

В. Я. Горбач, Т. П. Горбач, К. М. Білоус

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Активізація інтересу виробників до наземних роботизованих систем у військовій сфері ставить нові виклики перед науковцями провідних країн світу щодо їх розробки та вдосконалення. Отриманий досвід застосування цих систем озброєння під час виконання бойових (спеціальних) завдань у ході відбиття широкомасштабної агресії РФ свідчить про їх стрімкий розвиток, а також перехід російсько-української війни в цифровий вимір, де провідну роль в ураженні противника та виконанні бойових (спеціальних) завдань відведено різного роду безкіпажним системам. Значного розвитку набули безпілотні авіаційні комплекси (системи) для ведення повітряної розвідки та вогневого ураження противника. На сьогодні в підрозділах Збройних Сил України проходить апробацію низка наземних та надводних роботизованих систем.

У статті проаналізовано останні розробки наземних роботизованих систем, варіанти їх класифікації відповідно до масогабаритних характеристик, ступеня автономності, характеру завдань, що виконуються, переваги та недоліки використання різних типів шасі. Наведено порівняльні характеристики наземних роботизованих систем різних класів, розглянуто їх загальну будову та функціональну структуру. На основі проведеного аналізу застосування основних видів наземних роботизованих систем надано блок-схему, у якій розкривається проблематика досліджень у цій галузі.

Встановлено фактори, які безпосередньо впливають на ефективність наземних роботизованих систем. Сформовано перелік основних критеріїв, що формують оцінку їх ефективності. Запропонований перелік обґрунтовано на базі основних викликів, які виникли в процесі аналізу наземних роботизованих систем під час виконання бойових (спеціальних) завдань, та первинних технічних вимог, що висувуються до будь-якого військового зразка озброєння.

Ключові слова: наземні роботизовані системи; критерій ефективності; багатокритерійна задача.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Широкомасштабна агресія РФ характеризується значним зсувом способів та методів бойових дій у бік застосування систем озброєнь із автоматичним або напівавтоматичним управлінням. Одним із таких зразків на сьогодні є наземні роботизовані системи (НРС). Вони дозволяють зберігати життя та здоров'я військовослужбовців і при цьому ефективно виконувати покладені на них завдання.

Проте для якісного виконання завдань за призначенням необхідне дослідження питань щодо їх класифікації, експлуатаційних, технічних та тактичних можливостей. Постійне зростання їх кількості, виконання ними різнотипних функцій зумовлюють необхідність як підготовки фахівців у цьому напрямку, так і розроблення нових підходів застосування НРС у сучасному бою.

© В. Я. Горбач, Т. П. Горбач, К. М. Білоус, 2024

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Варіанти класифікації, аналіз можливостей НРС наведено в працях [1–4]. Проте в наш час немає єдиного чіткого підходу до питання класифікації цих зразків озброєння. У [5, 6, 8] описано особливості застосування НРС у питаннях відеоспостереження та переміщення. Їх будову досліджено в роботах [7, 9]. Однак не вироблено єдиного підходу до вибору (комплектування) НРС залежно від способу застосування.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є аналіз сучасних НРС, а також математична постановка завдання для перспективних досліджень.

Виклад основного матеріалу. Розробка НРС включає в себе транспортні засоби, якими можна керувати дистанційно або напівавтоматично. Якщо аналізувати наземний транспортний засіб (НТЗ), то мається на увазі засіб із системою дистанційного керування. Використовуючи термін “напівавтоматично”, слід зауважити, що він передбачає застосування елементів штучного інтелекту для виконання певних функцій, наприклад, ідентифікації об’єктів та розпізнавання елементів місцевості [1].

Незважаючи на підвищений інтерес до НРС, слід зауважити, що на сьогодні відсутні оперативно-технічні вимоги та технічні завдання для потенційних виробників в інтересах Міністерства оборони України. До найбільш важливих завдань цих систем для потреб Збройних Сил України належать: спостереження за полем бою; вогневе ураження противника; розвідка на тактичному рівні; дистанційне розмінування. Створення НРС спеціального призначення тісно пов’язане з необхідністю розробки їх складових з урахуванням можливої протидії противника (засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ), стрілецьке озброєння, засоби осліплення електронно-оптичних приладів тощо).

Попри зацікавленість світових виробників до цього виду озброєння, на цей час немає його універсальної класифікації. НРС можна поділити за характеристиками, розміром та вагою.

Відповідно до характеру завдань НРС розподіляють на три групи [1, 3]: бойові; для виконання спеціальних завдань; багатоцільові зразки з комплектацією залежно від типу модуля. Згідно з вимогами замовників до НРС виробники формують перелік функцій для забезпечення максимальної ефективності зразка. Функції цих систем у військовій та цивільній сферах наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Функції НРС у військовій та цивільній сферах

Військова функція	Військова та цивільна функції
Виявлення хімічних, біологічних, радіологічних і ядерних елементів зброї противника; автоматичне захоплення цілі; проведення ударних дій (за наявності зброї); платформа для надання бойової підтримки (наприклад, підвезення живлення безпілотних повітряних систем, боєкомплекту); виявлення та знешкодження мін (наприклад, розмінування, пошук і знищення саморобних вибухових пристроїв)	Логістика та матеріально-технічне забезпечення підрозділів; моніторинг, розвідка, спостереження за полем бою; пошук і порятунок поранених

З урахуванням умов виконання військових (спеціальних) завдань НРС можуть комплектуватися різними типами рушіїв, переваги та недоліки застосування яких наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Переваги та недоліки застосування різних типів рушіїв НРС

Тип рушія	Перевага	Недолік
Колеса	Найбільш енергоефективний механізм пересування; можуть нести значну вогневу міць	Менше підходять для бездоріжжя
Гусениці	Добре підходять для використання бездоріжжям; можуть нести значну вогневу міць	Шумні, використання споживає багато енергії; працюють на низьких швидкостях
“Ноги”	Можуть добре маневрувати на пересіченій місцевості; можуть нести лише малі типи зброї	Як правило, повільні, вимагають більше енергії, ніж колеса або гусениці, а також є механічно складними через їх потребу в рівновазі та стабільності
Колеса та “ноги”	Можуть охоплювати більш різноманітні типи місцевості та долати деякі перешкоди; зазвичай можуть нести лише малі типи зброї	Складність конструкції для використання засобів ураження

Основні тактико-технологічні характеристики закордонних НРС наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Основні тактико-технологічні характеристики закордонних НРС

Назва комплексу, країна- розробник	SMSS, Lockheed Martin, США	Protector, HDT Robotics, США	MAAD, Northrop Grumman, США	AvantGuard MK1, (G-NIUS), Ізраїль	«Платформа-М», рф
Основне призначення	Транспортний, бойовий	Інженерний, бойовий	Транспортний	Інженерний, бойовий	Бойовий
Спосіб управління шасі	Ручне з борту машини, дистанційне, напівавтономне	Дистанційне або автономне (слідування за лідером)	Дистанційне радіоканалом, автономне	Дистанційне, напівавтономне	Дистанційне
Шасі	6-колісне	Гусеничне	6-колісне	4-гусеничне всюдихід TAGS	Гусеничне
Вага, кг	1810	1400	1500	2834	800
Силова установка, потужність	Дизельна, 80 к.с.	Дизельна з турбонадувом	Гібридна	Турбодизель Kubota	Акумуляторні батареї
Вантажопідйомність, кг	450–680	340 та причіп до 227	340	1088	250
Швидкість руху, км/год	40	8	11,3	20	12
Запас ходу	80 км (160 км – по шосе)	100 км (72 год)	36 год	250 км	Не менше 10 год
Озброєння	ДКБМ з 12,7 мм кулемет, 40 мм гранатомет, ПУ ПТРК	ДКБМ колового оберту CROWS M-153 5,56 мм або 7,62 мм кулеметом	ДКБМ CROWS з 12,7 (7,62 мм) кулеметом, 40 мм гранатомет або 30 мм авт. гармата	ДКБМ з 12,7 мм кулеметом	ДКБМ з 7,62 мм кулеметом ПКТ або «Печенег» (400) та 3 РПГ-26
Спеціальне обладнання	Місця для перевезення військових, майна та боєприпасів	Мінний трал шириною 60 см, ківш для ескаваторних робіт або підйомник, а також ПУ БпЛА	Вантажна платформа	Засоби розвідки (тепловізор, радар, лазерний далекомір) та РЕБ, а також мінні трали та міношукачі	Прилади спостереження та прицілювання, РЛС, тепловізор, далекомір, мінний трал

Класифікацію НРС на основі відмінностей їх масогабаритних параметрів наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Масогабаритні параметри НРС

№ з/п	Умовна назва класифікаційної групи	Середній габарит, м	Маса, кг	Сфера застосування	Примітки
1	Nano (мініатюрні)	До 0,025	Менше 0,1	Спеціальні операції	Використовуються із застосуванням ройових технологій
2	Micro («кишенькові»)	0,025–0,1	До 1	Спостереження, розвідка, виконання спецоперацій, службові операції	Можливе застосування роїв, екстремальні завдання, медична служба
3	Mini (малі, «ручні») переносні	0,1–0,4	1–6	Індивідуальний розвідник короткого радіуса дії, обмежені бойові операції, розмінування	
4	Midi (середні, основні) переміщувані: - однією людиною - двома - чотирма	0,25–1,6	6–25 25–63 63–250	Розвідка, маніпулювання об'єктами, стрілецькі операції, розмінування, бойові операції	На цей час основний вид військових роботів, що мають маніпулятори та системи відеоспостереження і військові засоби
5	Maxi (великі) саморухомі	1,6–4,0	250–1000	Розвідка, бойові операції, транспортування	Мають обмежене застосування через складність та високу вартість
6	Mega (дуже великі)	4,0–10,0	1000–10000	Транспортування вантажів, бойові операції	
7	Giga (величезні, гігантські)	Більше 10	Більше 10000	Комплексні роботи, транспортування, розмінування	

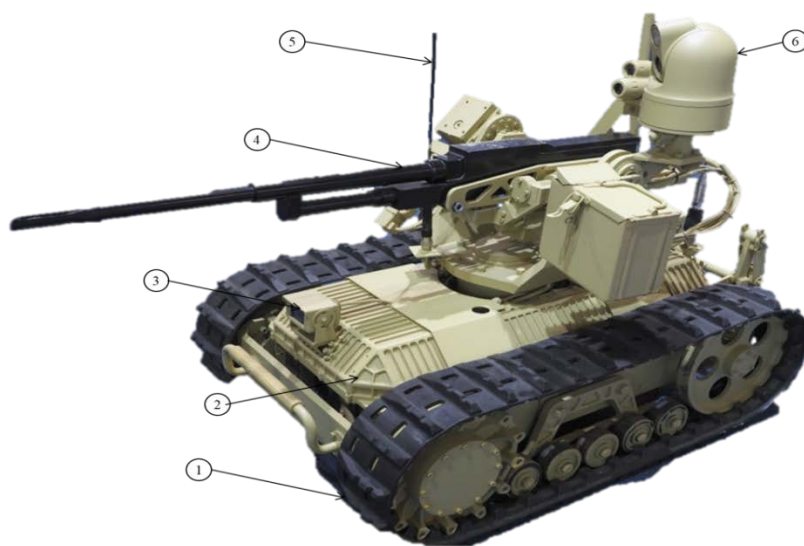


Рис. 1. Основні складові частини НРС:

1 – шасі; 2 – броньований корпус; 3 – системи колового огляду і технічного зору; 4 – спеціальне обладнання (турель); 5 – захищений блок управління з програмним забезпеченням; 6 – квантовий далекомір, відеокамери, активно-пасивний прилад нічного бачення

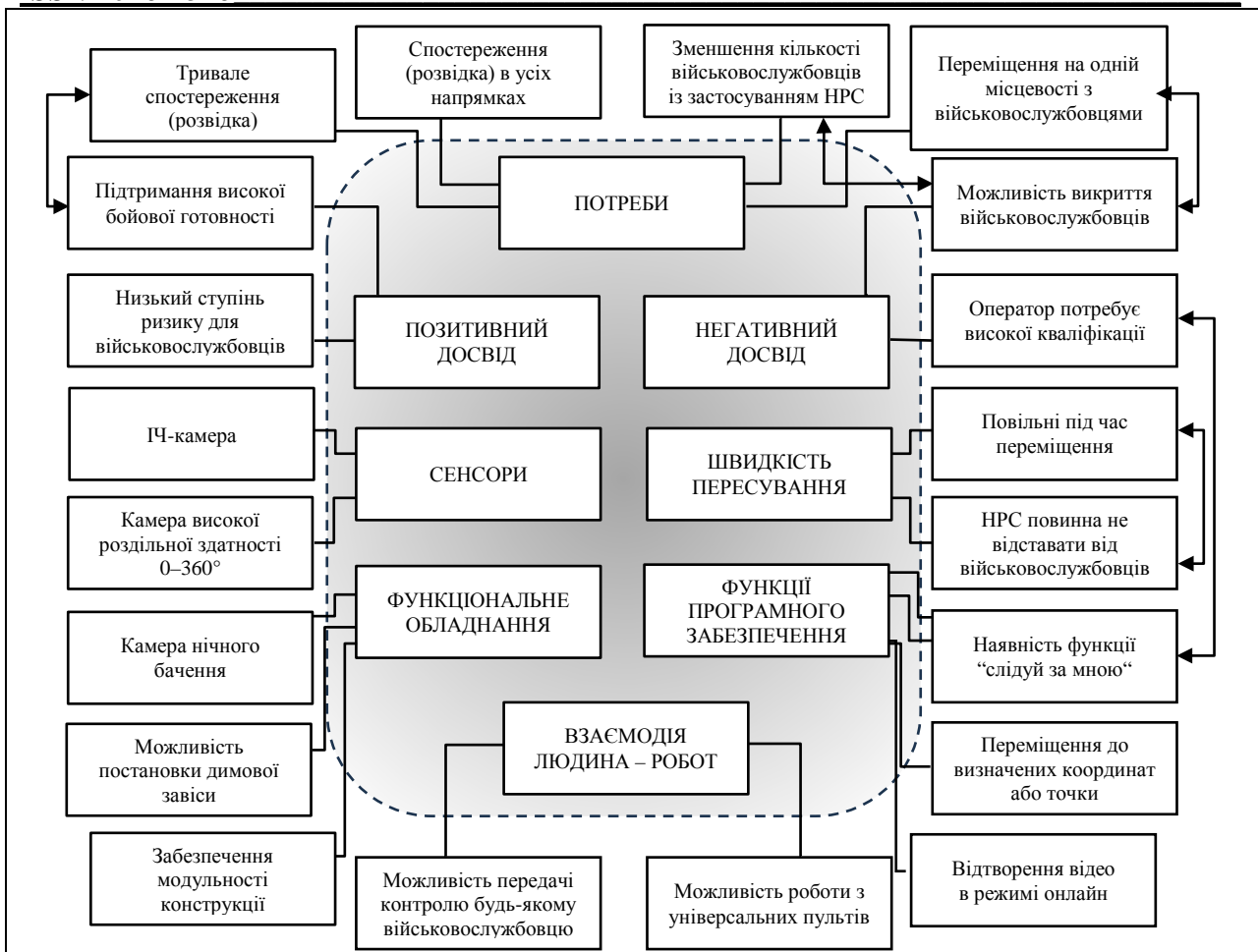


Рис. 2. Блок-схема проблематики досліджень НРС

На основі аналізу проблематики досліджень НРС (рис. 2), з урахуванням вимог до них, які ставлять перед розробниками, можна сформулювати перелік основних та часткових критеріїв для оптимального компонування комплексу. Отже, формалізуючи це завдання, необхідно визначити основні та часткові критерії, які впливають на ефективність застосування НРС, та ступінь їх впливу. Для спрощення пошуку оптимальної компоновки цих систем доцільно звести значення визначених критеріїв до безрозмірних величин та встановити ступінь важливості кожного з них через введення коефіцієнта пріоритету. Нижче на рис. 3 показано взаємозв'язок основних та часткових критеріїв ефективності комплектування НРС. Однак усі часткові критерії, які слід враховувати під час розробки таких систем, стануть відомими тільки після завершення дослідної експлуатації. Крім того, експерти в цій галузі можуть визначити вагові коефіцієнти кожного з них.

Проаналізувавши наявні НРС, які використовуються як провідними країнами, так і противником, можна формалізувати проблематику досліджень у цій галузі. Для їх проведення пропонуємо надати критерії ефективності комплектування НРС у математичному вигляді.

З урахуванням фізичної суті та напрямків екстремізації система критеріїв оцінювання ефективності комплектування складових НРС матиме такий вигляд:

$$\begin{cases} K_{sens} \rightarrow \max, \\ K_t \rightarrow \min, \\ K_{soft} \rightarrow \max, \\ K_{man} \rightarrow \max, \\ K_{cost} \rightarrow \min. \end{cases} \quad (1)$$

де K_{sens} – критерій ефективності сенсорів НРС;

K_t – критерій ефективності за часом;

K_{soft} – критерій ефективності спеціалізованого програмного забезпечення;

K_{cost} – критерій ринкової вартості.

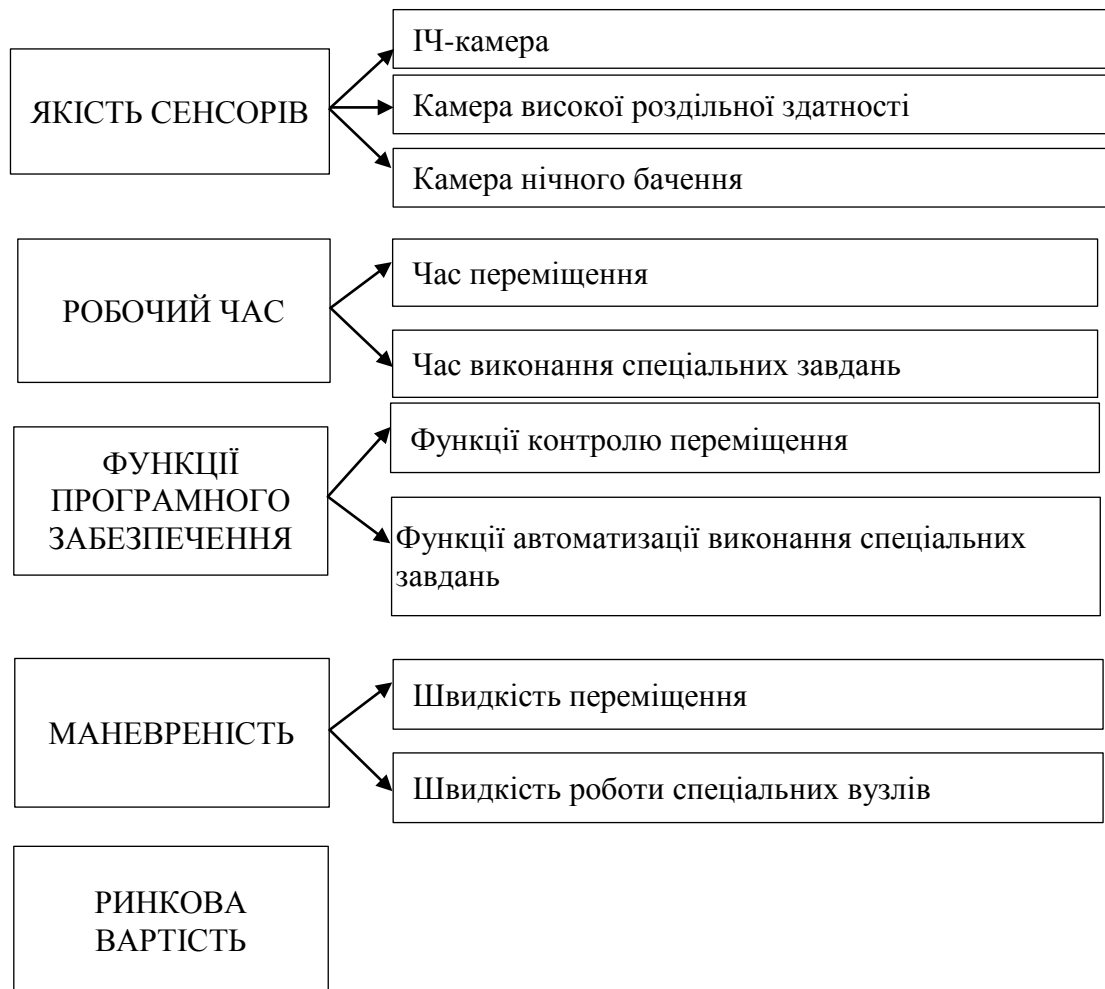


Рис. 3. Блок-схема функціональної залежності основних та часткових критеріїв ефективності комплектування НРС

Для проведення оцінювання доцільно ввести поняття узагальненого критерію ефективності, який буде функцією часткових критеріїв. У такому разі загальну ефективність комплектування складових НРС можна подати у вигляді функціональної залежності [10–12]:

$$K_i = f(k_1, k_2, \dots, k_w), \quad K_i \in \Omega, \quad n = \overline{[1, n]}, \quad (2)$$

де K_i – критерій ефективності комплектування, який може змінюватися в деякій області Ω ;

n – кількість основних критеріїв ефективності комплектування;

Ω – область можливих значень критеріїв ефективності НРС;

k_i – показник (параметр), який відображає вплив на поведінку критерію;

w – кількість показників (параметрів), які характеризують критерій ефективності компонування.

Формування функції ефективності $F(K_i)$ для альтернативи деякій області Ω відбувається за рахунок згортання векторного критерію F у скалярний за допомогою різного виду згортки [13, 14]:

адитивної

$$F(K_i) = \sum_{j=1}^w \lambda_j K_{ij} \quad \sum_{j=1}^w \lambda_j = 1, \quad (3)$$

де λ_j – ваговий коефіцієнт переваги критерію;

мультиплікативної

$$F(K_i) = \prod_{j=1}^w K_{ij}^{\lambda_j} \quad \sum_{j=1}^w \lambda_j = 1; \quad (4)$$

адитивно-мультиплікативної

$$F(K_i) = \sum_{j=1}^w \lambda_j K_{ij} + \prod_{j=1}^w K_{ij}^{\lambda_j} \quad \sum_{j=1}^w \lambda_j = 1, \quad (5)$$

а також похідних від цих згортки з урахуванням специфіки вирішуваних завдань.

Загальним недоліком таких методів згортки є, зокрема, те, що недостатнє значення одного критерію відносно іншого може бути компенсоване збільшенням значення іншого. Також є обмеження щодо їх односпрямованості. Застосування цих згортки не доцільне для пошуку оптимальних варіантів комплектування НРС, оскільки адитивну згортку не доцільно використовувати для визначення оптимумів взаємопов'язаних критеріїв. Мультиплікативна згортка має високу чутливість до зміни значень показників, тому незначна трансформація параметрів призводить до неадекватного результату узагальненого показника.

Підхід [14] базується на об'єднанні багатьох критеріїв якості системи в один, використовує нелінійну схему компромісів і дозволяє формально одержати оптимальне (щодо висунутих критеріїв) рішення. Порівняно з великою кількістю інших схем оптимізації, окрім загальних недоліків, він має такі переваги:

оптимізаційне завдання розв'язується за наявності обмежень, що в будь-якому разі гарантує отримання рішення;

метод забезпечує унімодальність результуючого функціонала;
невелика обчислювальна складність алгоритму пошуку рішення.

Тому для цього набору критеріїв доцільно застосувати згортку за нелінійною схемою компромісів [14]:

$$E(P_m) = \sum_{i=1}^w \lambda_i [1 - K_{0i}^n]^{-1} \sum_{j=1}^w \lambda_j = 1, \quad (6)$$

де $P_m = \{k_w\}_{i=1}^w$ – Ω -вимірний вектор критеріїв ефективності;

K_{0i}^n – нормований показник ефективності.

Висновки. Проаналізовано наявні та перспективні зразки НРС, виділено основні їх категорії залежно від виду спеціальних завдань у секторі оборони. Запропоновано реалізацію підходу до формування комплектування цих систем відповідно до дійсних потреб Сил оборони України. Розглянуто математичні методи для вирішення завдань щодо розроблення (оптимального вибору) елементів комплектування НРС. Отримані в результаті аналізу дані в подальшому можуть бути застосовані для розробки методів (методик) оцінювання вибору оптимального зразка за визначених умов та обмежень.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку полягають у розробленні методів (методик) оцінювання вибору оптимального зразка НРС із застосуванням методів векторної оптимізації.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Струтинський В. Б., Гуржій А. М. Наземні роботизовані комплекси : Монографія. Житомир : ПП «Рута», 2023. 524 с.
2. Liu O., Yuan S. and Li Z. A Survey on Sensor Technologies for Unmanned Ground Vehicles // 3rd International Conference on Unmanned Systems (ICUS). Harbin, China, 2020. P. 638–645. <https://doi.org/10.1109/ICUS50048.2020.9274845>
3. Noah Goodall. Non-Technological Challenges for the Remote Operation of Automated Vehicles // Transportation Research. Part A: Policy and Practice. 2020. Vol. 142. P. 14–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.024>
4. Luca Bruzzone et al. Functional Design of a Hybrid Leg-Wheel-Track Ground Mobile Robot // Machines. 2021. Vol. 9, № 10. P. 1–11. <http://dx.doi.org/10.3390/machines9010010>
5. Stephen W. Milley. Moving fast – Mobility Matters // In: Armada International. 2019. P. 8–11. ISSN: 0252-9793.
6. Cruz Ulloa C., Prieto Sánchez G., Barrientos A., & Del Cerro J. Autonomous Thermal Vision Robotic System for Victims Recognition in Search and Rescue Missions // In: Sensors. 2021. № 21. P. 7346. <https://doi.org/10.3390/s21217346>
7. Mobile-Based Structure Design of Wheeled Mobile Robot / Zirong Luo, Jianzhong Shang, Guowu Wei, Lei Ren // Mechanical Sciences. 2018. Vol. 9. P. 103–121. <http://dx.doi.org/10.5194/ms-9-103-2018>

8. Baoquan Li, Yongchun Fang, Guoqiang Hu, Xuebo Zhang. Model-Free Unified Tracking and Regulation Visual Servoing of Wheeled Mobile Robots // *Journal Sensors and Actuators A : Physical*. IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2016. Vol. 24, Iss. 4. P. 1328–1339.
9. Panagiotis Papadakis. Terrain Traversability Analysis Methods for Unmanned Ground Vehicles: A Survey // In: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2013. № 26 (4). P. 1373–1385. ISSN: 0952-1976. <https://doi.org/10.1016/j.engappai>
10. Горбач В. Я., Бондаренко Ю. Л. Удосконалена методика оцінювання ефективності плану маршруту польоту розвідувального БПЛА I класу // *Зб. наук. праць ХНУПС*. Харків : 2020. № 2 (64). С. 45–62.
11. Горбач В. Я., Бондаренко Ю. Л., Дупелич С. О. Удосконалена математична модель планування маршрутів польоту розвідувальних безпілотних літальних апаратів класу тактичні // *Вісник ЖДТУ*. Житомир : ЖДТУ, 2019. № 1 (83). С. 206–213. [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-206-213](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-206-213)
12. Methods of Planning the Flight Route for Class I Unmanned Aerial Vehicle of Special Purpose in a Given Area / V. Horbach, Y. Bondarenko, A. Pelts et al. // *Path of Science*. 2020. Vol. 6, No. 6. P. 1001–1010. <https://doi:10.22178/pos.59-2>
13. Воронин А. Н., Зиатдинов Ю. К., Куклинский М. В. Многокритериальные решения: модели и методы : монография. Киев : НАУ, 2011. 351 с.
14. Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи нечітко логічних і нейромережних моделей. Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. 375 с.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2024.

REFERENCES

1. Strutynskiy, V. B., & Hurzhii, A. M. (2023). *Nazemni robotyzovani kompleksi : Monohrafiia [Ground Robotic Complexes: Monograph.]*. Zhytomyr [in Ukrainian].
2. Liu, O., Yuan, S. & Li, Z. (2020). A Survey on Sensor Technologies for Unmanned Ground Vehicles. In *3rd International Conference on Unmanned Systems (ICUS)*. (pp. 638–645). Harbin, China. <https://doi.org/10.1109/ICUS50048.2020.9274845>
3. Noah Goodall. (2020). Non-Technological Challenges for the Remote Operation of Automated Vehicles. *Transportation Research. Part A: Policy and Practice*, Vol. 142, 14–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.024>
4. Luca Bruzzone et al. (2021). Functional Design of a Hybrid Leg-Wheel-Track Ground Mobile Robot. *Machines*, Vol. 9, № 10, 1–11. <http://dx.doi.org/10.3390/machines9010010>
5. Stephen, W. Milley. (2019). Moving fast – Mobility Matters. In: *Armada International*. (pp. 8–11). ISSN: 0252-9793.
6. Cruz Ulloa, C., Prieto Sánchez, G., Barrientos, A., & Del Cerro J. (2021). Autonomous Thermal Vision Robotic System for Victims Recognition in Search and Rescue Missions. In: *Sensors*, № 21, 7346. <https://doi.org/10.3390/s21217346>

7. Zirong Luo, Jianzhong Shang, Guowu Wei, & Lei Ren. (2018). Mobile-based structure design of wheeled mobile robot. *Mechanical Sciences*, Vol. 9, 103–121. <http://dx.doi.org/10.5194/ms-9-103-2018>
8. Baoquan Li, Yongchun Fang, Guoqiang Hu, Xuebo Zhang. (2016). Model-Free Unified Tracking and Regulation Visual Servoing of Wheeled Mobile Robots. *Journal Sensors and Actuators A : Physical. IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 24, Iss. 4, 1328–1339.
9. Panagiotis Papadakis. (2013). Terrain Traversability Analysis Methods for Unmanned Ground Vehicles: A Survey. In: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, № 26 (4), 1373–1385. ISSN: 0952-1976. <https://doi.org/10.1016/j.engappai>
10. Horbach, V. Ya., & Bondarenko, Yu. L. (2020). Udoskonalena metodyka otsiniuvannia efektyvnosti planu marshrutu polotu rozviduvalnoho BpLA I klasu [Improved Method of Evaluating the Effectiveness of the Flight Route Plan of the First-Class Reconnaissance UAV]. *Zb. nauk. prats KhNUPS [Collection. of science works of KhNAFU]*, № 2 (64), 45–62. Kharkiv [in Ukrainian].
11. Horbach, V. Ya., Bondarenko, Yu. L., & Dupelych, S. O. (2019). Udoskonalena matematychna model planuvannia marshrutiv polotu rozviduvalnykh bezpilotnykh litalnykh aparativ klasu taktychni [An Improved Mathematical Model for Planning the Flight Routes of Reconnaissance Unmanned Aerial Vehicles of the Tactical Class]. *Visnyk ZhDTU [The Journal of Zhytomyr State Technological University]*, № 1 (83), 206–213. Zhytomyr. [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-206-213](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-206-213) [in Ukrainian].
12. Horbach, V., Bondarenko, Yu., & Pelts, A. et al. (2020). Methods of Planning the Flight Route for Class I Unmanned Aerial Vehicle of Special Purpose in a Given Area. *Path of Science*, Vol. 6, № 6, 1001–1010. <https://doi:10.22178/pos.59-2>
13. Voronin, A. N., Ziatdinov, Iu. K., & Kuklinskii, M. V. (2011). *Mnogokriterial'nye resheniia: modeli i metody: monografiia [Multicriteria Solutions: Models and Methods: monograph.]*. Kyiv [in Russian].
14. Subbotin, S. O., Oliinyk, A. O., & Oliinyk, O. O. (2009). *Neiteratyvni, evoliutsiini ta multyahentni metody nechitko lohichnykh i neiromerezhnykh modelei [Non-Iterative, Evolutionary and Multi-Agent Methods of Fuzzy Logic and Neural Network Models]*. Zaporizhzhia [in Ukrainian].

V. Ya. Horbach, T. P. Horbach, K. M. Bilous

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF GROUND-BASED ROBOTIC SYSTEMS

The revival of manufacturers interest in ground-based robotic systems pose new challenges to scientists of the world's leading countries in terms of their development and improvement. Considerable experience was obtained in the use of ground-based robotic systems during the performance of combat (special) tasks in the course of repelling large-scale aggression of the Russian Federation. The rapid development of weapons system data is due, among other things, to the transition of the Russia-Ukraine war into the digital dimension, where the leading role in defeating the enemy and performing combat (special) tasks is assigned to various types of unmanned systems. Unmanned aircraft systems for aerial reconnaissance and FPV drones have

developed significantly. Currently, a number of ground-based and surface robotic systems are being tested in units of the Armed Forces of Ukraine.

This paper analyses the latest developments of ground-based robotic systems, options for their classification in accordance with mass-dimensional characteristics, the degree of autonomy, the nature of the tasks performed, the advantages and disadvantages of using different types of engines. Comparative characteristics of ground robotic systems of different classes, general and functional structures are given. Based on the analysis of the application of the main types of ground-based robotic systems, a block diagram which reveals the problems of research in this field was developed.

Factors that directly affect the overall effectiveness of ground-based robotic systems are given. A list of the main criteria forming a general assessment of the effectiveness of ground-based robotic systems has been created. This list is justified on the basis of the main challenges that arose during the analysis of ground-based robotic systems during the performance of combat (special) tasks and the primary technical requirements that are put forward for any military type of weaponry.

Keywords: *ground-based robotic systems; efficiency criterion; multi-criteria problem.*