

УДК 629.01-519:621.391:656

Практичний досвід проектування виготовлення та впровадження модульної наземної безпілотної логістичної платформи BRO-L2

В.А. Пасічник¹, М.А. Дощенко^{1,2}, В.А. Гайдай²

1– КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

2– ТОВ “МР”, м. Київ, Україна

***Анотація:** Матеріал стосується проблематики проектування та застосування наземних безпілотних платформ. Наведено практичний приклад синтезу компоновки модульної наземної безпілотної логістичної платформи BRO-L2, призначеної для механізації робіт з транспортування небезпечних вантажів під час виконання завдань з гуманітарного розмінування. Описано вибір технічного рішення, проектування, виготовлення та випробування, що в сукупності підтвердило відповідність вимогам замовника. При синтезуванні конструкції застосовані методики прецедентності та експертних оцінок. За результатами випробувань запропоновані заходи для покращення експлуатаційних характеристик елементів і вузлів виробу для впровадження його в серійне виробництво.*

***Ключові слова:** робототехніка, безпілотні логістичні системи, наземні безпілотні системи, гуманітарне розмінування.*

Актуальність. Трендом останніх років є суттєве зростання попиту на логістичні рішення в несприятливих для перебування людини умовах, транспортування небезпечних вантажів тощо. Очевидно, що перспективи мають розвинені логістичні системи з параметрами, визначеними замовником. Роботизовані логістичні системи є важливою частиною інфраструктури Індустрії 4.0 на ряду з машинними обчисленнями, біотехнологіями, штучним інтелектом, адитивними технологіями відтворення машин, тому важливим є аналіз їх параметрів для забезпечення сумісності з цифровими технологіями, автоматизованими транспортними засобами та інфраструктурою Інтернету речей.

Поява і розвиток роботизованих безпілотних систем має свою історію [1]. Різні шляхи розвитку на різних етапах сьогодні призвели до появи наземних безпілотних систем (НБС) які визначаються як механізоване обладнання, що пересувається поверхнею землі і служить засобом транспортування корисного вантажу, але явно не має на борту людини. Важливими аспектами вихідних даних для проектування НБС є: середовище застосування (наприклад, небезпечні середовища, з вимогами по потужності та стійкості, в обмежених розмірах); вимоги до функціональності, продуктивності або вартості, заданій замовником; передбачувана робоча область системи (наприклад, закриті приміщення, відкритий простір, на дорогах, на пересіченій місцевості, дні водойм тощо); спосіб пересування транспортного засобу (наприклад, колеса, гусениці або ножна хода); використовуваним методам силового приводу, управління та навігації та ін.

Широкий спектр різного роду робіт [2] містить, зокрема, систематизацію кінематики робіт, динаміки, механізмів та актуаторів, управління рухом, контроль зусиль, архітектур систем та програмування, проектування та оцінку ефективності, модульні роботи, колісні платформи. Систематизує за застосуванням – промислові роботи, космічні, агро, будівельні, роботи для несприятливих середовищ, гірничодобувні, рятувальні, для охорони і відеоспостереження, медичні, господарські, реабілітаційні тренажери, роботи для змагань та випробувань.

Сучасний стан проблематики

Огляд роботизованих систем [3], призначених для розгортання в несприятливих для людини оточуючих середовищах охоплює поширені конфігурації, практики їх побудови та

апаратну реалізацію, надає інструмент для визначення сучасного рівня безпілотних наземних апаратів (UGV - *Unmanned Ground Vehicle*), а також надає пропозиції щодо для розробки системи UGV для допомоги в реагуванні у надзвичайних ситуаціях.

Повномасштабні війна рф проти України підштовхнула вітчизняних розробників до створення різноманітних НБС, серед яких, **TerMIT** (*Tracked Modular Infantry Transporter*, розробник і виробник –ФОП Дмитро Мамонов) [4], **BRO-L1** (розробник і виробник – BRO) [5], **RATEL H** (розробник і виробник – RATEL) [6], **TURAN** (розробник і виробник – TEMERLAND military solutions) [7] та ін. Ці та подібні рішення мають колісну ходу, або комбіновані гумово-металеві гусениці, допустиме корисне навантаження до 300 кг, запас ходу розрахований на 1 годину роботи в умовах екстремальної експлуатації та навантаження.

Вимоги для розробки

В розвиток подібних систем було прийняте рішення про проектування, виготовлення та впровадження в практичне застосування наземної безпілотної платформи з вхідними, що були сформовані спільно їх замовником – ТОВ «МР» та враховували інтересах Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Метою було визначено транспортування небезпечних вантажів під час проведення гуманітарного розмінування). Основні параметри розробки наведені у табл. 1.

Таблиця 1.

Основні параметри для проектування перспективної логістичної платформи

Параметр	Значення
Загальна маса платформи з вантажем, кг	до 1000
Максимальна вантажопідйомність, кг	350
Габаритні розміри (Д x Ш x В), мм	1500 x 1200 x 900
Радіус керування, м	10
Автономний час роботи, годин	5
Швидкість руху, км/год	5,0

Крім того були визначені додаткові технічні вимоги:

- наявність «тягового режиму» для вивільнення витяганням та кантування вантажу, що передбачає плавний початок руху і керування швидкістю в діапазоні від 0 до 2 км/год;
- оснащення кузовом з відкидними бортами та герметичним для розміщення постілі з піщаної суміші днищем з можливістю наповнення на висоту 50 мм;
- наявність амортизації шасі для уникнення детонації вантажу під час руху;
- блочно-модульна конструкція з високою ремонтпридатністю в польових умовах.

Для досягнення максимальної повторюваності та можливості подальшого масштабування конструкція має спиратись на використання обладнання, наявного в компанії-виробнику, що мінімізує ручну працю із забезпеченням якості та необхідної продуктивності, а саме, використання верстатів з ЧПК (токарного SMEC SM2000 та вертикально-фрезерного HAAS VF-2), обладнання для лазерного розкрою листового матеріалу на верстаті Trumpf TC 3030, гнуття заготовок на гідравлічному пресі Trumpf 3120, напівавтоматичного зварювання у середовищі захисного газу, фінальне оздоблення і захисне покриття – методом сухого електростатичного фарбування.

Синтез конструкції. На основі проведеного аналізу було здійснено синтез модульної наземної безпілотної логістичної платформи BRO-L2 (рис. 1), яка складається з чотирьох модулів: 2-х уніфікованих (лівий та правий) приводних модулів на гусеничному ході;

платформи, яка виконує функцію з'єднання приводних модулів, та сприйняття навантаження; кузову для розміщення і утримання під час руху вантажу. Платформу можна легко та швидко конфігурувати під широкий спектр завдань замовника, змінювати параметри (ширина колії, висота кліренсу тощо), встановлювати різноманітні функціональні робочі органи та варіації їх виконання: (кузов суцільнометалевий або сітчастий, ноші, маніпулятор, турелі та ін.).

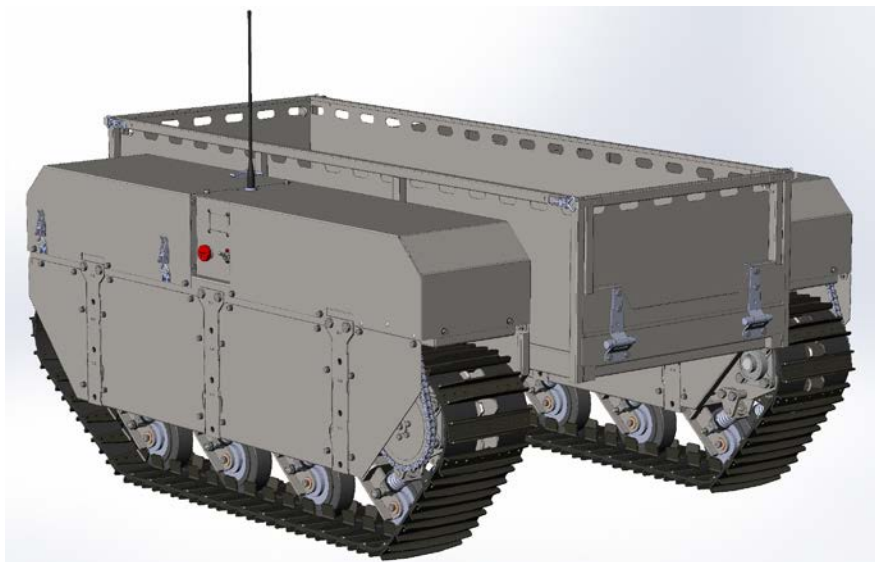


Рис. 1. Проект моделі наземної логістичної платформи BRO L2

Уніфікація лівого та правого гусеничних модулів, у яких відмінність полягає лише в наявності електронного блоку управління приводом. Це рішення дозволяє полегшити проведення ремонту в польових умовах, наприклад, якщо у двох однакових платформ зламається по одному модулю, то з них можна скласти одну роботоздатну платформу і продовжити виконання поставленої задачі.

Привідні модулі. Використання приводних модулів на гусеничному ході визначено виходячи з умов підвищення прохідності, якої можна досягти шляхом зменшення тиску на ґрунт. Серед місцевих виробників не було знайдено гусеницю, яка б повністю відповідала вимогам, тому було прийнято рішення використати в якості гусениці гумове полотно армоване скловолокном. В якості ґрунтозацепів використовуємо гнучий швелер з конструкційної вуглецевої сталі. В якості упорів визначені пластини у формі «качина лапка». Трапецієподібна геометрія гусениці з дворівневим розташуванням котків дозволяє краще проїжджати нерівності та перешкоди, наприклад, рухатись по пологих сходах, виїжджати на тротуари та ін. На нижньому рівні розташовано чотири опорні катки. На верхньому рівні спереду розташовано натяжний коток з гвинтовим натяжним механізмом. Позаду розташована привідна зірка, виконана з конструкційної вуглецевої сталі. Між натяжним котком та привідною зіркою розміщено підтримуючі катки, які відключають провисання гусениці. В якості котків використано алюмінієві промислові колеса з контактним шаром високоякісного поліуретану, що розташовуємо по середині ширини гусениці. Опорні катки до рами змонтовано через важіль із амортизатором, що допомагатиме компенсувати нерівності поверхні при русі та знизить рівень вібрації вантажу. Вимоги щодо габаритів та параметрів амортизатора зумовили необхідність спроектувати амортизатор власної конструкції.

Через крок гусениці, радіус привідної зірки та необхідну максимальну швидкість, розраховано необхідну частоту обертання привідної зірки, на основі якої та частоти обертання приводного двигуна було визначено передатне відношення від двигуна до привідної зірки.

Крутний момент електродвигуна визначався для умов прямолінійного руху платформи під кутом 40° до горизонту при максимальному завантаженні платформи та з урахуванням коефіцієнту спротиву сухого ґрунту. В розрахунках враховано значення крутного моменту електродвигуна при розвороті платформи з вантажем на місці, оскільки такий рух в порівнянні з прямолінійним рухом вимагає більшого крутного моменту. Двигун обрано із коефіцієнтом запасу 1,2 стосовно крутного моменту.

В якості трансмісії обрано ланцюгову передачу. Розрахунки виявили необхідність забезпечити передатне відношення в межах 15-16, для реалізації якого використано триступеневу ланцюгову передачу.

Згідно із концепцією та проектом було виготовлено дослідний зразок наземної логістичної платформи BRO L2 (рис. 2).



Рис. 2. Наземна логістична платформа BRO L2

Випробування

Комплексні випробування платформи проводились у кілька етапів.

Перший етап випробувань передбачав випробування платформи на стенді не торкаючись гусеницями поверхні. Платформа повністю пройшла даний етап. Під час цього етапу здійснено додаткове налаштували системи керування платформою.

Другий етап передбачав випробування руху платформи без вантажу по різноманітній місцевості. Платформа повністю пройшла даний етап випробувань, підтвердила досягнення параметрів максимальної швидкості та високої прохідності.

На третьому етапі здійснено випробування платформу із максимальним навантаженням у різних середовищах: на асфальті, на піщаному ґрунті, в чагарниках та ін. За результатами випробувань платформа підтверджено досягнення всіх основних та додаткових вимог. В розвиток конструкції були прийняті рішення:

1) Через те, що під час випробувань ґрунтозачепа деформувались та стирались, упори для базування гнулись і гусениця періодично злітати при потраплянні сторонніх предметів рекомендовано замінити на повністю готову гумову із металевими закладними;

2) Оскільки при наїзді не всією шириною гусениці на перешкоди, гусениця перекошувалась та злітала з котків, рекомендовано використати подвійний коток, де зачеп гусениці знаходиться посередині;

3) Оскільки промислові колеса мали недопустимий знос після випробувань рекомендовано використати зварні котки з конструкційної вуглецевої сталі;

4) Для розподілення навантаження, що діє на вал привідної зірки рекомендовано використати додатковий ланцюг для передачі крутного моменту на привідну зірку;

5) Оскільки деяких деталей, що працюють у ланцюговому приводі мали деформації та ознаки зношування, рекомендовано збільшити поперечний переріз та сформулювати вимоги до термічного оброблення.

Список літератури

1. Douglas W. Gage "A brief history of unmanned Ground vehicle (UGV) development efforts," 1997.
2. B. Siciliano and O. Khatib, *Springer Handbook of Robotics*. Springer Science & Business Media, 2008
3. C. Dinelli *et al.*, "Configurations and Applications of Multi-Agent Hybrid Drone/Unmanned Ground Vehicle for Underground Environments: A review," *Drones*, vol. 7, no. 2, p. 136, Feb. 2023
4. Міністерство цифрової трансформації України, "Розробки, що змінюють хід війни: TerMIT | Warchangers. Brave1 | Наземні роботизовані комплекси," *YouTube*. Sep. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=0JuJowUthQg>
5. BRO, "BRO L1," *Гусеничні роботизовані платформи*, Mar. 29, 2024. <https://bro.in.ua>
6. "Ratel H | Роботизований логіст-евакуатор," Nov. 02, 2024. <https://robots.com.ua>
7. Temerland, "Безпілотна платформа для логістики ТУРАН | Безпілотні Наземні Комплекси, Dec. 09, 2021. <https://temerland.com>

Practical experience in the design, manufacturing, and applying of the modular unmanned ground logistics vehicle BRO-L2

Vitalii Pasichnyk, Maksym Doshchenko, Volodymyr Haidai

Abstract: *The material addresses the issues of designing and applying unmanned ground vehicles. A practical example of synthesizing the layout of the modular ground unmanned logistics platform BRO-L2, intended for mechanizing the transportation of hazardous cargo during humanitarian demining operations, is presented. The choice of technical solutions, design, manufacturing, and testing is described, collectively confirming compliance with the customer's requirements. The design synthesis employed precedent and expert evaluation methodologies. Based on the test results, measures are proposed to improve the operational characteristics of the product's elements and assemblies for its implementation in mass production.*

Keywords: *robotics, unmanned logistics systems, unmanned ground vehicle, evacuation drone, humanitarian demining.*