Dog проведено порівняльний аналіз вихідних даних ТТХ щодо рівнів технічної досконалості п'яти однотипних зразків крокуючих РБМП типу Robot Dog – BAD.2 (Великобританія), Unitree Go2 (Китай), Unitree Go2 Pro (Китай), Spot (США) та Ghost Vision 60 (США).

4. За результатами проведених розрахунків коефіцієнтів градації визначено, що два зразки мають вищі рівні технічної досконалості відносно інших:

за пропорційною шкалою оцінок: BAD.2 – "високий" та Ghost Vision 60 – "середній";

за шкалою "оцінка×вагомість": BAD.2 – "добрий" та Ghost Vision 60 – "середній".

5. Отримана неоднозначність оцінок показує, що зразки мають великі перспективи вдосконалення, оскільки знаходяться на стадії розробок і досліджень.

Список літератури

1. Сили оборони використовують на фронті понад 30 собак-роботів. *Bild.*, 2024 Серпня 2024 URL: <https://chasdiy.org/war/syly-oborony-vykorystovuiut-na-fronti-ponad-30-sobak-robotiv-bild.html> (дата звернення: 14.09.2024)

2. Natasha Anderson. British supplied robot dogs are being deployed with the Ukrainian forces to carry out spy missions and deliver medicine. *DailyMail*, 18 August 2024. URL: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-13754865/British-robot-dogs-deployed-Ukrainian-forces.html> (дата звернення: 15.09.2024)

3. Казан П.І., Корольова О.В. Визначення кращого мультикоптера для виконання завдань за рівнем технічної досконалості. XV МНПК «INTERNATIONAL SCIENTIFIC INNOVATIONS IN HUMAN LIFE», 1-3.09.2022. Манчестер. Великобританія. С. 88–93.

4. Зірка А.Л., Расстригин О.О., Сілков В. І. Методика оцінки технічної досконалості безпілотного літального апарата за його основними льотно-технічними характеристиками при проведенні льотних випробувань. *Озброєння та військова техніка*. № 3 (15). 2017. С. 40-44.

5. Русіло П.О., Костюк В.В., Варванець Ю.В., Калінін О.М., Шевцов М.М. Вибір рівня технічної досконалості і технічних характеристик перспективного зразка озброєння та військової техніки (на прикладі зразків броньованих ремонтно-евакуаційних машин). *Військово-технічний збірник*. № 16. 2017 С. 48-54. DOI: <http://doi.org/10.33577/2312-4458.16.2017.48-54>

6. Мавренков О.Є., Матвійчук С.В., Улізько В.І. Удосконалена методика розрахунку коефіцієнта військово-технічного рівня літального апарату. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2022. Вип. 18 (25). С. 47-52. DOI: <http://doi.org/10.54858/dndia.2022-18-7>

7. Ляшенко В.А., Кривцун В.І., Кузнецов В.О., Агеев О.В. Часткова методика порівняльного оцінювання рівня технічної досконалості зразків засобів (комплексів) розмінування. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ*. 2023. № 1 (15). С. 92-98. DOI: <http://doi.org/10.37701/dndivsovt.15.2023.13>

8. Arena P., Li Noce A., Patanè L. Stability and Safety Learning Methods for Legged Robots. *Robotics*, 2024. Is. 13, Vol. 17. 24 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics13010017> URL: <https://www.mdpi.com/journal/robotics> (дата звернення: 17.09.2024)

9. Kim Will Bosworth, Jonas Whitney, Sangbae Kim, and Neville Hogan. Robot locomotion on hard and soft ground: measuring stability and ground properties in-situ. *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Stockholm, Sweden, May 16-21, 2016. pp. 3582-3589. DOI: <http://doi.org/10.37701/dndivsovt.15.2023.13>

10. У Торецьку ЗСУ пустили в бій собак-роботів. URL: <https://uagolos.com/v-torecke-vsy-pustili-v-boi-sobak-robotov-video/> (дата звернення 15.09.2024)

11. Go2 Robot Dog Quadruped Robotics for Adults Embodied AI (Go2 Pro). Unitree. URL: <https://unitree.com.ua/ru/unitree-go2-pro/> (дата звернення: 15.09.2024)

12. Go2 Pro: A high-performance robot dog at an affordable price. *Generation Robots*. URL: <https://www.generationrobots.com/en/404129-go2-pro-robot-dog.html?srsltid=AfmBOoqdVAOTjX6K2RpY4ueOj6YwFn6OI8iYu3US8hh5hAPu5mpEBKR0> (дата звернення: 15.09.2024)

13. Резніков Міністр оборони оприлюднив відео робота-собаки, який допомагає розмінувати землі країни. *03 Травня 2023*. URL: <https://rubryka.com/2023/05/03/ministr-oborony-oprylyudnyv-video-robota-sobaky-yakuj-dopomagaє-rozminovuvaty-zemli-krayiny/> (дата звернення: 15.09.2024)

14. Spot - The Agile Mobile Robot. *Boston Dynamics*. URL: <https://bostondynamics.com/products/spot/> (дата звернення: 15.09.2024)

15. Робопес від Boston Dynamics допоможе Україні з розмінуванням. *Укрінформ*, 23.06.2022. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3513133-robopes-vid-boston-dynamics-dopomoze-ukraini-z-rozminuvannam.html> (дата звернення: 15.09.2024)

16. Робопес Boston Dynamics взяв участь у військових навчаннях французів. *Укрінформ*, 09.04.2021. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3224320-robopes-boston-dynamics-vzav-ucast-u-vijskovih-navcannah-francuziv.html> (дата звернення: 15.09.2024)

17. The Ghost Vision 60 Q-UGV. *Ghost Robotics*. URL: <https://www.ghostrobotics.io/vision-60> (дата звернення: 15.09.2024)

18. У Міноборони США тестують бойових робособак-снайперів зі штучним інтелектом. *The War Zone*, 11.05.24. URL: <https://tsn.ua/ru/svit/v-minoborony-ssha-testiruyut-boevyh-robosobak-snaiperov-s-iskusstvennym-intellektom-2576765.html> (дата звернення: 15.09.2024)

19. Роботизована платформа Vision 60 здатна виконувати різні задачі на полі боя та замінити людину не наражаючи її на небезпеку. *BuildingTech*, 25 вересня 2023. URL: https://building-tech.org/%D0%A1%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE/robotyzyrovannaya-platforma-vision-60-sposobna-vipolnyat-razlychnie-zadachy-na-pole-boya-y-zamenyat-cheloveka-ne-podvergaya-ego-opasnosty#google_vignette (дата звернення: 15.09.2024)

20. Robotics Vision 60. *Vecorobotics*. URL: <https://www.vecorobotics.com/en/ghost-robotics-vision-60-en/> (дата звернення: 15.09.2024)

21. Грабовецький Б.Є., Антонюк О.В. Ранжування показників фінансово-господарської діяльності підприємства для побудови комплексної стратегічної програми на основі методу експертних оцінок Делфі. *Економіка та держава*. № 9. 2010. С. 40-41.

22. Cordon A., Helmet O. Report on a Long Range Forecasting Study Rand Paper P-2982. Rand Corporation. Santa Monica, California. Sept. 2004.

Reference

1. (2024), "Syly oborony vykorystovuyut' na fronti ponad 30 sobak-robotiv" [Defense forces use more than 30 robot dogs at the front]. *Bild.*, August 2024. URL: <https://chasdiy.org/war/syly-oborony-vykorystovuiut-na-fronti-ponad-30-sobak-robotiv-bild.html> (Accessed 14 September 2024) [in Ukrainian]

2. Natasha Anderson. British supplied robot dogs are being deployed with the Ukrainian forces to carry out spy missions and deliver medicine. *DailyMail*, 18 August 2024. URL: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-13754865/British-robot-dogs-deployed-Ukrainian-forces.html> (Accessed 15 September 2024)

3. Kazan P.I. and Koroleva O.V. (2022), "Vyznachennya krashchoho mul'tykoptera dlya vykonannya zavdan' za rivnem tekhnichnoyi doskonalosti " [Determination of the best multicopter for performing tasks by level of technical excellence]. *XV MNPC "INTERNATIONAL SCIENTIFIC INNOVATIONS IN HUMAN LIFE"*, 1-3.09.2022. Manchester. Great Britain. pp. 88-93. [in Ukrainian]

4. Zirka A.L., Rasstrygin O.O. and Silkov V.I. (2017), "Metodyka otsinky tekhnichnoyi doskonalosti bezpilotnoho lital'noho aparata za yoho osnovnymy l'otno-tekhnichnymy kharakterystykamy pry provedenni l'otnykh vyprobuvan" [Methodology for assessing the technical perfection of an unmanned aerial vehicle based on its main flight and technical characteristics during flight tests]. *Weapons and Military Equipment*. № 3 (15). pp. 40-44. [in Ukrainian]

5. Rusilo P.O., Kostyuk V.V., Varvanets Yu.V., Kalinin O.M. and Shevtsov M.M. (2017), "Vybir rivnya tekhnichnoyi doskonalosti i tekhnichnykh kharakterystyk perspektyvnoho zrazka ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniky (na prykladi zrazkiv bron'ovanykh remontno-evakuatsiynykh mashyn)" [Selection of the level of technical perfection and technical characteristics of a prospective sample of weapons and military equipment (using the example of samples of armored repair and evacuation vehicles)]. *Military and technical collection*. № 16. pp. 48-54. DOI: <http://doi.org/10.33577/2312-4458.16.2017.48-54> [in Ukrainian]

6. Mavrenkov O.E., Matviychuk S.V. and Ulizko V.I. (2022), "Udoskonalena metodyka rozrakhunku koefitsiyenta viys'kovo-tekhnichnoho rivnya lital'noho aparatu" [Improved method of calculating the coefficient military-technical level of the aircraft]. *Collection of scientific works of the State*

Research Institute of Aviation. Issue. 18 (25). pp. 47-52. DOI: <http://doi.org/10.54858/dndia.2022-18-7> [in Ukrainian]

7. Lyashenko V.A., Kryvtun V.I., Kuznetsov V.O. and Ageev O.V. (2023), "Chastkova metodyka porivnyal'noho otsynivannya rivnyia tekhnichnoyi doskonalosti zrazkiv zasobiv (kompleksiv) rozminuvannya" [Partial method of comparative evaluation of the level of technical perfection of samples of demining means (complexes)]. *A collection of scientific works of the State Research Institute for Testing and Certification of Weapons and Military Equipment*. № 1 (15). C. 92–98. DOI: <http://doi.org/10.37701/dndivsovt.15.2023.13> [in Ukrainian]

8. Arena P., Li Noce A. and Patanè L. Stability and Safety Learning Methods for Legged Robots. *Robotics*, 2024. Is. 13, Vol. 17. 24 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics13010017> URL: <https://www.mdpi.com/journal/robotics> (Accessed 17 September 2024)

9. Kim Will Bosworth, Jonas Whitney, Sangbae Kim, and Neville Hogan. (2016), Robot locomotion on hard and soft ground: measuring stability and ground properties in-situ. *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. Stockholm, Sweden, May 16-21, 2016. pp. 3582-3589. DOI: <http://doi.org/10.37701/dndivsovt.15.2023.13>

10. (2024), "U Torets'ku ZSU pustylu v biy sobak-robotiv" [Robot dogs were put into battle in Toretsk by Armed Forces of Ukraine]. URL: <https://uagolos.com/v-torecke-vsy-pystili-v-boi-sobak-robotov-video/> (Accessed 15 September 2024) [in Ukrainian]

11. Go2 Robot Dog Quadruped Robotics for Adults Embodied AI (Go2 Pro). Unitree. URL: <https://unitree.com.ua/ru/unitree-go2-pro/> (Accessed 15 September 2024)

12. Go2 Pro: A high-performance robot dog at an affordable price. *Generation Robots*. URL: <https://www.generationrobots.com/en/404129-go2-pro-robot-dog.html?srsId=AfmBOoqdVAOTjX6K2RpY4ueOj6YwFn6Ol8IYu3US8hh5hAPu5mpEBKR0> (Accessed 15 September 2024)

13. (2023), "Reznikov Ministr oborony opryludnyv video robota-sobaky, yakyy dopomahaye rozminovuvaty zemli krayiny" [Reznikov, the Minister of Defense, released a video of a robot dog that helps demine the country's lands]. *03 May 2023*. URL: <https://rubryka.com/2023/05/03/ministr-oborony-opryludnyv-video-robota-sobaky-yakyy-dopomagaye-rozminovuvaty-zemli-krayiny/> (Accessed 15 September 2024) [in Ukrainian]

14. Spot - The Agile Mobile Robot. *Boston Dynamics*. URL: <https://bostondynamics.com/products/spot/> (Accessed 15 September 2024)

15. (2022), "Robopes vid Boston Dynamics dopomozhe Ukraini z rozminuvanniam" [Robopes from Boston

Dynamics will help Ukraine with demining]. *Ukrinform*, 23.06.2022. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3513133-robopes-vid-boston-dynamics-dopomozhe-ukraini-z-rozminuvanniam.html> (Accessed 15 September 2024) [in Ukrainian]

16. (2021), "Robopes Boston Dynamics vzyav uchast' u viys'kovykh navchannyakh frantsuziv" [The Boston Dynamics robot took part in French military exercises]. *Ukrinform*, 09.04.2021. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3224320-robopes-boston-dynamics-vzav-uchast-u-vijskovih-navcannah-francuziv.html> (Accessed 15 September 2024) [in Ukrainian]

17. The Ghost Vision 60 Q-UGV. *Ghost Robotics*. URL: <https://www.ghostrobotics.io/vision-60> (Accessed 15 September 2024)

18. (2024), "Minoborony SShA testuyut' boyovykh roboosobak-snayperiv zi shtuchnym intelektom" [The US Ministry of Defense is testing combat robot snipers with artificial intelligence]. *The War Zone*, 11.05.24. URL: <https://tsn.ua/ru/svit/v-minoborony-ssha-testiruyut-boevykh-robosobak-snayperov-s-iskusstvennym-intellektom-2576765.html> (Accessed 15 September 2024) [in Ukrainian]

19. (2023), "Robotyzovana platforma Vision 60 zdatna vykonuvaty rizni zadachi na poli boya ta zaminyaty lyudynu ne narazhayuchy yiyi na nebezpeku" [Vision 60 robotic platform is able to perform various tasks on the battlefield and replace a person without exposing him to danger]. *BuildingTech*, 25 September 2023. URL: https://buildingtech.org/%D0%A1%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE/robotyzyrovannaya-platforma-vision-60-sposobna-vipolnyat-razlychnie-zadachy-na-pole-boya-y-zamenyat-cheloveka-ne-podvergayaya-ego-opasnosty#google_vignette (Accessed 15 September 2024) [in Ukrainian]

20. Ghost Robotics Vision 60. *Vecorobotics*. URL: <https://www.vecorobotics.com/en/ghost-robotics-vision-60-en/> (Accessed 15 September 2024)

21. Hrabovetskyi B.E. and Antoniuk O.V. (2010), "Ranzhuvannya pokaznykiv finansovo-hospodars'koyi diyal'nosti pidpryyemstva dlya pobudovy kompleksnoyi stratehichnoyi prohramy na osnovi metodu ekspertnykh otsinok Delfi" [Ranking of indicators of the financial and economic activity of the enterprise for the construction of a comprehensive strategic program based on the method of Delphi expert assessments]. *Economy and the state*. № 9. pp. 40-41. [in Ukrainian]

22. (2004), Cordon A. and Helmet O. Report on a Long Range Forecasting Study Rand Paper P-2982. Rand Corporation. Santa Monica, California. Sept. 2004.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL PERFECTION LEVEL OF ROBOT DOG TYPE STRIDING UNMANNED GROUND COMPLEXES

O. Korolova, P. Kazan, I. Milkovych

Today, unmanned systems have become one of the key weapons in the war against Russia, new and different ways of using these systems are being introduced, and the search for new ways of using them continues. For example, the Armed Forces of Ukraine use walking unmanned ground complexes of the Robot Dog type due to the features of the design, as well as mass, dimensions and cargo capabilities. Complexes of the Robot Dog type are already used for humanitarian missions, for example, they are used for demining territories. They also perform security and surveillance functions, patrolling the territory; study of hard-to-reach places, monitoring and reconnaissance, data collection in dangerous or difficult conditions. Such complexes are used for the transportation of light cargo (medical equipment or necessary resources).

The article analyzes modern popular multifunctional biomorphic walking ground platforms - unmanned ground complexes of the Robot Dog type. Their functions and capabilities are considered, and the tasks performed today by walking unmanned ground systems of the Robot Dog type in the armed forces of the leading countries of the world are given. The main tactical and technical characteristics of these samples are provided.

The evaluation of the level of technical perfection by the proportional scale and the "rating-weight" scale of the five most common samples of walking unmanned ground complexes of the Robot Dog type was carried out, and the influence of negative indicators of the technical perfection of the sample on its comprehensive evaluation. The rating among the studied samples of the same type of walking unmanned ground complexes of the Robot Dog type was determined.

Keywords: unmanned ground complex, walking unmanned systems, Robot Dog, robot dogs, monitoring, reconnaissance, detection, means of situational awareness, level of technical excellence.

УДК 358.111, 621.317.7, 621.3.088.3 DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024.38-44>

Р.В. Кочан¹, В.І. Лозинський¹, К.І. Снітков²

¹ Національний університет «Львівська політехніка», Львів

² Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

Article history: Received 17 September 2024; Revised 271 September 2024;

Accepted 04 November 2024

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ КОРЕКЦІЇ МЕТОДИЧНОЇ ПОХИБКИ РОЗПОДІЛЕНОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗВУКОВОЇ АРТИЛЕРІЙСЬКОЇ РОЗВІДКИ НА БАЗІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

У цій статті автори розглядають актуальну проблему визначення ефективності методу корекції методичної похибки розподіленої автоматичної системи звукової артилерійської розвідки (ЗАР). Проведено порівняння інформації про відхилення значень методичної похибки, отриманих під час застосування згаданого методу від ідеальних, які було отримано за допомогою комп'ютерного моделювання. Результати порівняння показали суттєве відхилення значень у тих випадках, коли звукоприймач системи ЗАР розміщено близько до джерела звукового сигналу. Останнє може часто траплятися у системах ЗАР, побудованих на базі стільникового зв'язку. Автори здійснили аналіз наявної методики корекції методичної похибки отримання кута напрямку цілі. Для оцінки ефективності методу корекції для різних початкових даних використано «невиключену» похибку вимірювання кута напрямку цілі. Також наведено результати комп'ютерного моделювання, які обґрунтовують необхідність використання більш точних методів розрахунку згаданої похибки із використанням спеціалізованих обчислювальних засобів.

Ключові слова: звукова артилерійська розвідка (ЗАР), акустична база (АБ), стільниковий зв'язок, звукоприймач, кутові вимірювання.

Постановка проблеми

Результативність вогневого ураження артилерією зумовлена, насамперед, одержанням точних координат розміщення, розміром та характером цілей. Для вирішення цього завдання було запропоновано концепцію розподіленої автоматичної системи звукової артилерійської розвідки на базі стільникового зв'язку [1], а також проведено моделювання її функціонування. Суть цієї концепції полягає у створенні єдиної системи із множини автономних звукоприймачів та сервера з використанням безпроводних каналів зв'язку. Задача цієї системи – автоматичний збір, оброблення та передавання даних про оперативну обстановку в зоні функціонування звукоприймачів.

Застосування інфраструктури та засобів стільникового зв'язку та в якості бази для запропонованої системи дає такі переваги: можливість зміни мірила системи, низький час її розгортання, сумісність з наявним у ЗСУ обладнанням для управління артилерійським вогнем, зокрема системами керування військами «Кропива» [2], ArtOS [3], Оболонь-А [4].

Розповсюдженість стільникових засобів та високе покриття території держави мережами стільникового зв'язку різних операторів разом із автоматичним загальнодержавним роумінгом сприяє створенню системи з широким колом каналів, які перекриваються за радіусом дії, що гарантуватиме точність, надійність, а також стійкість системи.