

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Червоток Олександр Богданович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування системи автоматизованої самохідної платформи для
контролю повітряних ЛЕП
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Червоток Олександр Богданович

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Цивенкова Н.М.

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Червоток О.Б. Обґрунтування системи автоматизованої самохідної платформи для контролю повітряних ЛЕП. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Наземні самохідні платформи стають важливим елементом логістичних систем у надзвичайних ситуаціях, таких як бойові дії, природні катастрофи та гуманітарні кризи. Їх застосування забезпечує швидку доставку вантажів, підвищує безпеку та ефективність операцій. У роботі розглянуто технічні характеристики сучасних НРК, їхні можливості інтеграції транспортних, складських та інформаційних функцій. Проаналізовано перспективи вдосконалення платформ шляхом використання гібридних шасі, модульних рішень та систем штучного інтелекту.

Ключові слова: НРК, логістика, роботизовані, логістичні, автоматизація

ABSTRACT

Chervotok O.B. Justification of the automated self-propelled platform system for monitoring overhead power lines. Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics – Polissia National University, Zhytomyr, 2025

Ground-based autonomous platforms are becoming an important element of logistics systems in emergency situations such as military operations, natural disasters, and humanitarian crises. Their deployment ensures rapid cargo delivery, enhances safety, and increases operational efficiency. This work examines the technical characteristics of modern GAPs and their ability to integrate transport, warehousing, and information functions. It also analyzes prospects for platform improvement through the use of hybrid chassis, modular solutions, and artificial intelligence systems.

Key words: UGV, logistics, robotic, automation

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО НАЗЕМНІ САМОХІДНІ ПЛАТФОРМИ	6
1.1 Поняття та класифікація автоматизованих самохідних платформ	6
1.2 Типи автоматизованих самохідних платформ	7
Висновки по першому розділу	9
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ САМОХІДНОЇ ПЛАТФОРМИ	10
2.1 Принципи побудови автоматизованої самохідної установки	10
2.2 Вимоги до автоматизованих самохідних платформ у надзвичайних ризикових ситуаціях	13
2.3 Приклади реалізації вимог до автоматизованих самохідних установок	16
Висновки по другому розділу	
РОЗДІЛ 3 ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ НАЗЕМНИХ ЛОГІСТИЧНИХ ПЛАТФОРМ	
3.1 Пропозиції щодо вдосконалення наземних логістичних платформ	
3.2 Технічні рішення по удосконаленню наземних логістичних платформ	
Висновки по третьому розділу	
ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

ВСТУП

Сучасні економічні процеси характеризуються високою динамікою розвитку, значною мірою зумовленою ефективністю транспортно-логістичних систем. У цьому аспекті наземні логістичні платформи відіграють ключову роль, сприяючи інтеграції транспортних потоків, оптимізації ланцюгів постачання та підвищенню конкурентоспроможності економік різних країн. Актуальність дослідження цієї теми обумовлена зростаючою необхідністю вдосконалення логістичної інфраструктури, особливо в умовах глобалізаційних змін, процесів урбанізації, переходу до концепції сталого розвитку, а також специфічних викликів, пов'язаних із забезпеченням логістики в умовах воєнного часу. В Україні, де транспортна система має значний потенціал, але стикається з низкою викликів, таких як застаріла інфраструктура, дефіцит фінансування, проблеми управління та необхідність оперативного постачання на фронт, розвиток наземних логістичних платформ набуває особливої важливості.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є аналіз особливостей функціонування наземних логістичних платформ, оцінка їхнього сучасного стану та розробка рекомендацій для підвищення їхньої ефективності в Україні, з урахуванням потреб цивільного сектору та військової логістики.

Досягнення поставленої мети передбачає *вирішення таких завдань*:

- дослідити теоретичні основи організації та функціонування наземних логістичних платформ, включаючи їх адаптацію до спеціальних умов;
- провести аналіз поточного стану та основних проблем розвитку логістичних платформ в Україні та у світі.
- сформулювати загальні рекомендації щодо оптимізації для комерційних, державних та комерційних цілей.
- розробка конкретні пропозиції для вдосконалення обраного об'єкта дослідження, враховуючи потреби фронту;

Об'єктом дослідження є наземні логістичні платформи як складова транспортно-логістичної інфраструктури.

Предметом дослідження виступають процеси організації, функціонування та вдосконалення цих платформ із урахуванням сучасних економічних, технологічних, екологічних і спеціальних.

Для досягнення поставлених цілей у роботі використано комплекс дослідницьких методів, зокрема: аналіз теоретичних основ, порівняльний аналіз для оцінки міжнародного досвіду, включно з логістикою в складних умовах, метод синтезу для розробки рекомендацій, а також методи оцінки ефективності запропонованих рішень.

Практичне значення дослідження полягає в тому, що розроблені рекомендації можуть бути використані підприємствами логістичної сфери, органами державного управління та місцевого самоврядування для покращення роботи наземних логістичних платформ в Україні.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Червоток О. Б. ОБҐРУНТУВАННЯ СФЕР ВИКОРИСТАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ РОБОТІВ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2.

Червоток О. Б. ВИКОРИСТАННЯ РОБОТІВ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СТАНОМ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ (ЛЕП): АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕННЯ

Наукові читання – 2025: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025.

РОЗДІЛ 1.

ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО НАЗЕМНІ САМОХІДНІ ПЛАТФОРМИ

1.1. Поняття та класифікація автоматизованих самохідних платформ

Важливо розуміти, що наземний роботизований комплекс (НРК), та автоматизована самохідна платформа (АСП) це одне і те ж, але НРК використовується частіше в контексті військового не лише цивільного, а АСП в контексті цивільного логістичного.



Рисунок. 1.1. Роботизований комплекс Cobham TeleMAX EOD/IEDD

Наземна логістична платформа— це автономний або дистанційно керований транспортний засіб, призначений для перевезення вантажів (боєприпасів, медикаментів, продовольства, обладнання тощо) без участі людини-водія. Такі платформи використовуються як у цивільній логістиці (доставка товарів, гуманітарна допомога), так і у військовій сфері (постачання на фронт, евакуація поранених, транспортування в зонах бойових дій)[14].

Основні переваги:

- Робота в небезпечних або важкодоступних зонах (мінні поля, зони обстрілу).

- Зниження ризиків для людського життя.
- Автоматизація логістичних процесів, економія часу та ресурсів.
- Можливість цілодобової роботи.

Застосування наземних логістичних дронів охоплює як військову, так і цивільну сфери. У військовій сфері вони використовуються для доставки боєприпасів, медикаментів і їжі на передову, евакуації поранених та проведення розвідки. У цивільній сфері ці дрони забезпечують доставку посилок і перевезення вантажів у віддалені райони, сприяючи ефективності логістичних операцій.

1.2 Типи автоматизованих самохідних платформ

Автоматизовані самохідні платформи поділяються на тини:

1. За вантажопідйомністю:
 - Легкі (до 50 кг): для доставки медикаментів, дрібного обладнання, пошти.
 - Середні (50–500 кг): для перевезення боєприпасів, продовольства, гуманітарних вантажів.
 - Важкі (понад 500 кг): для транспортування техніки, великих контейнерів, евакуації поранених.
2. За типом управління:
 - Автономні: рухаються за заданими маршрутами за допомогою GPS і сенсорів, використовуючи штучний інтелект.
 - Дистанційно керовані: оператор керує дроном через пульт або захищений зв'язок.
 - Гібридні: поєднують автономний рух із можливістю ручного втручання.
3. За призначенням:
 - Спеціальні: оптимізовані для фронту (наприклад, український дрон "Медоїд" для евакуації поранених або доставки боєприпасів).

- Цивільні: для комерційної доставки (наприклад, Amazon Scout) або гуманітарних місій.
- Універсальні: можуть адаптуватися до обох сфер (наприклад, перевезення медичних вантажів у мирний час і на війні).



Рисунок.1.2 Твердотільна модель наземного роботизованого комплексу у вигляді мобільної транспортної платформи оснащеної комплектним маніпулятором важільного типу

За типом шасі:

- Колісні: для рівних поверхонь, швидкі та енергоефективні.
- Гусеничні: для бездоріжжя, боліт, снігу.
- Гібридні: комбінують колеса та гусениці для універсальності.

Приклади використання

Спеціальні:

- Український дрон "Медоїд": перевозить до 300 кг, використовується для доставки боєприпасів і евакуації поранених на фронті.
- Американський TUGS (Squad Mission Support System): підтримує піхоту, доставляючи спорядження в гарячих точках.

Комерційні:

- Starship Robots: доставка їжі та дрібних вантажів у містах.
- Nuro: автономний дрон для доставки продуктів у США.

Висновки по першому розділу

Отже, можна прийти до висновку що існують різні АСП, і завжди підбираються під конкретний випадок. Кожне завдання висуває свої вимоги які потрібно аналізувати і підбирати платформу вже під це.

Розробка та класифікація наземних роботизованих комплексів (НРК) є важливим етапом у створенні ефективних систем для виконання спеціалізованих завдань, таких як контроль повітряних ліній електропередач. Аналіз інформаційних джерел показав, що сучасні НРК характеризуються високим рівнем автоматизації, модульною архітектурою та здатністю адаптуватися до складних умов експлуатації. Визначено, що основними типами наземних роботизованих платформ є колісні, гусеничні та гібридні системи, кожна з яких має свої переваги залежно від специфіки завдання. Для НРК, призначених для роботи з ЛЕП, ключовими вимогами є автономність, точність навігації та стійкість до електромагнітних перешкод, що забезпечується інтеграцією сенсорних систем, надійного живлення та ефективного програмного забезпечення. Таким чином, розробка НРК для контролю ЛЕП потребує комплексного підходу, що поєднує апаратні та програмні рішення для забезпечення безпеки, ефективності та довговічності системи.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ САМОХІДНОЇ ПЛАТФОРМИ

2.1 Принципи будови автоматизованої самохідної установки

Будова наземного дрона залежить від його призначення, але загалом включає такі компоненти:

Шасі та рухова система:

- Колеса (4–6 для маневреності) або гусениці (для пересіченої місцевості).
- Електродвигуни або гібридні двигуни (для важких вантажів).
- Амортизаційна система для подолання нерівностей.

Вантажний відсік:

- Закритий контейнер або відкрита платформа для вантажів.
- Модульна конструкція (для перевезення різних типів вантажів: ящики, медичне обладнання, носилки).
- Системи фіксації вантажу для безпеки під час руху.

Корпус:

- Легкі, але міцні матеріали (алюміній, композитні матеріали).
- У військових НРК: броньований захист від куль, уламків чи дрібних вибухів.
- Водонепроникність для роботи в дощ чи болото.

Енергетична система:

- Акумулятори (літій-іонні або літій-полімерні) для електродвигунів.
- Сонячні панелі (у деяких цивільних моделях для подовження автономності).
- У воєнних умовах: можливість швидкої заміни батарей або підзарядки від генераторів.

Електронна частина (детальніше нижче):

- Система управління, сенсори, камери, зв'язок.

Додаткові елементи:

- Системи охолодження для електроніки.

– Механізми самодіагностики для виявлення поломок.

У військових моделях: системи маскування

Електронна частина наземного логістичного дрона

Електронна система – це "мозок" НРК, який забезпечує його автономність, безпеку та ефективність. Основні компоненти:

1. Система управління:

- Центральний процесор: обробляє дані від сенсорів, приймає рішення (наприклад, NVIDIA Jetson для цивільних дронів або спеціалізовані чипи у військових).

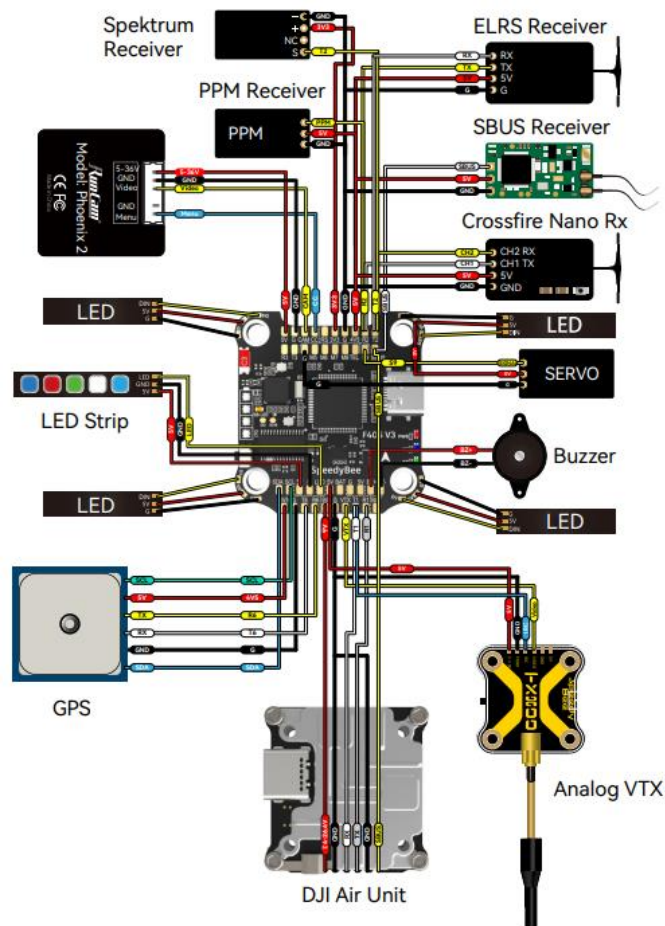


Рисунок.1.3 Польотний контролер SpeedyBee F405 V3

- Польотний контролер в простих НРК.
- Програмне забезпечення: алгоритми штучного інтелекту для планування маршрутів, уникнення перешкод, оптимізації енергоспоживання.

- У асп спеціального призначення : захищені ОС для стійкості до кібератак.

2. Сенсори:

- Лідари: створюють 3D-карту місцевості для навігації.
- Камери: денні, нічні (з інфрачервоним баченням для роботи в темряві), тепловізори (у військових моделях).
- Ультразвукові датчики: для виявлення дрібних перешкод.
- Гіроскопи та акселерометри: для стабілізації руху.

3. Навігаційна система:

- GPS/ГЛОНАСС: для визначення координат і маршрутів.
- Інерційна навігація: для роботи в зонах без GPS (наприклад, під час РЕБ на фронті).
- RTK (Real-Time Kinematic): для високоточної навігації в цивільних дронах.

4. Система зв'язку:

- Радіомодулі: для передачі даних оператору (2.4/5.8 ГГц у цивільних, захищені частоти у військових).
- Супутниковий зв'язок: для віддалених зон.
- Мережа Mesh: для координації кількох дронів у групі (поширене у військових операціях).
- У складних умовах: стійкість до глушіння сигналу (РЕБ).

5. Джерело живлення для електроніки:

- Окремий акумулятор для сенсорів і процесорів.
- Системи управління енергією для економії заряду.

6. Додаткові функції:

- Системи самодіагностики для виявлення збоїв.
- У АСП спеціального призначення: модулі шифрування даних, захист від перехоплення управління.
- У цивільних: інтеграція з логістичними платформами (наприклад, API для Amazon).

2.2. Вимоги до автоматизованих самохідних платформ у надзвичайних ризикових ситуаціях

Наземні логістичні платформи, які працюють у НРК, повинні відповідати суворим вимогам, щоб забезпечити надійність, безпеку та ефективність у складних умовах. Ці вимоги поділяються на кілька категорій: конструктивні, функціональні, електронні, безпекові та адаптивні.

Конструктивні вимоги до НЛП

Міцність і захист: Водонепроникність (IP65 або вище) для роботи в дощі, снігу, болоті. Стійкість до температур (-20°C до $+50^{\circ}\text{C}$).

Мобільність: Подолання перешкод (бордюри до 30 см, схили до 40°). Висока прохідність у зонах із мінними полями чи уламками (військові НЛД) за рахунок фліпперів (Рис. 2.1).

Вантажопідйомність: Від 50 кг (медикаменти, спорядження) до 1000 кг (боєприпаси, евакуація). Модульний вантажний відсік для різних типів вантажів (ящики, носилки, контейнери).

Компактність і вага: Оптимальні розміри для маневреності в обмеженому просторі (міські руїни, вузькі стежки). Вага, придатна для транспортування гелікоптером чи вантажівкою.

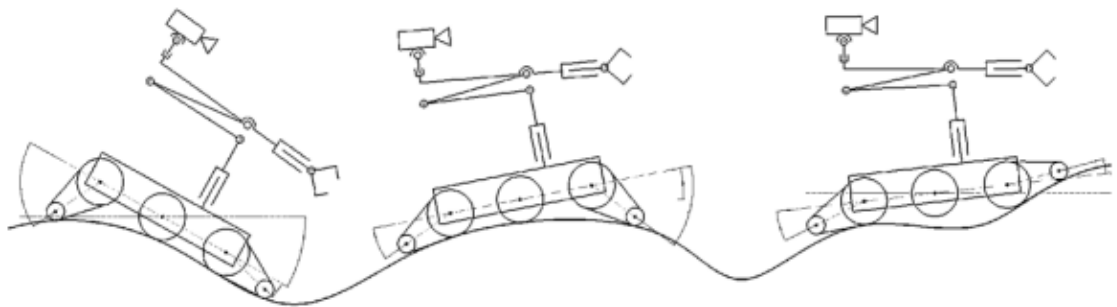


Рисунок.2.1 Підвищення прохідності наземного роботизованого комплексу за рахунок фліпперів при його переміщенні по нерівній дорозі



Рисунок.2.2 Наземного роботизованого комплексу Dragon Runner в ході виконання бойових задач (а) та у складеному стані (б)

Функціональні вимоги до НЛП

Автономність: Робота 4–12 годин або 50–100 км пробігу. Швидка заміна акумуляторів у польових умовах.

Швидкість і маневреність: Максимальна швидкість 10–30 км/год залежно від місцевості та вантажу. Гнучка зміна маршруту для уникнення загроз.

Багатофункціональність: Виконання завдань доставки, евакуації, розвідки, транспортування. Для військових НЛД — модулі для розмінування та датчиків.

Інтеграція: Сумісність із логістичними системами та БПЛА для координованих операцій [1, 2].

Електронні вимоги

Навігація та управління: Гібридна навігація (GPS + інерційна система) для роботи в умовах РЕБ. Автономне планування маршрутів із ШІ для уникнення перешкод і оптимізації шляху. Дистанційне керування через захищені канали (дальність до 10 км).

Сенсори: Лідари, камери (денні, нічні, тепловізійні) для орієнтації в темряві чи задимленні. Датчики мін, хімічних/радіаційних загроз (військові НЛД). Ультразвукові сенсори для маневрування в обмеженому просторі.

Зв'язок: Стійкість до РЕБ (зашифровані частоти, антиглушильні технології). Супутниковий зв'язок для віддалених зон.

Програмне забезпечення: Захищена ОС, самодіагностика в реальному часі, інтеграція з логістичними системами.

Безпекові вимоги

Стійкість до загроз: Броньований корпус, шифрування даних, захист від кібератак. Мінімізація ризиків: Автоматичне виявлення небезпек, безпечні алгоритми руху. Надійність: Дублювання критичних систем (навігація, зв'язок). Робота при часткових пошкодженнях.

Адаптивні вимоги

Універсальність: Модульна конструкція для швидкої переконфігурації (доставка, евакуація, розвідка). Адаптація до різних кліматичних умов (гори, пустелі, ліси).

Обслуговування: Проста заміна компонентів, доступність запчастин.

Економічна ефективність: Баланс вартості та функціональності. Для цивільних АСП — зниження логістичних витрат.

Військові АСП

Маскування: Низький рівень шуму, теплового випромінювання, камуфляж.

Швидке розгортання: Готовність за 5–10 хвилин, транспортабельність вертольотами/вантажівками.

Евакуація: Кріплення для носилок, системи стабілізації поранених.

Цивільні АСП

Екологічність: Електричні двигуни, підтримка відновлюваних джерел енергії (сонячні панелі).

Інтеграція: Сумісність із гуманітарними логістичними системами (ООН), масштабування для масових поставок.

2.3 Приклади реалізації вимог до автоматизованих самохідних установок

Спеціальний контекст:

– Український дрон "Медоїд" відповідає вимогам для НРК: броньований корпус, гусенична база для бездоріжжя, автономна навігація, вантажопідйомність до 300 кг. Використовується для доставки боєприпасів і евакуації поранених у зонах бойових дій.



Рисунок.2.3 НРК «Медоїд»

– THeMIS (Milrem Robotics, Естонія): модульна платформа з гібридною навігацією, стійка до РЕБ, використовується НАТО для логістики та розвідки.

Комерційний контекст:

– Starship Robots: компактні дрони для доставки їжі в містах, відповідають вимогам автономності та безпеки для міських НРК (наприклад, пандемії).



Рисунок.2.4. Zipline Ground Robot

– Zipline Ground Robots: адаптовані для доставки медичних вантажів у віддалені райони Африки під час повеней чи інших криз.

Порівняння наземних логістичних АСП із традиційними логістичними засобами

Для оцінки переваг і недоліків наземних логістичних дронів у НРК їх порівнюють із традиційними засобами логістики, такими як автомобілі, бронетранспортери (у військових операціях) та людські кур'єри. Таблиця 4.1 узагальнює порівняння за ключовими параметрами.

- Переваги АСП: Висока безпека для персоналу, маневреність у складних умовах (руїни, мінні поля), екологічність і можливість автономної роботи. Вони особливо ефективні в зонах бойових дій, де ризик для людей є критичним, а також у цивільних НРК, таких як пандемії чи повені, де потрібна швидка доставка без контакту.

- Недоліки дронів: Обмежена вантажопідйомність порівняно з вантажівками, залежність від акумуляторів, вразливість до радіоелектронної боротьби (РЕБ) у військових НРК.

- Переваги традиційних засобів: Висока вантажопідйомність, більший радіус дії, менша залежність від електронних систем.

- Недоліки традиційних засобів: Високий ризик для водіїв, низька маневреність у зонах із пошкодженою інфраструктурою, значні викиди.

Таким чином, наземні логістичні дрони є оптимальним рішенням для НРК із високими ризиками для життя та обмеженою інфраструктурою, але потребують комбінації з традиційними засобами для масштабних операцій.

Огляд існуючих рішень:

На ринку представлено кілька моделей наземних логістичних дронів, які успішно застосовуються в цивільних і військових НРК. Нижче наведено огляд чотирьох ключових рішень із аналізом їхніх характеристик і відповідності вимогам НРК.

1. Український дрон "Медоїд"

Призначення: Спеціальні АСП (доставка спеціальних вантажів, медикаментів, евакуація поранених).

Таблиця 2.1. Порівняння наземних логістичних АСП і традиційних засобів у НРК

Параметр	Наземні логістичні дрони	Традиційні засоби (автомобілі, БТР, кур'єри)
Оперативність	Висока (10–30 км/год, автономне планування маршрутів)	Середня (залежить від водія, затори, рельєф)
Надійність	Висока в автономних моделях, але вразливість до РЕБ	Висока, але залежить від стану техніки
Вантажопідйомність	Від 50 до 1000 кг (залежить від моделі)	Висока (до кількох тонн для вантажівок)
Автономність	4–12 годин, обмежена батареєю	Висока (залежить від палива, до 500–1000 км)
Безпека	Висока (немає ризику для людини)	Низька (водії наражаються на небезпеку)
Економічна ефективність	Середня (висока початкова вартість, низькі експлуатаційні витрати)	Висока в короткостроковій перспективі, але дорогі ремонти
Екологічність	Висока (електродвигуни, нульові викиди)	Низька (дизельне паливо, високі викиди)
Маневреність у НРК	Висока (прохідність, компактність)	Низька (обмеження через розміри, рельєф)

Характеристики:

- Вантажопідйомність: до 300 кг.
- Автономність: до 6 годин або 50 км.
- Шасі: гусеничне, адаптоване до бездоріжжя.
- Навігація: GPS + інерційна система, часткова стійкість до РЕБ.
- Захист: бронювання від уламків, водонепроникність.

Переваги: Висока прохідність, модульність (можливість евакуації), локальне виробництво в Україні, що знижує витрати на логістику.

Недоліки: Обмежена автономність, вразливість до потужних РЕБ-систем.

2. THeMIS (Milrem Robotics, Естонія)

Призначення: Військові НРК (логістика, розвідка, підтримка піхоти).



Рисунок.2.5 Самохідна платформа-дрон THeMIS

Характеристики:

- Вантажопідйомність: до 750 кг.
- Автономність: до 10 годин (гібридна енергосистема).
- Шасі: гусеничне, подолання перешкод до 60 см.
- Навігація: гібридна (GPS, лідари, ШІ), стійкість до РЕБ.
- Захист: бронювання, системи "свій-чужий".

Переваги: Модульна платформа, висока вантажопідйомність, сумісність із стандартами НАТО.

Недоліки: Висока вартість (близько \$200,000 за одиницю), складність ремонту в польових умовах.

3. Starship Robots (Starship Technologies, США)

Призначення: Цивільні НРК (доставка їжі, медикаментів у містах).

Характеристики:

- Вантажопідйомність: до 20 кг.
- Автономність: до 4 годин або 10 км.
- Шасі: колісне, для міських доріг.
- Навігація: GPS, камери, ШІ для уникнення пішоходів.

- Захист: мінімальний, захист від дощу (IP54).

Переваги: Низька вартість (близько \$10,000), висока маневреність у містах, екологічність.

Недоліки: Непридатність для бездоріжжя, низька вантажопідйомність, відсутність захисту для складних НРК.

4. Nuro R2 (Nuro, США)

Призначення: Цивільні АСП (доставка продуктів, медикаментів).

Характеристики:

- Вантажопідйомність: до 190 кг.
- Автономність: до 8 годин або 30 км.
- Шасі: колісне, для асфальтованих доріг.
- Навігація: лідари, камери, ШІ, GPS.
- Захист: водонепроникність, захист від зіткнень.

Переваги: Висока автономність, інтеграція з комерційними платформами, безпека для пішоходів.

Недоліки: Обмежена прохідність, висока вартість (\$50,000–\$100,000).

Аналіз ефективності існуючих рішень

На основі критеріїв оцінки ефективності проведено аналіз чотирьох моделей:

- "Медоїд": Висока ефективність у військових НРК завдяки адаптації до бездоріжжя та бойових умов, але потребує покращення автономності (з 6 до 12 годин) і стійкості до РЕБ. Економічна ефективність висока через локальне виробництво.
- THeMIS: Найвища універсальність і вантажопідйомність серед розглянутих моделей, але висока ціна обмежує масове використання. Ефективний для спеціальних завдань закордоном, але менш доступний для України.
- Starship Robots: Оптимальне рішення для міських цивільних НРК завдяки низькій вартості та екологічності, але непридатний для військових умов через слабкий захист і низьку вантажопідйомність.

– Nuro R2: Ефективний для цивільних НРК із розвиненою інфраструктурою, але обмежена прохідність робить його менш універсальним порівняно з "Медоїдом" чи THeMIS.

Кількісна оцінка (за шкалою від 1 до 10 за кожним критерієм, середнє значення):

- "Медоїд": 8.2 (висока безпека й прохідність, але обмежена автономність).
- THeMIS: 8.8 (універсальність і надійність, але висока ціна).
- Starship Robots: 6.5 (економічність, але низька універсальність).
- Nuro R2: 7.8 (автономність і безпека, але слабка прохідність).

Оцінка ефективності наземних логістичних дронів показує, що вони перевершують традиційні засоби в НРК за безпекою, маневреністю та екологічністю, але поступаються за вантажопідйомністю та автономністю. Порівняння з традиційними засобами підкреслює доцільність комбінованого використання дронів і вантажівок для максимальної ефективності. Огляд існуючих рішень ("Медоїд", THeMIS, Starship Robots, Nuro R2) демонструє, що військові дрони ("Медоїд", THeMIS) краще відповідають вимогам бойових НРК, тоді як цивільні моделі (Starship, Nuro) ефективні в міських умовах із розвиненою інфраструктурою. Для України пріоритетними є доступні моделі типу "Медоїд", які можна вдосконалити шляхом підвищення автономності, стійкості до РЕБ і модульності. Результати аналізу стануть основою для подальшого вдосконалення логістичних самохідних платформ у контексті НРК.

Висновки по другому розділу

Розробка наземної роботизованої платформи (НРК) для високоефективного використання в сфері логістичних операцій, зокрема для контролю повітряних ліній електропередач, є складним і багатогранним завданням, що вимагає інтеграції апаратних і програмних рішень. Аналіз конструктивних особливостей показав, що вибір наземного логістичного дрона має базуватися на вимогах до мобільності, енергоефективності та стійкості до зовнішніх умов. Розробка вимог до НРК у надкритичних ризикових ситуаціях підкреслила необхідність забезпечення надійності системи, включаючи захист від електромагнітних перешкод, автономність навігації та можливість швидкого реагування на аварійні ситуації. Приклади реалізації вимог продемонстрували, що сучасні НРК можуть успішно інтегрувати сенсорні системи, модульні архітектури та алгоритми автоматичного керування для виконання завдань у складних умовах. Таким чином, розроблена платформа має потенціал для підвищення ефективності та безпеки моніторингу ЛЕП, за умови врахування всіх технічних і експлуатаційних вимог.

РОЗДІЛ 3

ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ НАЗЕМНИХ ЛОГІСТИЧНИХ ПЛАТФОРМ

3.1. Пропозиції щодо вдосконалення наземних логістичних платформ

Для підвищення ефективності наземних логістичних платформ у НРК пропонується реалізувати наступні заходи:

1. Посилення конструктивної міцності та адаптивності

- Розробка гібридних шасі: Комбінація колісної та гусеничної бази для забезпечення високої прохідності на різних типах поверхонь (грунт, пісок, асфальт, уламки). Наприклад, створення механізму швидкої зміни типу шасі залежно від умов (аналогічно трансформованим платформам, як у THeMIS від Milrem Robotics)[20, 21].

- Використання модульних броньованих панелей: Легкі композитні матеріали (карбон, кевлар) для захисту від куль калібру до 7.62 мм і уламків у військових НРК, які можна швидко знімати для цивільних завдань, зменшуючи вагу.

- Інтеграція систем самовідновлення: Покриття корпусу матеріалами з ефектом "самолікування" (наприклад, полімерні гелі), які зменшують пошкодження від дрібних тріщин чи подряпин.

2. Підвищення автономності та енергоефективності

- Впровадження гібридних енергосистем: Поєднання літій-іонних акумуляторів із компактними паливними елементами (водневими чи метаноловими) для подовження автономності до 24 годин або 150–200 км пробігу.

- Інтеграція сонячних панелей: Для цивільних НРК (наприклад, доставка в зонах повеней) використання гнучких сонячних панелей на корпусі для часткової підзарядки в денний час.

- Розробка системи швидкої заміни батарей: Стандартизовані акумуляторні модулі, які можна замінити за 2–3 хвилини в польових умовах, що критично для військових операцій.

3. Удосконалення електронних систем

- Розробка стійких до РЕБ навігаційних модулів: Поєднання GPS/ГЛОНАСС із вдосконаленою інерційною навігацією та оптичним розпізнаванням місцевості (SLAM – Simultaneous Localization and Mapping) для роботи в зонах із повним глушінням сигналу.

- Інтеграція розширених ШІ-алгоритмів: Впровадження машинного навчання для прогнозування перешкод, оптимізації маршрутів і адаптації до динамічних умов (наприклад, об'їзду зон обстрілу чи затоплень).

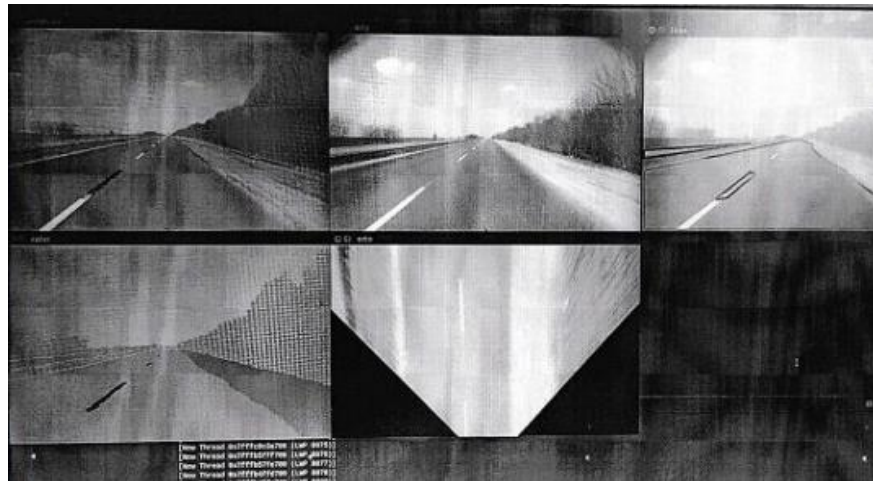


Рисунок.3.1 Візуальний супровід роботи нейронної мережі ENETN, яка використовується для сегментації дорожніх умов

- Розширення сенсорних можливостей: Оснащення дронів мультиспектральними камерами (ІЧ, тепловізійні, ультрафіолетові) та датчиками хімічної/радіаційної небезпеки для виявлення загроз у військових і цивільних НРК.



Рисунок.3.2 Виявлення об'єктів за допомогою ШІ

4. Покращення зв'язку та координації

- Впровадження адаптивних Mesh-мереж: Розробка систем, які дозволяють дронам створювати динамічні мережі для передачі даних навіть у разі втрати зв'язку з центральним сервером. Це особливо важливо для групової роботи в зонах бойових дій.

- Використання квантового шифрування: Для захисту даних і командного зв'язку від кібератак у військових НРК, де ризик перехоплення управління є високим.

- Інтеграція із супутниковими системами: Забезпечення зв'язку через низькоорбітальні супутники (наприклад, Starlink) для роботи в ізольованих зонах без наземної інфраструктури.

5. Розширення функціональності

- Модульна платформа для швидкої переконфігурації: Розробка універсальних кріплень, які дозволяють за 5–10 хвилин адаптувати дрон для різних завдань: доставка вантажів, евакуація поранених, розмінування чи встановлення сенсорів.

- Інтеграція медичних модулів: Оснащення дронів системами для транспортування поранених (стабілізаційні носилки, дефібрилятори, кисневі балони), що підвищить їхню цінність у військових НРК.

- Розробка дронів-ретрансляторів: Моделі, які можуть виконувати роль мобільних вузлів зв'язку для координації інших дронів чи підрозділів у зонах із обмеженим покриттям.

6. Забезпечення безпеки та маскування

- Впровадження активних систем захисту: Оснащення дронів димовими завісами або акустичними пастками для відволікання уваги ворога у військових НРК.

- Розробка технологій зниження сигнатур: Використання матеріалів із низьким тепловим і електромагнітним випромінюванням, а також шумозаглушення двигунів для зменшення ймовірності виявлення.

- Інтеграція систем "свій-чужий": Впровадження ІЧ-міток або RFID-ідентифікаторів для уникнення випадкових атак з боку союзних сил.

7. Спрощення обслуговування та ремонту

- Стандартизація компонентів: Використання уніфікованих модулів (акумулятори, сенсори, шасі), щоб полегшити заміну деталей у польових умовах.

- Розробка портативних діагностичних систем: Компактні пристрої для швидкої перевірки стану дрона (електроніки, механіки) без спеціалізованого обладнання.

- Використання 3D-друку для запчастин: Створення мобільних станцій 3D-друку для виготовлення дрібних деталей (шестерні, кріплення) безпосередньо в зоні НРК.

3.2. Технічні рішення по удосконаленню НЛП

Для впровадження рішень потрібно з'ясувати які вимоги, наприклад якщо ми будемо дрон який в автономному режимі робитиме об'їзд певного енергетичного об'єкту з метою виявлення загроз, а саме ворожих сил, до прикладу. Тоді нам потрібно буде висунути вимоги такі як:

1. Маскування
2. Прохідність (відносно умов в яких буде здійснюватись моніторинг обстановки)
3. Зв'язок
4. Навігація

Відповідно в цій ситуації це не просто логістична платформа, а це вже НРК. Умовно, логістична платформа яка здійснює не логістичну, а моніторингову функцію.

Навігація може бути як звичайною, за допомогою GPS, так і більш просунутою з використанням інших альтернативних методів. В нашому випадку, якщо ідеться про охорону важливого енергетичного об'єкту за допомогою автоматичного або напів автоматичного НРК, то нам потрібно виключити сценарій GPS спуфінгу. [11, 12, 13]

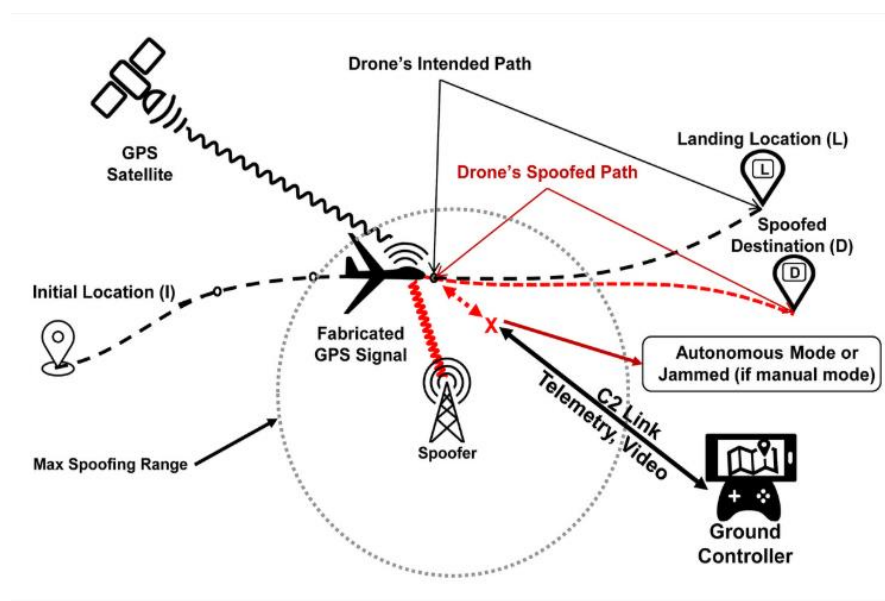


Рисунок.3.3 Схема GPS спуфінгу



Рисунок.3.3 Акумуляторна батарея Nissan Leaf 2014

Мотори: Лівий та правий мотори з контролерами (ESC1, ESC2).

Наприклад поширеними є двигуни формату 60в-72в 2,2кВт.



Рисунок.3.4 Двигун 2.2 кВт L-Faster

Керуюча плата: PX410 board з різними інтерфейсами (Servo, JTAG, UART, SPI, I2C, CAN).

Сенсори та модулі: GPS (UBLOX), приймач (Receiver), безпечна кнопка (Safety Button), реле, модуль FMU (Flight Management Unit).

Інтерфейси зв'язку: UART, CAN, I2C, SPI для взаємодії між компонентами.

Висновки по третьому розділу

Планування виконання наземних логістичних платформ є ключовим етапом у забезпеченні їхньої ефективності та надійності під час виконання завдань, таких як контроль повітряних ліній електропередач. Проведений аналіз показав, що розробка проєктів НРК вимагає чіткого визначення функціональних вимог, включаючи автономність, стійкість до зовнішніх умов та точність навігації. Технічні рішення, запропоновані для удосконалення НРК, базуються на інтеграції сучасних сенсорних систем, модульних апаратних компонентів і програмного забезпечення, що забезпечує адаптивність до надкритичних ситуацій. Зокрема, використання диференціального керування (skid steering), GPS-навігації та модулів управління, таких як PX410, дозволяє досягти високого рівня автоматизації та безпеки. Таким чином, сплановані технічні рішення створюють основу для створення надійної та ефективної наземної платформи, здатної виконувати завдання моніторингу ЛЕП із мінімальним втручанням оператора.

ВИСНОВКИ

У процесі дослідження було здійснено комплексний аналіз теоретичних засад, технічних характеристик, сучасних рішень і перспектив розвитку наземних самохідних платформ (АСП) для застосування в спеціальних та цивільних логістичних та моніторингових системах в умовах надзвичайних ситуацій.

Актуальність тематики підтверджена зростаючими потребами в ефективних логістичних рішеннях під час кризових подій, де швидка доставка вантажів і мінімізація ризиків для людського життя є критичними завданнями. Розвиток АСП має стратегічне значення для України, з огляду на триваючі виклики у сфері спеціальної та гуманітарної логістики.

У ході роботи встановлено, що АСП є автономними або дистанційно керованими мобільними системами, здатними інтегрувати транспортні, складські та інформаційні функції. Їх технічні вимоги включають високу прохідність, вантажопідйомність у межах 50–1000 кг, стійкість до фізичних і кіберзагроз, а також адаптивність для виконання різноманітних завдань у складних умовах експлуатації.

Особлива увага приділялася аналізу використання АСП у спеціальній сфері для постачання ресурсів, евакуації поранених і забезпечення автономної логістики в умовах порушення традиційних ланцюгів постачання. Виявлено необхідність підвищення рівня автономності, стійкості до засобів радіоелектронної боротьби та впровадження ефективних засобів маскування.

Запропоновано низку заходів для вдосконалення АСП, зокрема розробку гібридних шасі для різних типів місцевості, впровадження комбінованих енергетичних систем із тривалістю автономної роботи до 24 годин, застосування штучного інтелекту для автономної навігації та квантового шифрування для захисту інформаційного обміну. Розробка модульних платформ визначена як ключовий напрям для забезпечення гнучкості і швидкої переконфігурації техніки відповідно до умов завдань.

Оцінка існуючих аналогів, серед яких український «Медоїд», естонський THeMIS та американські рішення Starship Robots і Nuro R2, продемонструвала переваги АСП у порівнянні з традиційними транспортними засобами за критеріями безпеки, маневреності та

екологічності, водночас виявлено потребу в подальшому підвищенні їх вантажопідйомності та автономності.

Практична значущість результатів дослідження полягає у можливості застосування отриманих висновків для модернізації логістичних систем Збройних Сил України, гуманітарних організацій та цивільних логістичних компаній, що сприятиме підвищенню оперативності, безпеки і сталого розвитку логістичних процесів.

Перспективними напрямками подальших досліджень є створення ройових технологій для групового управління АСП, інтеграція з повітряними БПЛА для реалізації мультимодальних операцій, а також розробка універсальних стандартів сумісності для цивільних і спеціальних платформ на міжнародному рівні.

Таким чином, наземні самохідні платформи мають великий потенціал для трансформації сучасних логістичних процесів. Їх подальший розвиток і широке впровадження в українських реаліях сприятимуть підвищенню ефективності постачання, мінімізації ризиків і забезпеченню стійкості систем у кризових умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основи робототехніки: навчальний посібник / Н.В. Морзе, Л.О. ВарченкоТроценко, М.А. Гладун. – Кам’янець-Подільський : П.П. Буйницький О.А., 2016. – 184 с
2. Кучеров Д.П. Перспективи розвитку роботизованих систем військового призначення /Д.П. Кучеров, З.М. Копилова, Ю.В. М’якухін// Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – Випуск 1 (9). – С. 44-46
3. Слюсар В.І. Мінімальні вимоги до спроможностей як складова концепції розвитку наземних роботизованих комплексів /В.І. Слюсар // Науково-практична конференція «Актуальні проблеми застосування Збройних Сил України, управління ними, їх оперативного та матеріально технічного забезпечення». – 17-18 вересня 2019 р., ЦНДІ ЗСУ. https://slyusar.kiev.ua/CNDI_2019_1.pdf
4. Māris Andžāns, Ugis Romanovs. Digital Infantry Battlefield Solution. Concept of Operations. Part Two. - Riga Stradins University. – 2017. https://www.researchgate.net/publication/318792490_Digital_Infantry_Battlefield_Solution_Concept_of_Operations_Part_Two.
5. Белянин П.Н. Стан і розвиток техніки роботів // Проблеми машинобудування й надійності машин. – М.: РАН, 2000. – № 2. – С. 85-96
6. Експериментальні дослідження роботи колеса з пневматичною шиною на опорній поверхні, що деформується / М. М. Балака, Л. Є. Пелевін, Г. О. Аржаєв, А. В. Василенко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2013, № 1 (8). – С. 132-139.
7. Challenges in Developing and Demonstrating Future Combat System’s Network and Software [Текст] // US Future Combat & Weapon Systems Handbook. — International Business Publications, 2009. — С. 90. — 300 с.
8. Зінько Р. В. Перспективи використання мобільних роботизованих комплексів в широкому спектрі вирішення задач мілітарного спрямування / Р.

В. Зінько, П. І. Ванкевич, А.Д. Черненко, О.В. Федін, Є.Г. Іваник // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). – 2018, №1(9). С. 17-28.

9. Василенко О.В. Методичні основи обґрунтування вимог до технічних показників перспективних систем озброєння та їх складових частин з різною функціональною значимістю // О.В. Василенко, Б.Н. Ланецький, О.П. Ковтуненко // Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ. – 2009. – К.: ЦНДІ ОВТ, 2009. – Вип. 22. – С. 32-46.

10. Зінько Р.В, Корендій В. Моделювання руху привідного мотор-колеса електромобіля / Зінько Р, Корендій В. // XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Вібрації в техніці та технологіях» 11–12 жовтня. Львів: НУ «ЛП». 2018 – с 56-57.

11. Тактика: підручник / В.В. Вішняков, Г.А. Дробаха, А.А. Каленський, Є.Б. Смірнов - К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. - 735 с.

12. Дістанційно- і самокерований агрегат бойової автономної модульної платформи високої прохідності для прихованого транспортування військових вантажів // Патент України № 115207. 2017. Бюл. №18 / Беліков В.Т., Григор'єв О.П., Белохвост В.С., Гуляк О.В., Кравчук О.І., Ковалішин С.С., Чепков І.Б., Цуканов В.Н

13. Зінько Р. В., Ванкевич П. І. Принципи використання мобільних роботів військового призначення. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ : зб. тез між нар. наук.-техн. конф. (м. Львів, 11-12 травня 2017 р.). Львів: НАСВ, 2017. С. 8.

14. Василенко О. В., Ланецький Б. Н., Ковтуненко О. П. Методичні основи обґрунтування вимог до технічних показників перспективних систем озброєння та їх складових частин з різною функціональною значимістю. Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ. Київ, 2009. Вип. 22. С. 32-46.

15. Телелим В. М. Тенденції розвитку збройної боротьби сучасності : лекція. Київ : НУОУ, 2009. 24 с.

16. Зінько Р. В., Казан П. І., Черевко Ю. М., Білик О. С. Оцінка ефективності дій мобільних бойових роботів методами теорії масового обслуговування. Військово-технічний збірник. Львів, 2020. №22. С. 92.
17. Вірко Є. В., Годій М. В., Железник О. Ю., Степаненко А. А. Тактика механізованих підрозділів (механізований взвод) : навч. посібн. Львів : АСВ, 2014. 508 с.
18. Методичні рекомендації щодо підготовки та застосування частин та підрозділів під час проведення АТО. Київ: КСВ ЗС України, 2014.
19. Крайник Ю.Л. Зінько Р.В., Глобчак М.В., Скварок Ю.Ю. Методичні основи оптимізації розміщення колісного візка цистерни-напівпричепа // V Міжнародна науково-технічна конференція: Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей, 29 квітня-01 травня 2018 р. Луцьк: ЛНТУ. С. 12
20. Зінько Р.В., Горбай О.З., Крайник Ю.Л. Дослідження опорно-зчіпного пристрою цистерни-напівпричепа згідно Правил 13 ЕЭК ООН // Міжнародна науково-практична конференція: Новітні технології розвитку автомобільного транспорту, 16-19 жовтня. Харків: ХНАДУ, 2018. С. 272-273
21. Библиук Н.І., Зінько Р.В., Дадак Р.М., Маковейчук О.М. Залежність динамічних властивостей дволанкового автопотяга від пружної характеристики зчіпного пристрою. Науковий вісник НЛТУ України. 2005, Вип.15.4. С. 90-95.