

А. В. Головань
В. Г. Головань

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЗЕМНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Військова академія (м. Одеса)

Анотація

У тезах досліджено сучасні проблеми енергетичного забезпечення наземних робототехнічних комплексів (НРК) військового призначення в умовах високотехнологічних бойових дій. Встановлено визначальну роль автономності енергоживлення у забезпеченні мобільності, живучості та функціональної ефективності НРК. Проаналізовано електричні, гібридні та двигуни внутрішнього згоряння, а також перспективні рішення — паливні елементи, відновлювані джерела, бездротову передачу енергії та тезеринг. Визначено основні обмеження існуючих систем: недостатню енергомісткість, масогабаритні обмеження та демаскувальні фактори. Обґрунтовано доцільність впровадження комбінованих систем із рекуперацією енергії та інтелектуальним енергоменеджментом для підвищення автономності та ефективності НРК.

Ключові слова: наземні робототехнічні комплекси; енергетичне забезпечення; автономність; акумуляторні батареї; гібридні силові установки; паливні елементи; рекуперація енергії; енергозбереження; військова робототехніка; мобільні енергосистеми.

Abstract

The theses examine current challenges in the energy supply of military ground robotic systems (GRS) under conditions of high-technology warfare. The decisive role of energy autonomy in ensuring the mobility, survivability, and functional effectiveness of GRS has been established. Electric, hybrid, and internal combustion engines are analyzed, along with promising solutions such as fuel cells, renewable energy sources, wireless power transmission, and tethering. The main limitations of existing systems are identified, including insufficient energy capacity, weight and size constraints, and signature (detectability) factors. The feasibility of implementing combined systems with energy recuperation and intelligent energy management to enhance the autonomy and efficiency of GRS is substantiated.

Keywords: ground robotic systems; energy supply; autonomy; rechargeable batteries; hybrid power plants; fuel cells; energy recuperation; energy efficiency; military robotics; mobile power systems.

Вступ

Реалії сучасної російсько-української війни вказують на зсув традиційних форм ведення бойових дій у бік високотехнологічних. До їхніх характерних ознак можна віднести: застосування високоточної зброї, інформаційне протистояння, використання новітніх систем керування, спостереження, розвідки й контролю [1–3].

В військових операціях сучасності стабільне енергоживлення є критично важливим для функціонування всіх систем управління, зв'язку, розвідки, наведення, РЕБ тощо. Зі зростанням кількості електронних компонентів у складі озброєння та військової техніки (ОВТ) спостерігається зростання вимог до потужності польових енергосистем. Надзвичайно важливим є забезпечення живленням систем високоточної зброї, безпілотних комплексів та пунктів управління, оскільки вони часто працюють на значному віддаленні від традиційних джерел електроенергії.

Для НРК, які відіграють важливу роль в системі логістичного забезпечення військових підрозділів в умовах сучасних бойових дій, що характеризуються високою маневреністю, розподіленням розташуванням сил, застосуванням РЕБ та обмеженою логістичною підтримкою, джерело енергії стає вирішальним фактором для їх виживання та ефективності.

Результати дослідження

Залежно від призначення до НРК можуть застосовуватися різні вимоги, які задаються на етапі проектування. Наприклад, для транспортних НРК важливим показником є вантажопідйомність, а для

розвідувальних — висока скритність. Проте до всіх типів НРК ставляться досить жорсткі вимоги щодо автономності.

Під автономністю розуміється здатність НРК виконувати свої завдання за призначенням у визначених часових рамках, просторі, а також за змінних умов навколишнього середовища без необхідності взаємодії з іншими дружніми суб'єктами або суб'єктами вищого рівня ієрархії.

Система енергозабезпечення НРК є критичним компонентом, що визначає їхню автономність, мобільність та ефективність виконання завдань на полі бою за рахунок забезпечення стабільного і надійного енергопостачання без переривань та збоїв.

Залежно від призначення НРК, застосовуються різні системи енергозабезпечення, що забезпечують роботу приводів, датчиків, маніпуляторів тощо.

Система енергозабезпечення є невід'ємною частиною конструкції НРК та являє собою комплекс пристроїв для живлення його енергією. Основне завдання системи енергозабезпечення — забезпечення надійного та стабільного енергопостачання. При виборі системи енергозабезпечення наземних НРК необхідно враховувати такі фактори як потужність, крутий момент, вагу, розміри, час роботи, сміність, надійність, можливість оперативної заміни та довготривалу роботу в екстремальних умовах.

Питання енергозабезпечення НРК є актуальним. Вчені працюють над розробкою нових видів і використанням нетрадиційних джерел електроенергії, а також розробляють пристрої та алгоритми для оптимізації енергоспоживання. Крім того, проводяться дослідження з метою створення пристроїв, що дозволяють перетворювати механічну енергію в електричну з подальшим її накопиченням в акумуляторних системах.

Системи енергозабезпечення НРК поділяють за:

різними джерелами енергії;

автономністю, яка забезпечує роботу НРК тривалий час без потреби в підзарядці;

можливістю обслуговування в польових умовах;

спеціалізацією на виконання певних завдань, таких як логістика або бойова підтримка.

Основними типами систем енергозабезпечення НРК є електричні та гібридні системи. Як перспективні джерела енергозабезпечення розглядаються паливні елементи, альтернативні джерела енергії, бездротова передача енергії та кабельне живлення.

Електричні, або акумуляторні системи є найбільш поширеними завдяки низькому рівню шуму та теплового випромінювання. До їх числа належать:

літій-іонні акумулятори, які забезпечують оптимальне співвідношення енергоємності та ваги;

літій-залізо-фосфатні акумулятори, що відрізняються підвищеною безпекою та тривалістю служби в складних умовах;

літій-полімерні акумулятори, які є найпоширенішим джерелом для НРК, що забезпечує високу щільність енергії, необхідну для тривалої роботи без підзарядки.

Гібридні системи поєднують, як правило, двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) в якості генератора та акумулятори. Вони дозволяють значно збільшити запас ходу та вантажопідйомність, зберігаючи можливість безшумного пересування на короткі дистанції.

Водневі паливні елементи представляють собою перспективну технологію для тривалих місій, завдяки високій енергетичній щільності, відсутності викидів, безшумній роботі та здатності забезпечувати тривалу автономність.

Відновлювані джерела передбачають встановлення сонячних панелей на корпус НРК для підзарядки під час стаціонарного спостереження.

Бездротова передача енергії забезпечує можливість зарядки на спеціальних платформах без фізичного контакту за допомогою пасивних орбітальних ретрансляторів, що працюють у діапазоні НВЧ або за допомогою лазерів. У такому випадку виникає проблема досягнення високого коефіцієнту корисної дії й забезпечення екологічної безпеки, а також зниження рівня фонового мікрохвильового випромінювання за межами приймальної антени. Разом з тим існуючий рівень розвитку техніки не дозволяє будувати високоефективні системи бездротової передачі електричної енергії на великі відстані.

Кабельне живлення (технологія тезерингу) істотно обмежує застосування НРК через відносно невелику довжину кабелю (близько 100-200 м). Можливе застосування більше довгого кабелю, але, при цьому, необхідно враховувати той факт, що зі збільшенням його довжини росте опір і

ефективність передачі електроенергії знижується. Такий тип живлення може використовуватися для НРК, що потребують необмеженого часу роботи на одному місці.

Переваги автономних систем енергопостачання НРК перед кабельними очевидні, насамперед це незалежність від пункту керування, що забезпечує високу мобільність і захищеність самого пункту керування від засобів розвідки. У цілому автономні системи енергопостачання мають обмежений час роботи, більше складну конструкцію й збільшені показники щодо маси та габаритів. Порівняльний аналіз типів систем енергозабезпечення НРК наведено в табл.1.

Табл.1 Порівняльний аналіз типів систем енергозабезпечення НРК

Тип	Переваги	Недоліки	Місії
Електричний	Низький рівень шуму та теплової сигнатури	Обмежена дальність	Передній край
Гібридний	Значна автономність	Складність	Логістика 20–100 км
ДВЗ	Простота та швидкість заправки	Висока помітність	Тилові операції

Таким чином, на цей час ще не повністю вирішена проблема енергозабезпечення НРК, що працюють в автономному режимі. Найбільш перспективним напрямком для подальших розробок, на нашу думку, є системи енергозабезпечення, що реалізовані за принципами комбінованого застосування бортових джерел електроенергії, пристроїв рекуперації й програмних засобів та реалізують енергозберігаючі алгоритми.

Висновки

У сучасних бойових умовах енергозабезпечення НРК є одним із ключових факторів їх ефективності, автономності та живучості.

Найбільш поширеними залишаються електричні акумуляторні системи завдяки їх безшумності та низькій тепловій сигнатурі, проте їх автономність обмежена.

Гібридні системи забезпечують збільшення дальності та вантажопідйомності, однак характеризуються складністю конструкції та підвищеними ознаками, що демаскують.

Перспективними напрямками розвитку є застосування паливних елементів, систем рекуперації механічної енергії, інтеграція відновлюваних джерел живлення та впровадження енергозберігаючих алгоритмів управління.

Найбільш доцільним шляхом підвищення ефективності енергозабезпечення НРК є комбіноване використання різних типів джерел енергії з реалізацією програмних засобів інтелектуального енергоменеджменту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бернацький А. А. Основи робототехніки військового призначення: навч. посіб. — Київ : Видавництво Ліра-К, 2024. — 500 с.
2. Бондаренко П. В., Риженко Д. В. Перспективи застосування гібридних енергосистем у військовій сфері // Військово-технічний збірник НУОУ. — 2023. — Вип. 12. — С. 45–59.
3. Головань А.В., Головань В.Г., Гордішевський Л.Г. Проблеми електрозабезпечення військ у бойових умовах. — Актуальні проблеми бойового застосування, експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки (2025). Матеріали V Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції, 11 – 12 листопада 2025року: збірник наукових праць [Електронний ресурс]. — Вінниця: ВНТУ, 2025. — С.399–401.

Головань Артур Вячеславович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри ракетно-артилерійського озброєння Військової академії, м. Одеса, e-mail: dopler@ukr.net, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5650-2972>

Головань Вячеслав Григорович – канд. техн. наук, професор, професор кафедри ракетно-артилерійського озброєння, Військової академії, м. Одеса, e-mail: gvg55.gvg55@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4451-4703>
Військова академія, вул. Фонтанська дорога, 10, м. Одеса, 65009

Golovan Artur Vyacheslavovych - PhD, associate professor, associate professor of the Department of Missile and Artillery Weapons, Military Academy, Odesa, e-mail: dopler@ukr.net, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5650-2972>

Golovan Vyacheslav Hryhorovych - PhD, professor, professor of the Department of Missile and Artillery Weapons, Military Academy, Odesa, e-mail: gvg55.gvg55@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4451-4703>
Military Academy, str. Fontanska doroga, 10, m. Odesa, 65009