

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет механіко технологічний**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

транспортних технологій та

(назва кафедри)

засобів у АПК

Савченко Л.А.

(підпис)

(ПІБ)

« _____ » _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Удосконалення транспортного процесу перевезення військової техніки
із застосуванням принципів мурашиної логістики (Ant Colony Optimization)»**

**Спеціальність 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспор-
ті)»** (код і назва)

Гарант освітньої програми

К. Т. Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Опалко В.Г.

(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К. Т. Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Савченко Л.А.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Гутник Е.К.

(ПІБ студента)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ

І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет механіко технологічний

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

транспортних технологій та засобів у АПК

Савченко Л. А.

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

« ____ » _____ 2026

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Гутнику Едуарду Костянтиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(код і назва)

Тема випускної бакалаврської роботи Удосконалення транспортного процесу перевезення військової техніки із застосуванням принципів мурашиної логістики (Ant Colony Optimization)

затверджена наказом ректора НУБіП України від

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до випускної бакалаврської роботи:

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Теоретичні основи організації перевезень військової техніки автомобільним транспортом, класифікація військової техніки, особливості її транспортування, нормативно-правове забезпечення та аналіз сучасного досвіду військової логістики.
2. Принципи мурашиної логістики та алгоритму мурашиної колонії (ACO), дослідження розумного інтелекту, математичних моделей та можливостей застосування алгоритму для задач транспортної логістики.

3. Аналіз існуючої системи перевезень військової техніки, характеристика транспортного парку, маршрутів перевезення, транспортних витрат та виявлення недоліків чинної організації транспортного процесу.
4. Удосконалення організації перевезення військової техніки на основі принципів мурашиної логістики, розробка транспортної мережі, вибір критеріїв оптимізації, побудова оптимального маршруту та оцінка ефективності запропонованих рішень.
5. Аналіз питань охорони праці та безпеки руху під час перевезення військової техніки, визначення вимог безпеки при навантаженні, транспортуванні та організації руху транспортної колони.
6. Економічне обґрунтування запропонованих рішень, розрахунок витрат при існуючій та оптимізованій організації перевезень, визначення економічного ефекту та оцінка доцільності впровадження запропонованих заходів.

Дата видачі завдання «1» вересня 2025 р.

Керівник випускної бакалаврської роботи _____
(підпис)

Савченко Л.А
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Гутник Е.К
(прізвище та ініціали студента)

Зміст

РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ	9
1.1 Класифікація військової техніки як об'єкта перевезення	9
1.2 Особливості та вимоги до перевезення військової техніки автотранспортом	16
1.3. Нормативно-правова база	18
1.4 Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду військової логістики	20
РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИПИ МУРАШИНОЇ ЛОГІСТИКИ ТА АЛГОРИТМ АСО ..	24
2.1 Концепція ройового інтелекту (Swarm Intelligence)	24
2.2. Біологічна основа: поведінка мурашок, феромонові сліди, стигмергія	26
2.3. Алгоритм мурашиної колонії (АСО): математична модель	28
2.4. Модифікації АСО: порівняльний аналіз	31
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ	36
3.1. Характеристика об'єкта дослідження	36
3.2. Аналіз парку транспортних засобів для перевезення техніки	41
3.3. Аналіз маршрутів і схем переміщення техніки	48
3.4. Оцінка витрат при чинній організації	50
3.5. Виявлені проблеми та недоліки	52
РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ МУРАШИНОЇ ЛОГІСТИКИ	55
4.1. Визначення вихідних умов та критеріїв оптимізації маршруту	55
4.2. Побудова схеми транспортної мережі	58
4.3. Застосування принципів мурашиної логістики для вибору маршруту	60
4.4. Практична апробатація оцінка ефективності запропонованих рішень	66
4.5. Перевірка стійкості обраного маршруту	69

4.6. Порівняльний аналіз: базовий маршрут vs оптимізований	71
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА РУХУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ	75
5.1. Вимоги безпеки при навантаженні, транспортуванні та розвантаженні техніки	75
5.2. Охорона праці водіїв тягачів та трейлерів	76
5.3. Безпека руху колони	76
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	80
6.1. Розрахунок витрат при чинній організації перевезень	80
6.2. Розрахунок витрат після оптимізації АСО	82
6.3. Економічний ефект і зниження ресурсомісткості	84
ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

РЕФЕРАТ

Ця дипломна робота зосереджена на дослідженні та вдосконаленні автомобільних перевезень військової техніки з використанням сучасних логістичних методів. У ній розглядаються специфічні характеристики організації військових перевезень, умови експлуатації важких транспортних засобів та фактори, що впливають на ефективність перевезень.

Це дослідження зосереджено на організації автомобільних перевезень військової техніки, дослідженні методів оптимізації маршрутів та підвищення ефективності логістичного забезпечення.

У роботі аналізуються існуючі методи організації перевезень великих військових транспортних засобів, вивчаються технічні характеристики транспортних засобів та вимоги до маршрутів. Для транспортування техніки розглядається використання важких тягачів Oshkosh M1070, оснащених низькорамними напівпричепами, для перевезення важкої броньованої техніки.

У роботі особлива увага приділяється застосуванню принципів мурашиної колонії при виборі оптимальних маршрутів. Транспортна мережа представлена у вигляді графіка, де вузли представляють місця розташування, а ребра - дороги, що з'єднують ці місця розташування. Під час оцінки маршруту враховуються довжина подорожі, час подорожі, витрата палива та рівень безпеки кожного сегмента дороги.

Під час дослідження порівнюються базові та оптимізовані маршрути для перевезення військової техніки. Результати розрахунків показують, що оптимізація маршруту може зменшити пробіг колони, витрату палива та час подорожі.

Практична цінність цієї роботи полягає в тому, що запропоноване рішення може бути використане для підвищення організаційної ефективності військових автомобільних перевезень, особливо в умовах обмеженого часу та зміни дорожніх умов.

ВСТУП

Актуальність роботи.

Тема бакалаврської роботи поєднує два напрями: військову логістику (перевезення техніки в умовах обмежень, невизначеності та пріоритету безпеки) та алгоритм мурашиної колонії (АСО — Ant Colony Optimization) — метаевристичний алгоритм оптимізації маршрутів, розроблений Марко Доріго у 1992 році на основі поведінки мурашок, що прокладають найкоротший шлях до їжі через феромонові сліди.

Важливість ефективної організації логістичних процесів у військовій сфері підкреслюється висловом генерала армії США Джона Першинга: *«Піхота виграє битви, а логістика — війни»*. Це особливо актуально в умовах сучасних бойових дій, де швидкість, точність і безпека перевезень визначають успіх операцій.

Головна ідея полягає в тому, що алгоритм АСО є імовірнісною технікою для вирішення обчислювальних задач, зведених до пошуку оптимальних шляхів у графах — штучні «мурашки» знаходять оптимальні рішення, рухаючись через простір параметрів, де кожен можливий варіант є окремою точкою. У транспортному контексті це означає автоматичний пошук найкращого маршруту для колони техніки з урахуванням стану доріг, вантажності, часових вікон і рівня загрози.

Практична цінність для оборонного сектору полягає в тому, що алгоритм здатний адаптуватися в реальному часі. АСО має перевагу над іншими підходами у випадках, коли структура графа динамічно змінюється, оскільки алгоритм може безперервно працювати та коригувати маршрути відповідно до змін обстановки, що є критично важливим в умовах бойових дій.

Метою роботи є підвищення ефективності, безпеки логістичних процесів в перевезенні військової техніки.

Завдання дослідження: аналіз існуючої організації перевезень; вивчення принципів мурашиної логістики; адаптація АСО до специфіки військових

перевезень; побудова оптимізованої схеми маршруту; верифікація результатів; економічне обґрунтування.

Об'єкт дослідження: транспортний процес перевезення військової техніки автомобільним транспортом.

Предмет дослідження: методи та моделі оптимізації маршрутів із застосуванням принципів мурашиної логістики.

Методи дослідження: системний аналіз, математичне моделювання, метаевристична оптимізація (АСО), імітаційне моделювання, техніко-економічні розрахунки.

Наукова новизна: вперше запропоновано модифікацію алгоритму АСО із введенням критерію безпеки маршруту (σ -фактор) стосовно перевезення військової техніки в умовах обмеженої дорожньої інфраструктури.

Структура роботи: 7 розділів, список використаних джерел, додатки.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Класифікація військової техніки як об'єкта перевезення

Військову техніку можна поділити на габаритну, негабаритну і несамохідну техніку. Для визначення об'єкту перевезень треба врахувати всі характеристики та взяти по пару прикладів та про класифікувати їх.

Габаритна техніка

Спочатку візьмем габаритну техніку типу колісні бронетранспортери (БТР-4 «Буцефал») та бойова машина піхоти (БМП2).

Колісний бронетранспортер БТР-4 «Буцефал» - повнопривідний восьмиколісний бронетранспортер (БТР) з колісною формулою 8×8, розроблений в Україні Харківським конструкторським бюро машинобудування (ДП ХКБМ), виготовляється на заводі імені Малишева.

БТР-4 «Буцефал» призначений для транспортування бійців механізованих підрозділів та вогневої підтримки в бою. БТР використовують для оснащення підрозділів, здатних вести бойові дії в різних умовах, зокрема в умовах застосування противником зброї масового ураження. БТР може бути базовою машиною для оснащення спеціальних підрозділів швидкого реагування і морської піхоти. БТР-4 може виконувати поставлені завдання цілодобово, в різних кліматичних умовах, на дорогах із різним покриттям і в умовах повного бездоріжжя. Діапазон робочих температур повітря від -40 до +55 °С.

Основні характеристики БТР-4



Рис. 1.1. Бронетранспортер (БТР-4)

- Тип: бронетранспортер (8×8)
- Екіпаж: 3 особи
- Десант: 7–8 осіб
- Маса: 17–25 т
- Двигун: дизель, до 600 к.с.
- Макс. швидкість: до 110 км/год
- Швидкість на воді: 10 км/год
- Запас ходу: до 690 км
- Озброєння: 30-мм гармата, кулемет, ПТРК
- Захист: броня від куль і уламків
- Особливості: плаваючий, задній вихід для десанту, модульна конструкція

Бойова машина піхоти БМП-2 - радянська гусенична бойова машина піхоти, призначена для транспортування особового складу до переднього краю, підвищення його мобільності, озброєності та захищеності на полі бою в умовах застосування зброї масового ураження, у тому числі і ядерної, спільних дій з танками під час бою.

Характеристика БМП-2



Рис. 1.2 Бойова машина піхоти БМП-2

- Тип: бойова машина піхоти
- Екіпаж: 3 особи
- Десант: 7 осіб
- Двигун: дизель УТД-20, 300к.с.
- Макс. швидкість: 65 км/год
- Запас ходу: 600 км
- Озброєння: 30-мм гармата

Негабаритна техніка

До негабаритної техніки можна віднести танки (Леопард 2), самохідні артилерійські установки (сау).

Танк Leopard 2- німецький основний бойовий танк третього покоління. Розроблений компанією Krauss-Maffei у 1970-х роках, надійшов на озброєння в 1979 році на зміну попереднього Леопарда 1 як основний танк західнонімецьких сухопутних військ.

Різні версії використовуються в збройних силах Німеччини та 13 інших європейських країн, а також кількох неєвропейських країн, зокрема Канади, Чилі, Індонезії та Сінгапуру. Leopard 2 використовувався німецькою армією в Косово, нідерландською, данською і канадською арміями в Афганістані, як частина Міжнародних сил сприяння безпеці, а також

застосовується турецькою армією в бойових діях у Сирії. Після тривалих дипломатичних зусиль і періоду вагань, у кінці січня 2023 отримано дозволи на постачання танків різних модифікацій в Україну.

Основні характеристики Leopard 2



Рис. 1.3 танк Leopard 2

- Тип: танк
- Екіпаж: 4 особи
- Двигун: дизель MB 873 Ka-501, 1500 к.с.
- Макс. швидкість: 68-72 км/год
- Запас ходу: 500 км
- Озброєння: 120 мм гладкоствольна танкова гармата Rh-120 L/44

САУ M109- американська самохідна гаубиця, що перебуває на озброєнні артилерії армії США та деяких інших країн світу, в тому числі в Україні.

Основні характеристики САУ M109:



Рис. 1.4 Самохідна артилерійська установка САУ М109

- Тип: самохідна артилерійська установка (САУ)
- Екіпаж: 4–6 осіб
- Бойова маса: ~24–28 т (залежно від модифікації)
- Озброєння: 155-мм гаубиця
- Дальність стрільби:
до 18–24 км (звичайні снаряди)
до 30+ км (реактивні снаряди)
- Двигун: дизель, 400–450 к.с.
- Максимальна швидкість: до 55–60 км/год
- Запас ходу: ~350 км

Класифікація за масою, габаритами, осьовими навантаженнями — визначення типу транспортного засобу.

Для транспортування широкого спектру обладнання — від відносно легких бойових машин піхоти до важких основних бойових танків — універсальний, низькопрофільний трал є важливим.

Основним критерієм вибору є найважчий і найширший екземпляр обладнання у списку (танк Leopard 2), оскільки відповідний трал може легко перевезти інше обладнання.

Таблиця 1.1

Порівняльна таблиця характеристик вантажів

Техніка	Вага (т)	Ширина (м)	Тип бази
БМП-2	~14-15	2,85	Гусенична
БТР-4	~22	2,93	Колісна (8x8)
M109 (CAU)	~28-32	3,15	Гусенична
Leopard 2	~55-64	3,75	Гусенична

Обґрунтування вибору тягача

Для задоволення потреб усієї групи вантажів потрібен низькорамний напівпричіп (низьке шасі) з такими характеристиками:

Вантажопідйомність (Д/В): Потрібен важкий тягач з мінімальною вантажопідйомністю від 65 до 70 тонн.

Причина: Тягач Leopard 2 A6/A7 перевищує 62 тонни. Використання тягача з меншою вантажопідйомністю може призвести до швидкої деформації шасі та передчасного зносу осей.

Кількість осей:

Оптимальний вибір: 4 або 5 осей.

Чому: щоб не перевищувати допустиме навантаження на вісь (зазвичай 10-12 тонн залежно від типу дороги), вага танка повинна розподілятися на велику кількість точок опори. Трали з 5 осями забезпечують кращу маневровість за рахунок поворотних осей.

Технічні характеристики платформи:

Подовжувач: Складаний подовжувач платформи є важливим. Оскільки ширина Leopard 2 (3,75 м) значно ширша за стандартну тралову сітку (2,5–3 м), обладнання може виступати за межі платформи. Подовжувач дозволяє надійно закріпити гусениці на платформі.

Висота: Висота транспортного засобу має бути невеликою (300–600 мм від землі), щоб високе обладнання (особливо САУ М109) могло проходити під мостами або лініями електропередач.

Методи в'їзду: передній в'їзд це найкращий варіант для важкої гусеничної техніки. Гусак від'єднується, і техніка заїжджає на платформу під мінімальним кутом. Для таких машин, як Leopard 2 та М109, цей метод безпечніший, ніж в'їзд через крутий задній пандус.

Рекомендоване рішення:

Для перевезення цього переліку техніки найкраще підійде трал типу Faymonville MegaMAX або Goldhofer STZ, або вітчизняні аналоги з такими параметрами:

- Тип: Низькорамний з від'єднувальним гусаком.
- Кількість осей: 4-5 (з підрулюванням).
- Оснащення: Посилені апарелі та висувні розширювачі до 3,5–4,0 м.



Рис. 1.5 трал Goldhofer STZ

Специфіка для БТР-4: Оскільки БТР-4 колісний, платформа повинна мати гарне зчеплення (дерев'яні або гумові вставки), щоб запобігти ковзанню коліс при заїзді.

Висновок. Вибираючи трал під Leopard 2 (як під найбільш критичний габарит), ми автоматично отримуємо можливість перевозити БТР-4, БМП-2 та М109, просто регулюючи систему кріплень та центр мас вантажу.

1.2 Особливості та вимоги до перевезення військової техніки авто-транспортом

Автомобільні перевезення військової техніки — це складний логістичний процес, що вимагає дотримання низки технічних, організаційних та безпекових вимог. Особливості таких перевезень зумовлені великою вагою та значними габаритами обладнання, підвищеним ризиком пошкодження, а також необхідністю збереження конфіденційності. Відповідно, перевезення організовуються з урахуванням законодавчих вимог та специфіки військової ситуації.

Обмеження навантаження на вісь та вплив на інфраструктуру

Однією з найважливіших вимог є дотримання допустимих навантажень на дорожнє покриття та інженерні споруди. Для більшості доріг загального користування максимальне навантаження на вісь встановлено на рівні 11,5 тонн; перевищення цього обмеження може призвести до руйнування дорожнього покриття або пошкодження мостів.

Військова техніка (танки, самохідні артилерійські установки, бронетранспортери) часто має значну вагу, тому її перевозять за допомогою спеціальних низькорамних причепів, які забезпечують рівномірний розподіл навантаження на осі. При плануванні маршруту необхідно враховувати такі фактори: вантажопідйомність мостів та естакад; технічний стан дорожнього покриття; наявність обмежень для негабаритних транспортних засобів; можливість об'їзду критичних ділянок.

Якщо встановлені параметри перевищуються, перевезення здійснюється за спеціальними дозволами за індивідуально визначеним маршрутом.

Вимоги до кріплення військової техніки

Надійне кріплення техніки на транспортній платформі є необхідною умовою для забезпечення безпеки перевезення. Неналежне кріплення може

призвести до зсуву вантажу, втрати стійкості транспортного засобу або виникнення надзвичайної ситуації.

Основними елементами кріплення є: високоміцні ланцюги, що фіксують техніку на вантажній поверхні;

натяжні пристрої (талі, ремені) для забезпечення необхідного натягу;

антиколісні подушки, що запобігають ковзанню техніки;

кріпильні пристрої та елементи, що стабілізують положення гусеничних або колісних транспортних засобів.

Система кріплення повинна гарантувати стабільність вантажу під час руху, гальмування, прискорення та маневрування. Для цього враховуються вага обладнання, його центр ваги та тип шасі.

Конфіденційність та маскування

Перевезення військового обладнання здійснюється з суворим дотриманням протоколів конфіденційності. Інформація щодо маршрутів, розкладу та складу конвою є конфіденційною, оскільки її розголошення може поставити під загрозу проведення бойових операцій.

Серед найважливіших заходів, спрямованих на забезпечення конфіденційності, можна назвати:

- Обмеження доступу до інформації, що стосується перевезення;
- Використання альтернативних маршрутів та їх регулярна зміна;
- Рух вночі або в умовах обмеженої видимості;
- Застосування заходів маскування (брзенти, маскувальні покриття);
- Зведення до мінімуму радіозв'язку або використання захищених каналів зв'язку.

Ці заходи зменшують ймовірність виявлення техніки ворогом та підвищують безпеку транспортування.

Безпека та супровід транспортних конвоїв

Безпека конвоїв організовується з метою захисту військової техніки під час транспортування. Її можуть забезпечувати як військові підрозділи, що

виконують функції правоохоронних органів, так і спеціалізовані військові або поліцейські підрозділи.

Серед основних елементів безпеки: супровід з передньої та задньої частин конвою; контроль дотримання маршруту та правил дорожнього руху; організація спостереження за околицями; здатність реагувати на загрози (саботаж, обстріл, блокпости).

У мирний час або в тилових районах супровід можуть забезпечувати поліцейські підрозділи з метою гарантування безпеки дорожнього руху та регулювання руху.

Система узгодження та затвердження маршрутів перевезення

Перевезення великогабаритного та важкого військового обладнання здійснюється на підставі спеціальних дозволів. Система узгодження передбачає, що маршрут перевезення повинен бути затверджений органами, відповідальними за дорожню інфраструктуру та безпеку дорожнього руху.

Процедура узгодження включає: визначення характеристик вантажу (вага, габарити); перевірку відповідності маршруту чинним нормам; отримання дозволів на проїзд по дорогах загального користування; видачу спеціальних посвідчень для транспортних засобів та персоналу.

У рамках бойових операцій процедура може бути спрощена, проте навіть у таких випадках необхідна координація дій між військовими підрозділами.

Таким чином, перевезення військової техніки автомобільним транспортом характеризується підвищеними вимогами щодо технічної підготовки, організації процесів та безпеки. Дотримання встановлених стандартів та правил сприяє мінімізації ризиків, збереженню техніки та забезпеченню ефективного виконання логістичних місій за будь-яких умов.

1.3. Нормативно-правова база

Українські військові статuti (повний перелік)

Найважливішими військовими статутами, що регулюють діяльність збройних сил (включаючи транспорт), є такі:

- Внутрішні статuti Збройних Сил України
- Дисциплінарні статuti Збройних Сил України
- Положення про гарнізонну та вартову службу у Збройних Силах України

Ці статuti є основоположними правовими актами, що встановлюють наступне:

- Встановлення порядків організації службових обов'язків;
- Регуляція поведінки військовослужбовців у складі маршових формування та під час маршів;
- Встановлення положень щодо безпеки техніки та об'єктів;
- Встановлення дисципліни та відповідальності під час виконання транспортних наказів.

Крім того, у сфері транспорту застосовуються такі положення:

Бойові статuti (наприклад, перевезення підрозділів під час операцій);

Керівні принципи щодо моторизованих підрозділів та логістики (міністерські документи Збройних Сил України (ЗСУ)).

Конкретні накази Міністерства оборони України

- Регулювання автомобільних перевезень у Збройних Силах України (ЗСУ) регулюється низкою наказів Міністерства оборони (МОУ), найважливішими з яких є такі:

- Наказ Міністерства оборони № 322 від 10 червня 2011 року
- Центральний звід нормативних актів. Затверджує рекомендації щодо організації та планування перевезень вантажів та особового складу автотранспортними засобами у Збройних Силах України.

Він визначає наступне:

- Порядок планування перевезень;
- Формування транспортних підрозділів;
- Розрахунок потреб у перевезеннях;
- Вимоги безпеки.
- Наказ Міністерства оборони України від 10.06.2011 №322 «Про затвердження Інструкції про організацію та планування перевезень вантажів і пасажирів автомобільним транспортом у Збройних Силах України».
- Положення Міністерства оборони № 440 Регулює реєстрацію та управління транспортними засобами під час перевезень.
- Положення Міністерства оборони № 280 Застосовується до планування перевезень військовослужбовців.
- Положення Міністерства оборони № 359 Встановлює правила перевезення зброї та боєприпасів.
- Окремі положення Міністерства оборони з таких питань: Дозволи на експлуатацію обладнання (наприклад, № 588, 655 тощо); логістичне забезпечення; автотранспортні підрозділи; перевезення небезпечних вантажів.

Крім того, сучасна практика також використовує систематичні положення Міністерства оборони (Меморандуми про взаєморозуміння), що регулюють організацію логістичного та технічного забезпечення, а також діяльність підрозділів (наприклад, № 300, № 440, № 744 тощо).

1.4 Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду військової логістики

Сучасні підходи до організації військової логістики базуються на поєднанні національного бойового досвіду та практики найрозвиненіших країн світу. Аналіз цих підходів дозволяє не лише оцінити ефективність існуючих рішень,

але й визначити напрямок трансформації логістичних систем для задоволення вимог сучасної війни.

Поглиблений аналіз досвіду Збройних Сил України

Досвід Збройних Сил України у період з 2014 по 2026 рік підтверджує важливу роль автомобільного транспорту як основи оперативної мобільності військ. Ця роль виявилася особливо важливою за таких умов:

- Руйнування транспортної інфраструктури;
- Нестабільність ліній фронту;
- Необхідність швидкого переміщення військ.

Окрім уже згаданих проблем, практичний досвід виявив кілька системних викликів:

- Фрагментація логістичних систем (відсутність єдиного цифрового середовища управління);
- Обмежена інтеграція розвідувальних даних у логістику (затримки в оновленні маршрутів);
- Слабка стандартизація процесів між різними компонентами збройних сил;
- Опора на людський фактор у прийнятті рішень.

Досвід України показує, що логістика може ефективно функціонувати навіть у складних та мінливих умовах завдяки своїй здатності швидко адаптуватися до навколишнього середовища, впроваджувати децентралізовані та гнучкі рішення, а також активно брати участь у роботі волонтерів та цивільних ресурсів. Ці фактори разом підтримують стабільність та ефективність усієї системи.

Зарубіжний досвід країн-членів НАТО

Країни-члени НАТО (зокрема, США, Велика Британія та Польща) демонструють системний підхід до організації військової логістики, що базується на таких принципах:

- Наскрізна логістика (повний контроль ланцюга поставок);

- Оперативна сумісність між підрозділами та союзниками;
- Стандартизація процедур відповідно до стандартів STANAG;
- Централізоване управління з елементами децентралізованого виконання.

Ключовою характеристикою є широке використання цифрових технологій:

- Системи управління транспортом (TMS);
- Інтегровані логістичні платформи;
- Системи ситуаційної обізнаності (спільна ситуаційна обізнаність).

Використання сучасних технологій

У розвинених арміях значну роль відіграють інформаційно-аналітичні системи, зокрема: відстеження переміщень обладнання за допомогою GPS/ГЛОНАСС; системи прогнозування використання транспортних мереж; та автоматизовані системи управління запасами. Ці рішення пропонують: підвищену прозорість логістичних процесів; коротший час реагування; мінімізацію втрат та ефективніше використання ресурсів.

Особливої уваги заслуговує використання: аналітики великих даних для прогнозування попиту на логістику; штучного інтелекту для оптимізації маршрутів; та цифрових двійників для моделювання логістичних процесів.

Алгоритмічні методи та оптимізація

Математичні методи вирішення логістичних задач широко використовуються в країнах НАТО, зокрема:

- задача планування транспортних засобів (VRP);
- задача комівояжера (TSP);
- мережеві моделі для розподілу ресурсів.

Ці методи реалізуються у вигляді: автоматизованих систем підтримки рішень;

програмного забезпечення для планування логістики; адаптивних алгоритмів, що враховують зміну оперативної ситуації в режимі реального часу.

Перспективи впровадження в Україні

Аналіз показує, що для підвищення ефективності військової логістики в Україні рекомендуються такі заходи:

- Створення єдиної цифрової логістичної платформи;
- Інтеграція інтелектуальних систем у систему управління транспортом;
- Використання алгоритмічних методів для оптимізації маршрутів;
- Підвищення рівня автоматизації в управлінні транспортом;
- Адаптація стандартів НАТО до національного контексту.

Висновки. Згідно з теоретичним аналізом, транспортування сучасної бронетехніки, такої як БТР-4, Leopard 2 та M109, є складною логістичною операцією через її значні розміри та вагу. Тому необхідно використовувати низькопрофільні та міцні судна, а також суворо дотримуватися обмежень навантаження на осі та стандартів НАТО.

Ключ до підвищення ефективності транспортування полягає в поєднанні бойового досвіду українських військових із системами цифрового відстеження (GPS, TMS) для мінімізації ризиків та оптимізації транспортних маршрутів у конфліктних ситуаціях.

РОЗДІЛ 2. ПРИНЦИПИ МУРАШИНОЇ ЛОГІСТИКИ ТА АЛГОРИТМ АСО

2.1 Концепція ройового інтелекту (Swarm Intelligence)

Ройовий інтелект – це сучасна наукова концепція, яка описує колективний механізм поведінки децентралізованих систем. Згідно з цим механізмом, численні окремі елементи приймають складні рішення шляхом взаємодії без центрального контролю. У цих рамках кожен системний елемент діє на основі локальної інформації та простих правил, але сукупний результат цих взаємодій зрештою формує ефективну загальну стратегію.

З точки зору штучного інтелекту, колективний інтелект вважається підкатегорією розподілених комп'ютерних систем, здатних до самоорганізації, адаптації та оптимізації. Основними характеристиками цих систем є:

- Відсутність центральної точки керування;
- Паралельне виконання дій;
- Адаптивність до динамічних середовищ;
- Використання особинами методів непрямой комунікації.
- Біологічні основи та аналогії

Концепція ройового інтелекту базується на спостереженні за соціальною поведінкою в природі. Колонії мурах, бджіл та зграї птахів є чудовими прикладами. У цих групах особини не володіють повною інформацією про всю систему, але досягають скоординованої поведінки завдяки локальним взаємодіям.

Класичним прикладом є поведінка мурах під час пошуку їжі. Мурахи залишають хімічні сліди – феромони – під час руху своєю територією, впливаючи на вибір маршрутів іншими особинами. З часом більше феромонів накопичується вздовж найкоротших та найефективніших шляхів, що сприяє їм. Цей механізм ілюструє те, що відомо як «непряма взаємодія» або «синергія феромонів».

Подібні принципи існують і в інших біологічних системах:

- Бджоли використовують «танці» для оптимізації пошуку нектару та обміну інформацією про ресурси;
 - Птахи координують свої польоти в групах, щоб уникнути зіткнень та підтримувати оптимальні відстані;
 - Косяки риб об'єднуються, щоб зменшити ризик нападів хижаків.
- Усі ці приклади демонструють, що природні системи можуть ефективно вирішувати складні проблеми без централізованого контролю.

Застосування колективного інтелекту в транспорті та логістиці

Принципи колективного інтелекту широко застосовуються в транспорті та логістиці, особливо в ситуаціях, що вимагають оптимізації маршрутів, управління дорожнім рухом та ефективного використання ресурсів. Ці методи особливо важливі в складних та динамічних середовищах, таких як військова логістика. Основні сфери застосування:

- Планування маршрутів: визначення оптимальних маршрутів з урахуванням різних факторів (затори, небезпеки, обмеження);
- Управління автопарком: координація великої кількості транспортних одиниць без центрального центру управління;
- Адаптація до змін навколишнього середовища: швидке реагування на змінені дорожні або експлуатаційні умови;
- Розподіл ресурсів: ефективне використання транспортних засобів та матеріальних ресурсів.

У сучасних логістичних системах ці методи реалізуються за допомогою спеціалізованих алгоритмів, зокрема оптимізації мурашиних колоній (АСО), яка моделює поведінку мурашиних колоній для пошуку оптимальних або майже оптимальних рішень.

Використання ройового інтелекту може посилити стійкість логістичних систем до зовнішніх впливів, забезпечити гнучкість управління та зменшити залежність від централізованих структур. Це особливо важливо у військових

операціях, де ситуації швидко змінюються, а традиційні методи планування можуть виявитися неефективними.

Тому концепція ройового інтелекту формує теоретичну основу для розробки сучасних алгоритмів оптимізації, які можуть ефективно вирішувати складні транспортно-логістичні проблеми, особливо в ситуаціях невизначеності та обмежених ресурсів.

2.2. Біологічна основа: поведінка мурашок, феромонові сліди, стигмергія

Біологічна основа алгоритмів логістики мурах лежить у поведінкових моделях соціальних комах, зокрема мурах. Мурахи демонструють високоефективні механізми колективного дослідження та оптимізації шляхів. Хоча можливості окремих мурах обмежені, колонія мурах знаходить найкоротший шлях до джерел їжі та адаптується до змін навколишнього середовища. Ці характеристики послужили основою для розробки алгоритмів оптимізації.

Механізм феромонової комунікації: мурашки залишають хімічний слід на шляху до їжі.

Ключовим елементом поведінки мурах є використання феромонів, які є хімічними сигналами. Під час руху від гнізда до джерела їжі мурахи залишають певні хімічні сліди, що надають інформацію про напрямок іншим мурахам. Чим сильніший феромонний слід, тим вища ймовірність того, що інші мурахи оберуть цей шлях.

З точки зору самоорганізації, цей метод комунікації дозволяє системі функціонувати без центрального контролю. Кожна мураха приймає рішення індивідуально, спираючись виключно на силу феромонів. Однак ці колективні рішення призводять до ефективної поведінки загалом.

Позитивний зворотний зв'язок: коротші шляхи отримують більше феромону і більше мурашок.

Однією з ключових особливостей взаємодії феромонів є позитивний зворотний зв'язок. Якщо певний шлях коротший або зручніший, мурахи використовують його швидше та частіше, залишаючи після себе більше феромонів. Це збільшує ймовірність того, що інші мурахи оберуть цей шлях.

З часом оптимальний шлях підкріплюється, тоді як менш ефективні шляхи поступово втрачають значення. Завдяки цьому механізму колонії мурах можуть автоматично знаходити оптимальне рішення без необхідності централізованого аналізу всіх можливих шляхів.

Стигмергія — непряма координація через зміну середовища без прямого спілкування.

Координація поведінки мурах досягається за допомогою явища, яке називається стигмаражем. Особини взаємодіють, змінюючи навколишнє середовище. У випадку мурах це середовище є феромонним слідом.

Стигмергія пропонує такі переваги: прямий контакт між особинами не потрібен; система має високу масштабованість (керування не стає складним навіть зі збільшенням кількості мурах). Вона пропонує чудову гнучкість та адаптивність до змін навколишнього середовища.

Цей принцип широко застосовується до штучних систем, зокрема до алгоритмів оптимізації, де агенти взаємодіють через спільні інформаційні структури (наприклад, матриці феромонів). Випаровування феромонів та механізм забування

Ще одним важливим аспектом є випаровування феромонів. З часом інтенсивність хімічних слідів зменшується, що призводить до поступового «забуття» невикористаних або неефективних шляхів.

Цей механізм виконує кілька функцій, зокрема:

- Запобігання надмірній залежності від певних шляхів.
- Дозволяє системі адаптуватися до змін (наприклад, поява нових та ефективніших шляхів).

- Підтримка балансу між дослідженням нових варіантів та використанням раніше знайдених рішень.

У контексті математичного моделювання це відповідає зменшенню ваги, наданої попереднім рішенням, щоб уникнути локальних оптимумів та підвищити ефективність дослідження.

Таким чином, поведінка мурах, заснована на комунікації з феромонами, позитивному зворотному зв'язку та стигмергії, є прикладом ефективної розподіленої системи прийняття рішень. Ці біологічні принципи формують основу для розробки алгоритмів оптимізації, які успішно використовуються в транспортній логістиці, зокрема в плануванні маршрутів та управлінні транспортом.

2.3. Алгоритм мурашиної колонії (ACO): математична модель

Задача комівояжера (TSP) та задача маршрутизації транспортних засобів (VRP)

Алгоритм оптимізації мурашиних колоній (ACO) належить до категорії метагенетичних методів, які імітують колективну поведінку мурашиних колоній під час пошуку їжі. Цей алгоритм був вперше запропонований Марко Доріго у 1992 році для вирішення задач комбінаторної оптимізації.

Задача комівояжера (Travelling Salesman Problem, TSP) є класичною NP-складною задачею, яка полягає у знаходженні найкоротшого замкненого маршруту, що проходить через усі задані пункти рівно один раз. Формально: для графа $G=(V,E)$ з множиною вершин $V=\{1,2,...,n\}$ та матрицею відстаней d_{ij} необхідно знайти перестановку π , що мінімізує:

$$L(\pi) = \sum_{i=1}^{n-1} d_{(\pi(i),\pi(i+1))} + d_{(\pi(n),\pi(1))} \quad (2.1)$$

де $L(\pi)$ — загальна довжина маршруту;

π — порядок проходження пунктів (маршрут);

n — кількість пунктів маршруту;

$d(\pi(i), \pi(i+1))$ — відстань між двома сусідніми пунктами;

$d(\pi(n), \pi(1))$ — відстань від останнього пункту назад до першого (замикання маршруту в цикл).

Таблиця 2.1

Параметри алгоритму мурашиної колонії

Параметр	Позначення	Типові значення	Вплив на роботу алгоритму
Кількість мурашок	m	10–50	Більше мурашок — ширший пошук, але вища обчислювальна складність
Коефіцієнт впливу феромону	α	1–2	Високі значення підсилюють роль накопиченого досвіду колонії
Коефіцієнт евристики	β	2–5	Високі значення надають перевагу локально привабливим рішенням
Швидкість випаровування	ρ	0.1–0.5	Регулює баланс між експлорацією та експлуатацією

Задача про маршрутизацію транспортних засобів (VRP) є узагальненням задачі про комівояжера (TSP) і призначена для ситуацій, у яких задіяно кілька

транспортних засобів з обмеженою вантажопідйомністю. У контексті військової логістики задача VRP також повинна враховувати додаткові обмеження, зокрема часові вікна доставки, пріоритетність вантажу, прохідність маршруту та вимоги безпеки.

Параметри α та β визначають відносний вплив феромонового сліду та евристичної інформації. При $\alpha=0$ алгоритм перетворюється на жадібний евристичний метод; при $\beta=0$ вибір базується виключно на феромоні, що може призвести до передчасної збіжності.

Формула вибору наступного вузла

Мурашка k , що перебуває у вузлі i , обирає наступний вузол j з імовірністю:

$$p_{ij}^k = \frac{([\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta)}{(\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta)}, \quad j \in N_i^k \quad (2.2)$$

де τ_{ij} — інтенсивність феромону на ребрі (i,j)

$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ — евристична привабливість (обернена відстань)

N_i^k — множина допустимих вузлів для мурашки k з позиції i (ще не відвідані)

Ця стохастична формула забезпечує баланс між інтенсифікацією пошуку (слідування феромоновим слідам) та диверсифікацією (дослідження нових шляхів).

Оновлення феромонового сліду

Після завершення кожної ітерації феромонова матриця оновлюється у два етапи:

1. Випаровування на всіх ребрах:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} \quad (2.3)$$

2. Підсилення на ребрах, що входять до побудованих маршрутів:

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (2.4)$$

де внесок кожної мурашки:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L^k}, & \text{якщо ребро } (i, j) \in \text{маршрут } k \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (2.5)$$

де Q — константа, L^k — довжина маршруту мурашки k . Таким чином, коротші маршрути отримують більше феромону, що поступово спрямовує колонію до оптимальних рішень.

Критерії зупинки

Алгоритм завершує роботу при виконанні однієї з умов:

- Досягнення максимальної кількості ітерацій $t_{\max}$ — гарантує обмежений час виконання
- Стабілізація рішення — відсутність покращення найкращого знайденого маршруту протягом заданої кількості ітерацій (наприклад, 50–100)
- Досягнення цільового значення — якщо відома нижня межа оптимуму або прийнятний рівень якості.

Для задач військової логістики часто застосовують комбінований критерій: обмеження часу обчислень з контролем якості рішення відносно базових евристик.

2.4. Модифікації АСО: порівняльний аналіз

Ant System — базовий алгоритм

Ant System, запропонована Марко Доріго в 1992 році, система мурах стала першою реалізацією алгоритму оптимізації мурах. Її ключовою особливістю є те, що наприкінці кожної ітерації всі мурахи в колонії беруть участь в оновленні матриці феромонів.

Механізм оновлення феромонів у системі AS:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m + \Delta\tau_{ij}^k \quad (2.6)$$

де внесок кожної мурашки:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L^k}, & \text{якщо } (i, j) \in T^k \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (2.7)$$

де T^k — маршрут, побудований мурашкою k

L^k — довжина цього маршруту

Q — константа масштабування

Переваги: простота реалізації, хороша диверсифікація пошуку.

Недоліки: повільна збіжність, значні обчислювальні витрати на великих задачах через оновлення феромону всіма мурашками.

Ant Colony System (ACS)

Ant Colony System (Dorigo & Gambardella, 1997) є суттєво вдосконаленою версією базового алгоритму з трьома ключовими модифікаціями.

1. Псевдовипадковий пропорційний вибір:

Мурашка у вузлі i обирає наступний вузол за правилом:

$$j = \begin{cases} \arg \max_{l \in N_i^k} \{\tau_{il} \cdot \eta_{il}^\beta\}, & \text{якщо } q \leq q_0 \\ J, & \text{інакше} \end{cases} \quad (2.8)$$

де q — випадкове число з $0,1$ — параметр (зазвичай 0.9), J — вузол, обраний за стандартною ймовірнісною формулою.

2. Глобальне оновлення феромону:

Тільки найкраща мурашка (глобально або в ітерації) оновлює феромон:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}^{best} \quad (2.9)$$

$$\Delta\tau_{ij}^{best} = \frac{1}{L^{best}} \quad (2.10)$$

3. Локальне оновлення феромону:

Після кожного переходу мурашка зменшує феромон на пройденому ребрі:

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \xi) \cdot \tau_{ij} + \xi \cdot \tau_0 \quad (2.11)$$

де ξ — параметр локального випаровування, τ_0 — початковий рівень феромону.

Переваги: швидша збіжність, ефективніше використання найкращих рішень, локальне оновлення сприяє диверсифікації.

MAX-MIN Ant System (MMAS)

MAX-MIN Ant System (Stützle & Hoos, 2000) впроваджує обмеження на рівень феромону для запобігання передчасній збіжності та стагнації.

Обмеження феромону:

$$\tau_{ij} \in [\tau_{min}, \tau_{max}] \quad (2.12)$$

Після кожного оновлення значення феромону примусово коригуються:

$$\tau_{ij} = \begin{cases} \tau_{max}, & \text{якщо } \tau_{ij} > \tau_{max} \\ \tau_{min}, & \text{якщо } \tau_{ij} < \tau_{min} \\ \tau_{ij}, & \text{інакше} \end{cases} \quad (2.13)$$

Розрахунок меж:

$$\tau_{max} = \frac{1}{\rho \cdot L^{best}} \quad (2.14)$$

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max}}{a} \quad (2.15)$$

де a — параметр, що визначає співвідношення меж (типово $a = 5$).

Додаткові особливості:

- Початкова ініціалізація феромону на рівні τ_{max} — забезпечує широкий пошук на початку
- У разі застрягання слід регулярно виконувати перезапуск
- Оновлення феромонів здійснюють лише мурахи, які продемонстрували найкращі результати

Переваги: надійність, стійкість до передчасного збігу, здатність знаходити якісні рішення для складних задач.

Rank-Based Ant System (RANK-AS)

Rank-Based Ant System (Bullnheimer et al., 1999) впроваджує зважене оновлення феромону на основі рангу мурашок. Механізм ранжування:

Після кожної ітерації мурашки сортуються за якістю маршруту. Тільки m найкращих мурашок та глобально найкраще рішення оновлюють феромон.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \sum_{r=1}^{w-1} (w - r) \cdot \Delta\tau_{ij}^r + w \cdot \Delta\tau_{ij}^{best} \quad (2.16)$$

де r — ранг мурашки (1 — найкраща в ітерації)

w — кількість елітних мурашок

$w-r$ — ваговий коефіцієнт

Внесок мурашки рангу r :

$$\Delta\tau_{ij}^r = \frac{1}{L^r} \quad (2.17)$$

Переваги: удаю зберігається ідеальний баланс між пошуком і розробкою. Найкращі ідеї мають найбільший вплив, але й ідеї, що не мали великого успіху, роблять не менший внесок.

Таблиця 2.2

Порівняння мурашиних алгоритмів за основними критеріями ефективності

Критерій	AS	ACS	MMAS	RANK-AS
Швидкість збіжності	Низька	Висока	Середня	Середня
Стійкість до стагнації	Низька	Середня	Висока	Середня
Якість рішень	Базова	Висока	Дуже висока	Висока
Обчислювальна складність	Висока	Низька	Середня	Середня
Кількість параметрів	Мала	Середня	Середня	Середня

Вибір алгоритмів для вирішення задач військової логістики

Для вирішення транспортних задач у сфері військової логістики, зокрема щодо перевезення військових вантажів, ми рекомендуємо застосовувати алгоритм пошуку за принципом «максимум-мінімум» (MMAS) або гібридний метод ACS+MMAS з наступних причин.

1. Специфіка військового транспорту:

З огляду на високу ціну невдачі, потрібні високоякісні рішення, а не просто прагнення до швидкості. Через динамічні зміни умов (таких як стан доріг та загрози) алгоритм повинен мати характеристики, що запобігають потраплянню в локальні оптимуми. Багатоцільова оптимізація (час, безпека та вантажопідйомність) призводить до більш складного простору пошуку.

2. Переваги MMAS для військової логістики:

$$\text{Ефективність}_{MMAS} = f(\text{якість, робастність, адаптивність})$$

- Завдяки обмежувальним заходам, пов'язаним із феромонами, можна запобігти «застряганням» робота на небезпечних ділянках маршруту з невеликою відстанню
- Функція перезавантаження допомагає реагувати на зміни в умовах експлуатації
- Якість прийняття рішень має вирішальне значення для зниження ризиків

3. Рекомендовані модифікації базового MMAS:

- Введення динамічних ваг ребер для врахування рівня загрози:

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij} \cdot (1 + \theta_{ij})} \quad (2.18)$$

де θ_{ij} — коефіцієнт небезпеки ділянки маршруту

- Багатоколонійний підхід для паралельної оптимізації різних критеріїв
- Інтеграція з системами реального часу для динамічного перепланування

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

3.1. Характеристика об'єкта дослідження

Характеристика логістичного підрозділу (на прикладі 104-ї окремої механізованої бригади імені Остафа Дашковича)

104-та окрема механізована бригада імені Остафа Дашковича — це спеціалізований логістичний підрозділ Збройних сил України. Її основним завданням є надання логістичної підтримки різним підрозділам як у мирний час, так і в умовах війни, а також організація та забезпечення автомобільних перевезень.

Основні завдання підрозділу:

- Перевезення особового складу, зброї та військової техніки;
- Перевезення військових вантажів та технічних засобів (боєприпасів, палива та мастильних матеріалів, продовольства та інших вантажів);
- Забезпечення мобільності та швидкого розгортання військ;
- Евакуація пошкодженої техніки;
- Надання логістичної підтримки під час бойових дій.
- Функціональна роль у системі військового тилу

У рамках Єдиної системи логістичного забезпечення (ЄСУ) Збройних сил України бригада відповідає за функції транспортного забезпечення. Вона слугує важливим ланцюгом між такими підрозділами:

- Склади оперативного/стратегічного рівня;
- Підрозділи логістичного забезпечення;
- Прямі бойові підрозділи.

Технічна база складається з:

- Вантажних автомобілів різної вантажопідйомності;
- Спеціалізованих транспортних засобів (цистерн, евакуаторів, рятувальних машин);

- Транспортних засобів для перевезення особового складу;
- Інструментів технічного обслуговування та мобільних ремонтних майстерень.

- Оперативні характеристики в сучасних умовах

У бойових умовах підрозділи логістичного забезпечення:

- Діють в умовах підвищеного ризику (авіаудари, придорожні міни);
- використовують децентралізовані маршрути доставки;
- застосовують принципи адаптивної логістики;
- інтегровані в системи управління (системи автоматизованого управління логістикою).

Ефективність їхньої діяльності залежить від:

- швидкості доставки матеріалів;
- надійності транспортних операцій;
- стану технічної експлуатації автопарку;
- здатності діяти в умовах невизначеності або загрози.

Показники оперативної ефективності транспортних підрозділів

Оперативна ефективність транспортних підрозділів 104-ї окремої механізованої бригади імені Остафія Дашковича визначається низкою взаємопов'язаних показників. Ці показники відображають якість виконання транспортних завдань, рівень технічного забезпечення та здатність підрозділу виконувати завдання в складних оперативних умовах.

- Швидкість перевезення вантажів

Швидкість перевезення є одним з основних оперативних показників, що впливають на безперебійність логістичного забезпечення підрозділу. Вона відображає здатність транспортного підрозділу виконувати завдання у встановлені терміни з урахуванням складності маршруту, відстані та дорожніх умов. Для підвищення швидкості перевезення необхідно забезпечити раціональне планування

маршрутів, ефективне оперативне управління та оптимальне використання транспортних засобів.

- Надійність транспортних операцій

Надійність відображає стабільність та безперебійне виконання транспортних операцій. Вона охоплює мінімізацію поломок транспортних засобів, дотримання розкладів руху та зменшення ризику втрати або пошкодження вантажу. Ключовими факторами забезпечення надійності є якісне технічне обслуговування, професійна підготовка водіїв та ефективна організація механізмів супроводу автоколон для транспортного парку.

- Технічний стан транспортних засобів

Технічний стан транспортних засобів безпосередньо впливає на загальну продуктивність транспортних послуг. Він залежить від стану технічного обслуговування транспортних засобів, своєчасності регулярних оглядів та ремонтів, а також наявності запасних частин та витратних матеріалів. Високий рівень технічної готовності допомагає скоротити час простою та покращити використання транспортних засобів.

- Реагування на невизначеність та загрози

У сучасних умовах особливо важливою є здатність транспортних служб адаптуватися до мінливих умов роботи. Це включає здатність швидко коригувати маршрути, працювати в умовах обмеженої інформації, вживати заходів у разі загроз безпеці та забезпечувати виконання завдань під час кризових ситуацій. Використання альтернативних маршрутів, залучення резервних транспортних засобів та впровадження гнучких схем управління перевезеннями відіграють вирішальну роль.

Організаційна структура: 104-ї окремої автотранспортної бригади імені Остафія Дашковича, що відповідає стандартній структурі підрозділів матеріально-технічного забезпечення Збройних сил України, передбачає паралельну ієрархічну та функціональну систему командування, покликану забезпечити автотранспортне та матеріально-технічне забезпечення бригади.

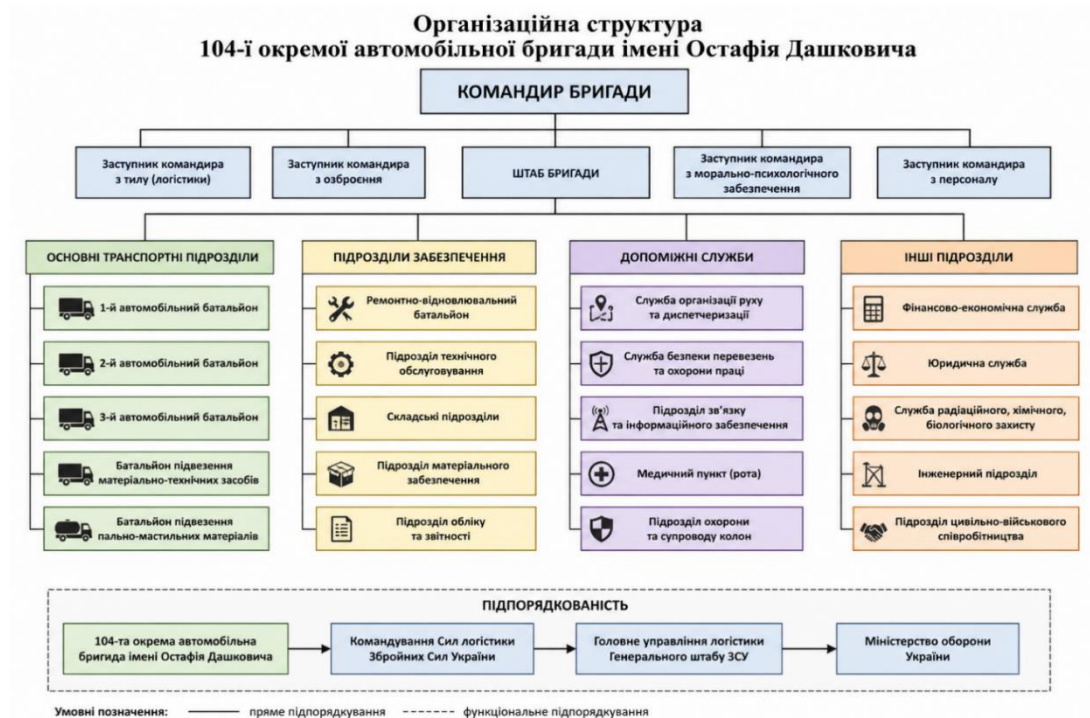


Рис. 3.1 Організаційна структура: 104-ї окремої автотранспортної бригади імені Остафія Дашковича

Транспортна географія (пункти відправлення, пункти призначення, логістичні вузли)

1. Пункти відправлення вантажів

Ключовим елементом системи військових перевезень є пункти відправлення матеріально-технічних ресурсів, що становлять основу логістичного забезпечення. Зокрема, до них належать:

- Центральні та регіональні склади логістичного забезпечення Збройних сил України;
- Бази та арсенали кожного напрямку логістичного забезпечення (озброєння, продовольство, паливо та мастильні матеріали);
- Тилові гарнізони військових частин;
- Центри логістичного забезпечення оперативних штабів.

Зазначені об'єкти відповідають за зберігання, сортування та попередній розподіл поставок перед їх транспортуванням до військових частин.

2. Пункти призначення поставок

Кінцевими пунктами доставки є військові підрозділи та формування всіх рівнів, а саме:

- Оперативні бригади та батальйони, що виконують завдання безпосередньо в районі бойових дій;
- Підрозділи логістичного забезпечення тактичного рівня;
- Гарнізони резервних підрозділів;
- Медичні та евакуаційні підрозділи;
- Передні позиції підрозділів.

Таким чином, транспортна система забезпечує безперервне постачання ресурсів між тилловими логістичними організаціями та безпосередніми користувачами на театрі військових дій.

3. Транспортні вузли

Під час транспортування проміжні пункти в інфраструктурі логістичного забезпечення відіграють вирішальну роль у забезпеченні гнучкості та стабільності транспортної системи. Зокрема, до них належать:

- Транзитні та тимчасові склади для зберігання та перерозподілу поставок;
- Пункти логістичного забезпечення оперативних штабів;
- Пункти збору та формування транспортних підрозділів;
- Бази для технічного обслуговування, поповнення запасів та відпочинку персоналу;
- Пости спостереження та координації під час транзиту.

Зазначені елементи забезпечують безперервність процесу логістичного забезпечення, підвищують його мобільність та сприяють зменшенню ризиків, пов'язаних з транспортом.

4. Просторова структура транспортної географії

Географія військових перевезень характеризується мережевою регіональною організацією, що включає:

- Тилові райони — склади, бази та логістичні центри;
- Оперативні райони — транспортні маршрути та пункти збору;
- Фронтіві райони — райони безпосереднього поповнення запасів підрозділів.

Оперативна обстановка визначає динамічний характер логістичних маршрутів, що вимагає постійної адаптації до оперативної обстановки, стану транспортної інфраструктури та рівня загрози.

5. Особливості організації перевезень

У сучасних умовах загрози організація військових перевезень має низку характерних особливостей:

- Використання альтернативних та обхідних маршрутів;
- Урізноманітнення вантажопотоків для мінімізації ризику пошкодження;
- Інтеграція транспортних операцій із системами супроводу та захисту конвоїв;
- Коригування логістичного планування в режимі реального часу з урахуванням умов безпеки та місцевих умов.

Ці заходи підвищують стійкість логістичної системи та забезпечують стабільність постачання матеріальних засобів до підрозділів.

3.2. Аналіз парку транспортних засобів для перевезення техніки

Загальні характеристики транспортних підрозділів

Транспортні підрозділи, що використовуються для перевезення військової техніки, є ключовим компонентом системи логістичного забезпечення підрозділу. Їхнім основним завданням є безпечне та швидке розгортання бронетехніки,

інженерного обладнання та іншого важкого обладнання між гарнізонами, базами технічного обслуговування, пунктами збору та оперативними зонами.

З точки зору конструкції, транспортні засоби, що використовуються для перевезення обладнання, можна умовно класифікувати на дві категорії:

- Спеціалізовані важкі броньовані військові машини;
- Цивільні вантажівки;
- Модифіковані відповідно до військових вимог.

Транспортні засоби, що належать до цих двох категорій, мають унікальні технічні, експлуатаційні та функціональні характеристики, які визначають сфери їх застосування в системі військового логістичного забезпечення

Спеціалізовані військові тягачі та транспортні системи

Перша категорія складається зі спеціалізованих транспортних засобів, спеціально розроблених для військового використання, призначених для перевезення надважких та надважких вантажів, зокрема основних бойових танків, інженерного обладнання та іншої зброї.

Найбільш показовим прикладом є система транспортування важкого обладнання корпорації Oshkosh, яка широко використовується збройними силами держав-членів НАТО.

Ключові характеристики цих авто: висока вантажопідйомність (70-80 тонн і більше); багатоосьова конфігурація для рівномірного розподілу навантаження; посилене шасі та ходова частина; потужні позашляхові можливості для складної місцевості; система буксирування, спеціально розроблена для транспортування бронетехніки.

Ці транспортні системи дозволяють транспортувати важке обладнання на великі відстані без необхідності його керування, зменшуючи знос та пошкодження бойових машин.

Використання комерційних вантажівок у військовій логістиці

Друга категорія складається з комерційних вантажівок з високою вантажопідйомністю, які широко використовуються для військових перевезень після відповідних модифікацій. Найпоширеніші марки тягачів включають:

- Volvo (серії FH, FM);
- Scania (серії R, G);

Інші європейські виробники важких транспортних засобів. У формуваннях для далеких перевезень ці тягачі зазвичай поєднуються з низькорамними напівпричепами з плоскими платформами для транспортування бронетехніки та інженерного обладнання.

Основні переваги цивільних платформ:

- Висока доступність та простота обслуговування;
- Розгалужена сервісна мережа;
- Гнучкість конфігурації;

Відносно низькі експлуатаційні витрати порівняно зі спеціалізованими військовими системами. Цей тип транспортних засобів широко використовується для внутрішніх тактичних та оперативних перевезень.

Вантажопідйомність та експлуатаційні характеристики

Одним з важливих параметрів оцінки ефективності групи транспортних засобів є її вантажопідйомність та придатність до характеристик обладнання, що перевозиться. Сучасні транспортні системи мають такі характеристики:

Військові тягачі (Oshkosh M1070):



Рис. 3.2 Тягач Oshkosh M1070

- Вантажопідйомність: до 70-80 тонн
- Здатні перевозити основні бойові танки (ОБТ) та важке інженерне обладнання;
- Колони комерційних вантажівок (Volvo, Scania + низькорамні напів-причепи):
- Вантажопідйомність: 40-60 тонн (залежно від конфігурації колісної бази);
- Універсальні для перевезення різних типів обладнання.

Розміри низькорамної платформи:

- Загальна довжина: приблизно 10-15 метрів;
- Загальна ширина: 2,5-3,2 метра;
- Висота навантаження: приблизно 0,9-1,2 метра.

Збереження низької висоти платформи має вирішальне значення для забезпечення стійкості під час перевезення важкого обладнання та зменшення ризику перекидання.

Технічний стан рухомого складу: коефіцієнт технічної готовності.

Вплив технічного стану транспортних засобів на стабільність військового транспорту: Ефективна експлуатація транспортних засобів у військових логістичних операціях залежить від їхньої експлуатаційної надійності. Коли обладнання необхідно перевести в оперативний режим, технічний стан транспортних засобів є не лише економічним показником, але й ключовим фактором, що безпосередньо впливає на успіх або невдачу операції. Індекс технічної готовності та його змінні: Коефіцієнт технічної готовності є ключовим комплексним показником, що вимірює можливості транспортного підрозділу. Він відображає відсоток транспортних засобів у групі транспортних засобів, які негайно доступні для використання за призначенням.

$$K_{\text{тг}} = \frac{T_{\text{спрв}}}{T_{\text{заг}}} \quad (3.1)$$

де $T_{\text{справ}}$ — кількість справних одиниць техніки, що пройшли необхідний технічний огляд та не мають несправностей, які перешкоджають безпечному руху;

$T_{\text{заг}}$ — загальна (облікова) кількість транспортних засобів у розпорядженні логістичного підрозділу.

Зменшення $K_{\text{тг}}$ може спричинити «вузькі місця» в транспортній мережі. У контексті Ant Logistics це еквівалентно зниженню пропускної здатності ребра графа, оскільки можливість несправності пристрою під час транспортування може загрожувати всьому маршруту колони. Поетапна класифікація рівнів технічного стану: У логістичних операціях готовність флоту зазвичай класифікується на три основні стани. Оптимальний рівень ($K_{\text{тг}} = 0.85\text{--}0.95$): Характеризується підрозділами з чітко встановленими системами планового технічного обслуговування. За цих умов ризик технічного збою мінімізований, тому планування маршруту виконується відповідно до логістичних алгоритмів на основі критеріїв мінімізації часу. Граничний рівень ($K_{\text{тг}} = 0.75\text{--}0.85$): Виникає під час тривалих маршів, пересіченої місцевості або в ситуаціях, коли немає стаціонарних баз технічного обслуговування. У цьому випадку логістична модель повинна включати додаткові часові запаси на ремонт, який може виникнути під час транзиту. Кризовий рівень ($K_{\text{тг}} < 0.75$): Індикатор, коли ймовірність недотримання термінів доставки стає неприйнятно високою. Деякі операції парку повинні бути негайно призупинені для відновлювальних робіт.

Для підтримки $K_{\text{тг}}$ на належному рівні та забезпечення безперебійного транспортування було впроваджено такі заходи:

- Система планування та раннього попередження (PWS): Обов'язкове технічне обслуговування (ТО-1, ТО-2) проводилося після досягнення певних точок пробігу, незалежно від фактичного стану обладнання. Це запобігало неочікуваним поломкам під час транспортування.
- Своєчасне відновлення та ремонт: Зношені деталі та компоненти швидко замінювалися до повного виходу з ладу.

- Логістика запасних частин: Мобільні комплекти запасних частин (комплекти SPK) супроводжували колону для ремонту на місці.
- Стратегічне зациклення: Вантаж перерозподілявся між новим обладнанням та обладнанням з великим пробігом. У моделі логістики мурашиної колонії це досягається шляхом динамічного перерозподілу мурашиних агентів на менш зношені частини мережі.

Отже, $K_{\text{т}}$ не є фіксованим значенням, а динамічним параметром, який алгоритм повинен постійно контролювати та враховувати під час розрахунку оптимального маршруту для транспортування військової техніки.

Відповідність транспортних засобів вимогам перевезення негабаритних вантажів.

За своєю природою, перевезення військової техніки (танків, самохідної артилерії, інженерних машин) належить до категорії вантажних перевезень зі спеціальною вагою та габаритами. Тому використання спеціалізованих транспортних засобів та суворе дотримання технічних специфікацій є важливими, що безпосередньо впливає на гнучкість транспортного процесу.

Параметри вантажопідйомності та навантаження на вісь

Одним з ключових елементів планування маршруту є сумісність між вагою техніки та несучою здатністю доріг та штучних споруд (мостів, естакад).

- Розподіл ваги: Конструкція транспортного засобу повинна забезпечувати рівномірний розподіл навантаження по осях. Це запобігає деформації дорожнього покриття та забезпечує керованість дорожнім транспортом.
- Контроль навантаження: «Обмеження ваги» необхідно враховувати під час використання алгоритмів оптимізації. Якщо навантаження на вісь перевищує допустиме значення, система автоматично виключає відповідний сегмент дороги з карти маршруту «Алгоритм колонії мурах».

Вимоги до конструкції платформи:

- Для забезпечення безпеки обладнання та безпеки руху використовуються спеціалізовані низькорамні причепа (важкі вантажівки) з такими характеристиками.
- Низький центр ваги: Низька платформа знижує загальну висоту транспортного засобу, що має вирішальне значення для експлуатації під естакадами, лініями електропередач та тунелями.
- Посилена рама: Використовується високоміцна сталь та додаткові поздовжні балки, щоб витримувати зосереджені навантаження гусеничного обладнання.
- Гідравлічна система регулювання висоти: Сучасні напівпричепа оснащені системами регулювання висоти та кута під'їзду для легкого завантаження та розвантаження (самозапуску) обладнання в польових умовах.

Стабільність та безпека в динамічних процесах

Безпечне переміщення важкоброньованої техніки під час транспортування забезпечується за допомогою таких інтегрованих інженерних рішень:

- Багатоосьова конфігурація: Стабільність вантажу забезпечується за допомогою тягачів та напівпричепів з 6 до 12 осей.
- Системи безпеки: Протиковзкі покриття платформи та посилені натягувачі ланцюгів фіксують вантаж, запобігаючи його руху під час екстреного гальмування або різких поворотів.
- Контроль осі: Система примусового керування колесами напівпричепа покращує маневреність на вузькій місцевості, такій як вузькі перехрестя або дороги, що ведуть до місць розвантаження.

Адаптація до складних дорожніх умов, військові перевезення часто передбачають операції поза дорогою. Тому транспортні засоби повинні мати вищий рівень прохідності по бездоріжжю.

- Всюдихідний тягач: Використовує шасі з повним приводом (6х6, 8х8), оснащене системою контролю тиску в шинах.
- Позашляхові характеристики: Забезпечує стабільне керування навіть на тимчасових ділянках доріг та слизьких поверхнях.
- Захист: Оснащений захисними кришками для захисту паливного бака, гальмівної системи та двигуна від механічних пошкоджень під час руху по бездоріжжю.

3.3. Аналіз маршрутів і схем переміщення техніки

Характеристика дорожньої мережі транспортного маршруту (Черкаси - Краматорськ). Військово-транспортний маршрут з Черкас до Краматорська перетинає центральну та східну Україну, переважно використовуючи основні національні автомагістралі (дороги категорії М та N) та деякі місцеві дороги.

Основний маршрут такий:

Черкаси → Полтава → Харків → Іюм → Краматорськ

Типи доріг на маршруті:

- Міжнародні та національні автомагістралі (М03, М22 та прилеглі ділянки). Це основні артерії маршруту. Покриття асфальтобетонне, рух інтенсивний, можуть проїжджати великі вантажні поїзди.
- Місцеві дороги (категорія Р). Використовуються як об'їзні шляхи та під'їзні шляхи до пунктів завантаження/розвантаження. Стан дорожнього покриття варіюється від доброго до поганого.
- Міські райони (Черкаси, Полтава, Харків, Краматорськ) Обмеження швидкості, потік транспорту та дорожні знаки.

Стан дорожнього покриття:

- 60–70% маршруту — дороги з добрим асфальтобетонним покриттям;
- 20–30% — ділянки із середнім рівнем зносу (коліїність, тріщини);

- до 10% — ділянки з обмеженою якістю покриття або ремонтними роботами.

Обмеження маршруту

Під час експлуатації вантажного поїзда Oshkosh M1070 на ділянці Черкаси-Краматорськ необхідно враховувати різні дорожні та інфраструктурні обмеження. Ці обмеження впливають на безпеку руху, обмеження швидкості та вибір оптимального маршруту.

Мости та віадуки

Цей маршрут включає мости, що перетинають кілька великих та середніх водних шляхів, зокрема ті, що знаходяться в басейнах річок Дніпро та Донець.

Основні фактори, що обмежують проїзд цими мостами, такі:

- Допустиме навантаження на вісь та максимально допустима вага
- Обмеження розмірів (ширина дороги, висота конструкції)
- Технічний стан конструкції (чи обмежено проїзд великих вантажних поїздів)

У разі перевищення допустимих параметрів рух транспорту перенаправляється такими способами:

- Використання заздалегідь визначених об'їздів
- Або впровадження спеціальних дозволів, супроводження та перевірок на дорогах

Населенні пункти

Цей маршрут проходить через кілька великих міст та густонаселених регіонів, і включає такі міста: Черкаси, Полтава, Харків, Краматорськ

Основні характеристики руху в цьому регіоні такі:

- Середня швидкість має бути знижена до 30–50 км/год;
- Висока щільність руху;

- Потрібна висока обізнаність щодо безпеки дорожнього руху, а також увага до важких транспортних засобів;
- Під час руху колон необхідний супровід або регулювання дорожнього руху.

Залізничні переїзди

Цей маршрут включає як регульованні, так і нерегульованні залізничні переїзди, що може спричинити тимчасові затримки.

Основні фактори, що впливають на затримки:

- Час очікування на залізничних переїздах (у години пік);
- Потенційні затримки приблизно від 10 до 20 хвилин;
- Вимога додаткових заходів безпеки під час проїзду важких транспортних засобів.

Для мінімізації затримок маршрут планується заздалегідь у консультації з відповідними службами на основі розкладу руху поїздів.

3.4. Оцінка витрат при чинній організації

Витрата палива на існуючому маршруті

Витрата палива є ключовим експлуатаційним показником під час експлуатації маршруту Черкаси-Краматорськ з використанням Oshkosh M1070.

Середня довжина маршруту становить від 620 до 680 кілометрів. З урахуванням дорожніх умов (міські райони, обмеження швидкості, нерівні дорожні покриття) Для розрахунків прийнято середню витрату пального тягача Oshkosh M1070 — 130 л/100 км згідно з технічними характеристиками та даними відкритих джерел.

Таблиця 3.1
Орієнтовні витрати на один рейс

Ділянка маршруту	Відстань (км)	Умови руху	Витрата пального (л/100 км)	Орієнтовна витрата (л)
Черкаси – Полтава	200	траса, нормальні умови	130	260
Полтава – Харків	150	інтенсивний рух, міста	125	195
Харків – Ізюм	140	змішаний режим	132	185
Ізюм – Краматорськ	160	складні умови, військові ділянки	130	205

Поточна організація перевезень часто передбачає експлуатацію порожніх або частково завантажених транспортних засобів, що призводить до зниження загальної ефективності.

Основні причини:

- Причепи повинні повертатися на базу порожніми;
- Відсутність вантажно-розвантажувальних операцій під час зворотного шляху;
- Нерегулярний попит на перевезення;
- Відсутність оптимізації маршрутів та оперативного планування.

Частка порожніх транспортних засобів приблизно така: від 20% до 35% від загальної відстані подорожі, залежно від періоду. Маршрут з найбільшою часткою порожніх транспортних засобів – це зворотний шлях з Краматорська до Черкас.

Неефективне планування також може бути наслідком таких факторів:

- Обмеження інфраструктури щодо використання об'їздів;
- Зміни маршрутів з міркувань безпеки;
- Маршрути колон, що коригуються в режимі реального часу.

3.5. Виявлені проблеми та недоліки

Аналіз організації транспорту на маршруті Черкаси-Краматорськ виявив кілька системних проблем, які негативно впливали на ефективність використання транспортних засобів, споживання ресурсів та загальну надійність логістичного забезпечення.

Неправильний вибір маршруту призводить до надмірного пробігу. Надмірний пробіг є серйозною проблемою для колон і часто спричинений неправильним вибором маршруту. Це проявляється наступним чином:

- Вибір довшого маршруту, коли доступний коротший;
- Вимагання об'їздів через неочікувані обмеження інфраструктури;
- Відсутність оптимізації маршруту на основі фактичних дорожніх умов.

Ці проблеми призводять до таких наслідків:

- Збільшення витрати палива;
- Прискорений знос обладнання;
- Збільшення часу подорожі.

Відсутність систематичної методології планування автопарку

Планування транспорту спирається на ситуативні реагування, не маючи складних методів аналізу та прогнозування.

Основні недоліки:

- Відсутність комплексних алгоритмів планування маршрутів;
- Недостатнє врахування дорожніх умов;

- Недостатня інтеграція даних, пов'язаних з дорожніми умовами, потоком руху та обмеженнями руху;

- Невикористання сучасних інформаційних систем

Крім того, існують такі ризики:

- Низький рівень використання транспортних засобів;
- Збільшення часу простою транспортних засобів;
- Зниження ефективності управління дорожнім рухом

Відсутність ресурсів для швидкої зміни маршруту

Ще одним суттєвим недоліком є відсутність ефективних механізмів швидкого реагування на зміни в дорожній обстановці. Проблеми полягають у наступному:

- Відсутність системи моніторингу дорожнього руху в режимі реального часу;
- Неможливість швидкого розрахунку альтернативних маршрутів;
- Відсутність координації між підрозділами під час операцій конвоювання.

У разі виникнення перешкод (пошкоджена дорога, затори, дорожні знаки):

- Затримки у прийнятті рішень;
- Збільшення часу простою;
- Збільшення витрат на паливо.

Висновки. У цьому розділі проаналізували організацію перевезень вантажівками Oshkosh M1070 на маршруті Черкаси-Краматорськ. Результати дослідження показали, що маршрут характеризується великими відстанями, недостатньою інфраструктурою та нерівним дорожнім покриттям. Аналіз витрат показав, що маршрут страждає від таких проблем, як висока витрата палива, значний знос двигунів та підвищена частота порожніх рейсів. Основні проблеми включають неправильний вибір маршруту, відсутність систематичного планування та недостатні можливості управління транспортними перевезеннями.

Тому існуючу систему необхідно оптимізувати для зниження витрат та підвищення ефективності перевезень.

РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ МУРАШИНОЇ ЛОГІСТИКИ

4.1. Визначення вихідних умов та критеріїв оптимізації маршруту

Для відповідності сучасним вимогам ефективності та безпеки, організація перевезення військової техніки повинна використовувати інтегровані логістичні рішення. У цій дипломній роботі пропонується мультимодальна транспортна схема, що поєднує залізничний та автомобільний транспорт. Ця схема може зменшити завантаження транспортних засобів, зменшити витрату палива та підвищити загальну ефективність транспортування. Військова техніка відправляється з Черкас. На цьому етапі техніка повинна пройти підготовку до завантаження: технічний огляд, перевірка розмірів, кріплення відповідно до стандартів безпеки транспортування та підготовка відповідних документів. Початкове використання залізничного транспорту може забезпечити безпечне та надійне перевезення великої кількості техніки на значні відстані.

Перший етап транспортування включає транспортування обладнання залізницею до Харківської залізничної станції, важливого логістичного вузла для подальшого розподілу обладнання. Харків було обрано пунктом перевалки завдяки добре розвиненій транспортній інфраструктурі, важливому залізничному вузлу та можливості швидко організовувати автомобільні перевезення.

У Харкові обладнання розвантажується з платформи та завантажується на вантажівки: це потужні тягачі Oshkosh M1070, оснащені низькорамними напівпричепами. На цьому етапі обладнання проходить другу перевірку, тягачі проходять технічні перевірки, а потім обладнання збирається в автотранспортний конвой, готовий до початку наступного етапу своєї подорожі.

Другий етап транспортування передбачає перевезення військової техніки автомобільним транспортом із Харкова до Краматорська. Для початкового аналізу було розглянуто базовий маршрут:

Харків → Берестин → Лозова → Барвінкове → Слов'янськ → Краматорськ

Даний маршрут сформований за традиційним принципом вибору транспортного напрямку без використання алгоритмів оптимізації. Його було прийнято як базовий варіант для подальшого порівняння з оптимізованим маршрутом, отриманим за допомогою принципів мурашиної логістики

Основними проміжними контрольними точками базового маршруту є:

- Берестин — контроль технічного стану транспортної колони після виходу з основного логістичного вузла;
- Лозова — проміжний пункт контролю режиму руху та стану кріплення вантажу;
- Барвінкове — контроль проходження складних ділянок маршруту;
- Слов'янськ — передостанній контрольний пункт перед прибуттям у район призначення.

Перевезення здійснюється тягачем Oshkosh M1070 з низькорамним напівпричепом для транспортування танка Leopard 2.

Уздовж маршруту не передбачено окремих пунктів дозаправлення, оскільки запасу пального тягача достатньо для проходження всього маршруту без додаткових зупинок. Перед початком перевезення виконується комплексна перевірка технічного стану транспортного засобу, паливної системи, кріплення вантажу та елементів ходової частини. Вибір маршруту перевезення важкої військової техніки потребує детального аналізу транспортної інфраструктури. При цьому враховуються: Ділянка дороги цього маршруту простягається від Харкова до Краматорська, проходячи через такі міста, як Берестин, Лозова та Барвінкове. Залежно від обраного маршруту та об'їзду, загальна протяжність шляху становить приблизно до 330 кілометрів.

Таблиця 4.1

Основні ділянки маршруту та їх характеристики

Ділянка маршруту	Відстань, км	Категорія дороги	Стан дорожнього покриття	Обмеження за вантажопідйомністю штучних споруд
Харків – Берестин	106	Автомобільна дорога державного значення М18/Е105	Добрий, асфальтобетонне покриття	Мости розраховані на навантаження 60–80 т, обмеження для руху важкої техніки відсутні
Берестин – Лозова	95	Регіональна автомобільна дорога	Задовільний, місцями наявні дефекти покриття	Вантажопідйомність мостів становить 40–50 т, рекомендовано обмеження швидкості руху
Лозова – Барвінкове	63	Територіальна автомобільна дорога	Середній, на окремих ділянках спостерігаються нерівності та пошкодження покриття	Вантажопідйомність мостів 30–40 т, необхідна попередня оцінка технічного стану споруд
Барвінкове – Слов'янськ	50	Регіональна автомобільна дорога	Задовільний	Можливі локальні обмеження для руху великогабаритних і великовагових транспортних засобів
Слов'янськ – Краматорськ	15	Міська та приміська дорожня мережа	Добрий	Рух великогабаритної техніки здійснюється за попереднім погодженням із відповідними службами

4.2. Побудова схеми транспортної мережі

Маршрут перевезення військової техніки проходить автомобільними дорогами державного значення між містами Харків та Краматорськ див. рис. 4.1 . Для аналізу транспортної мережі було виділено основні транспортні вузли, перехрестя та контрольні точки, між якими здійснюється переміщення колони. Особливістю даного перевезення є значна маса та габарити вантажу, що потребує ретельного аналізу транспортної мережі, технічного стану доріг та допустимого навантаження на дорожню інфраструктуру.

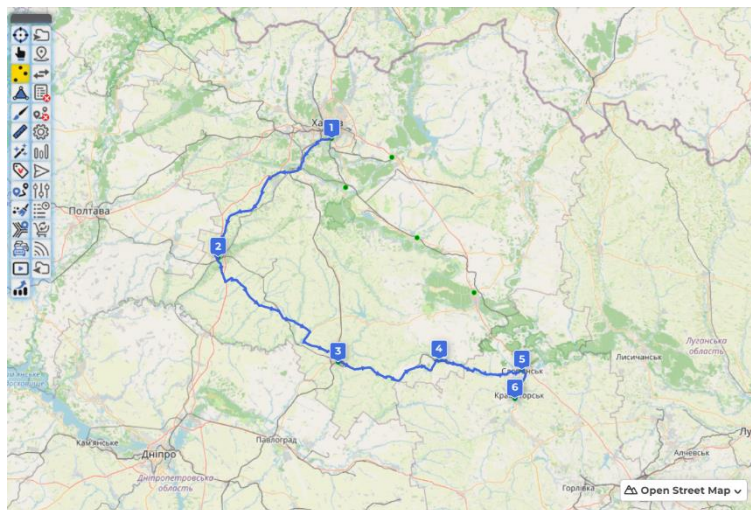


Рисунок 4.1 маршрут перевезення Харків-Краматорськ

До складу транспортної мережі базового маршруту входять такі основні транспортні вузли:

- Харків;
- Берестин;
- Лозова;
- Барвінкове;
- Слов'янськ;
- Краматорськ.

Базовий маршрут проходить переважно регіональними та територіальними автомобільними дорогами й використовується як умовно традиційний

варіант перевезення без застосування алгоритмів оптимізації маршруту. Перевезення здійснюється тягачем Oshkosh M1070 з низькорамним напівприцепом для транспортування танка Leopard 2.

Таблиця 4.2

Характеристика ділянок базового маршруту Харків – Краматорськ

№	Ділянка маршруту	Відстань, км	Час руху, год	Стан покриття	Допустиме навантаження, т	Рівень безпеки
1	Харків – Берестин	106	1,8	Добрий	80	4
2	Берестин – Лозова	95	1,7	Задовільний	50	3
3	Лозова – Барвінкове	63	1,5	Середній	40	2
4	Барвінкове – Слов'янськ	50	1,2	Задовільний	50	3
5	Слов'янськ – Краматорськ	15	0,5	Добрий	80	4

Аналіз показує, що основний маршрут — Харків → Берестин → Лозова → Барвінкове → Слов'янськ → Краматорськ — загалом підходить для перевезення важкої військової техніки, але має деякі недоліки порівняно з оптимізованими маршрутами.

Найскладніша ділянка знаходиться між Лозовою та Балвенковим, де дорожні умови погані, рівень безпеки низький, а деякі конструкції мають обмежену

несучу здатність. Це призводить до збільшення навантаження на шасі танків Leopard 2 під час перевезення за допомогою тягача Oshkosh M1070.

Для аналізу та оптимізації маршруту використовувався сервіс Мурашина логістика якому було доручено аналіз та оптимізацію маршруту, що включало оцінку транспортної мережі, планування переміщень та моніторинг параметрів транспортування.

4.3. Застосування принципів мурашиної логістики для вибору маршруту

Для оптимізації маршруту перевезення військової техніки застосовано спрощену інтерпретацію методу мурашиних колоній (Ant Colony Optimization, АСО). У даному підході транспортна мережа розглядається як граф, де вузли відповідають населеним пунктам, а ребра — автомобільним дорогам між ними.

Кожен можливий маршрут між пунктом відправлення А (Харків) та пунктом призначення Б (Краматорськ) інтерпретується як “стежка”, яка характеризується набором параметрів: довжина, час руху та рівень безпеки. Аналогічно до поведінки мурашок у природі, маршрути з кращими характеристиками отримують вищу умовну привабливість, тоді як менш ефективні маршрути поступово втрачають пріоритет у процесі вибору.

Для перевезення військової техніки між Харковом та Краматорськом було сформовано три альтернативні маршрути.

Маршрут №1

Харків → Чугуїв → Ізюм → Слов’янськ → Краматорськ див. рис. 4.2

Маршрут проходить міжнародною автомобільною дорогою М03/Е40 та є найбільш прямолінійним. Даний варіант характеризується мінімальною довжиною маршруту, якісним дорожнім покриттям на більшості ділянок та достатньою пропускнуою здатністю для руху важкої техніки.

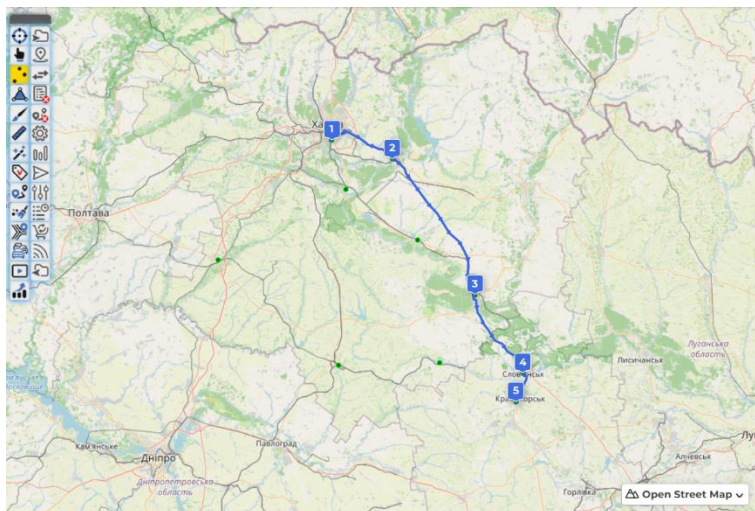


Рис. 4.2 1 варіант маршруту

Маршрут №2

Харків → Зміїв → Балаклія → Ізюм → Слов'янськ → Краматорськ див. рис. 4.3

Маршрут використовується як альтернативний варіант у разі перевантаження або обмеження руху на основній трасі. Частина ділянок має нижчу якість дорожнього покриття та меншу швидкість руху.

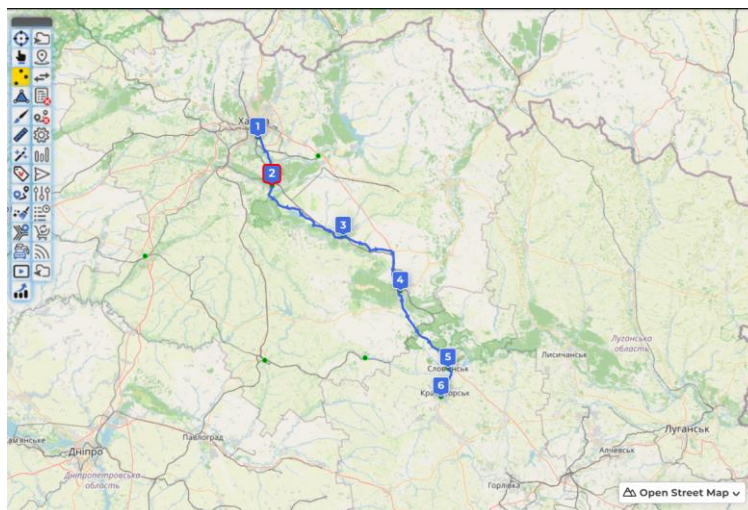


Рис. 4.3 2 варіант маршруту

Маршрут №3

Харків → Берестин → Лозова → Барвінкове → Слов'янськ → Краматорськ див. рис. 4.4 . Даний маршрут має найбільшу довжину та проходить

регіональними дорогами. Використовується переважно як резервний логістичний напрямок у випадку неможливості використання основних магістралей.

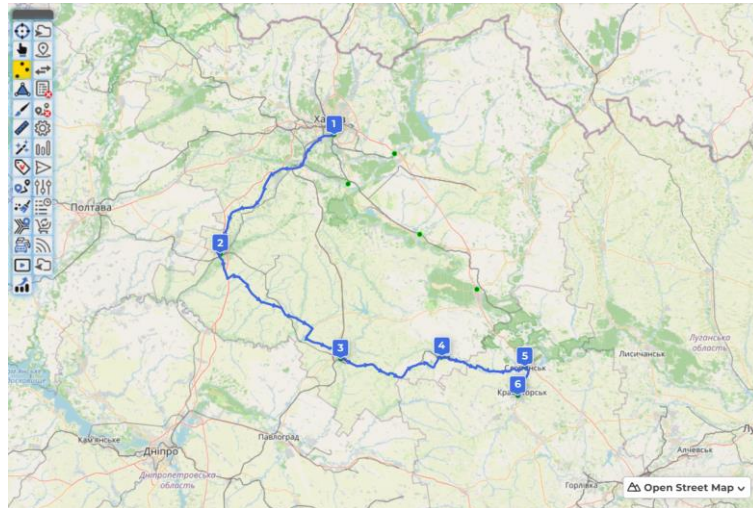


Рис. 4.4 3 варіант маршруту

Таблиця 4.3

Порівняльна характеристика маршрутів

№	Схема маршруту	Відс- тань, км	час руху, год	Середній рівень безпеки	Стан пок- риття
1	Харків – Чугуїв – Ізюм – Слов'янськ – Краматорськ	198	2,4	4,1	Добрий
2	Харків – Зміїв – Балаклія – Ізюм – Слов'янськ – Крама- торськ	207	2,48	4,0	Задовіль- ний
3	Харків – Берестин – Лозова – Барвінкове – Слов'янськ – Краматорськ	329	4,25	3,5	Задовіль- ний / міс- цями неза- довільний

Проведений аналіз показав, що кожен із розглянутих маршрутів має власні переваги та недоліки. 1 маршрут характеризується меншою довжиною та кращим станом дорожнього покриття, однак альтернативні варіанти забезпечують вищу гнучкість транспортної системи у випадку обмеження руху або перевантаження окремих ділянок дороги.

За умов перевезення важкої військової техніки недостатньо оцінювати маршрут лише за одним критерієм. Для ефективного планування перевезення необхідно одночасно враховувати:

- відстань маршруту;
- тривалість руху;
- рівень безпеки;
- технічний стан дорожньої інфраструктури.

Для визначення найефективнішого варіанту транспортування було проведено комплексне порівняння альтернативних маршрутів за допомогою спрощеного методу оптимізації мурашиної колонії (АСО). Цей метод дозволяє оцінити кожен маршрут на основі набору параметрів та вибрати оптимальний варіант транспортування танка Leopard 2 тягачем Oshkosh M1070.

У межах даної роботи запропоновано модифікацію спрощеного алгоритму мурашиної колонії АСО шляхом введення додаткового критерію безпеки маршруту — σ -фактора. Необхідність введення цього показника необхідна тим, що під час перевезення військової техніки вибір маршруту не може здійснюватися лише за мінімальною відстанню або часом руху. Важливе значення мають також рівень безпеки, стан дорожньої інфраструктури, можливість руху великогабаритної техніки та наявність потенційних ризиків на окремих ділянках.

У класичному алгоритмі АСО вибір наступної ділянки маршруту залежить від кількості феромону та евристичної привабливості шляху. У запропонованій модифікації до цих параметрів додано σ -фактор, який характеризує безпечність маршруту. Чим вищий показник σ , тим більш пріоритетним є маршрут для вибору транспортною колоною.

Для спрощеного розрахунку σ -фактор може визначатися за такими показниками:

- стан дорожнього покриття;
- середній рівень безпеки маршруту;
- можливість руху важкої та великогабаритної техніки;
- наявність об'їзних шляхів;
- імовірність виникнення затримок або ускладнень руху.

У даній роботі σ -фактор прийнято у вигляді узагальненого показника безпеки маршруту за шкалою від 1 до 5, де 1 — найнижчий рівень безпеки, а 5 — найвищий.

Формально привабливість маршруту з урахуванням σ -фактора можна подати так:

$$P_i = \frac{\tau_i \cdot \eta_i \cdot \sigma_i}{\sum_{j=1}^n \tau_j \cdot \eta_j \cdot \sigma_j} \quad (4.1)$$

де P_i — імовірність вибору i -го маршруту;
 τ_i — умовний рівень феромону на маршруті;
 η_i — евристична привабливість маршруту, що залежить від відстані та часу руху;
 σ_i — фактор безпеки маршруту;
 n — кількість альтернативних маршрутів.

Тому перевага надається коротшим маршрутам зі скороченим часом транзиту та підвищеною безпекою. Таким чином, алгоритм мурашиної колонії виявляється застосовним до військової логістики, де безпека транспорту та економія подорожей мають однакове значення. Фактор σ для кожного розглянутого маршруту можна представити в окремій таблиці.

Таблиця 4.4

Оцінка σ -фактора для альтернативних маршрутів

№ маршруту	Схема маршруту	Середній рівень безпеки	Значення σ -фактора	Характеристика
1	Харків – Чугуїв – Ізюм – Слов'янськ – Краматорськ	4,1	0,82	Найбільш безпечний та прямий маршрут
2	Харків – Зміїв – Балаклія – Ізюм – Слов'янськ – Краматорськ	4,0	0,80	Альтернативний маршрут із прийнятним рівнем безпеки
3	Харків – Берестин – Лозова – Барвінкове – Слов'янськ – Краматорськ	3,5	0,70	Резервний маршрут із нижчим рівнем безпеки

Значення σ -фактора визначено шляхом нормування середнього рівня безпеки за п'ятибальною шкалою:

$$\sigma = \frac{s}{5} \quad (4.2)$$

де SS — середній рівень безпеки маршруту.

Отже, після введення σ -фактора алгоритм АСО надає перевагу не лише найкоротшому маршруту, а й тому, який має кращі умови для безпечного руху військової колони. За результатами розрахунку найкращим залишається маршрут №1: Харків → Чугуїв → Ізюм → Слов'янськ → Краматорськ див. рис 4.2, оскільки він має найменшу відстань, найменший час руху та найвище значення σ -фактора.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що найбільш доцільним є маршрут: №1

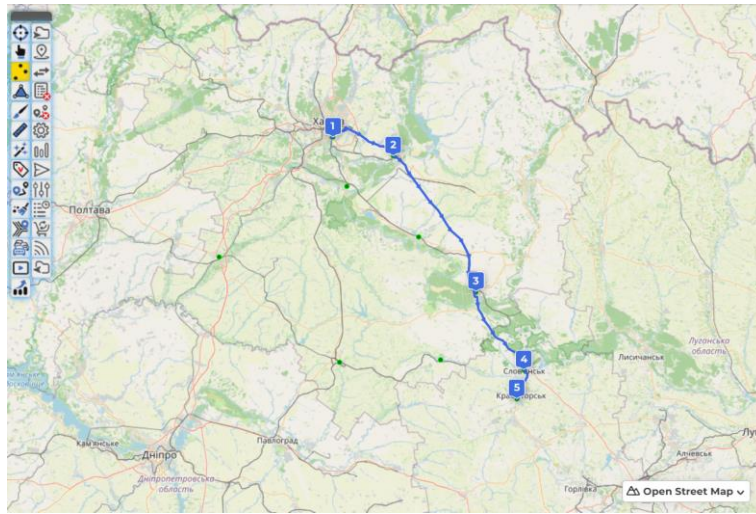


Рис. 4.5 Харків → Чугуїв → Ізюм → Слов'янськ → Краматорськ

Даний маршрут має:

- найменшу загальну протяжність;
- найкращий стан дорожнього покриття;
- достатню пропускну здатність для руху великогабаритної техніки;
- найвищий середній показник безпеки;
- найменший орієнтовний час проходження.

Використання цього маршруту дозволяє мінімізувати витрати пального, скоротити тривалість перевезення та знизити ризики виникнення технічних і логістичних ускладнень під час транспортування військової техніки.

4.4. Практична апроботація оцінка ефективності запропонованих рішень

Характеристика умовного маршруту перевезення

У рамках практичної апробації запропонованого підходу розглядається задача перевезення важкої військової техніки автомобільним транспортом із Харкова до Краматорська. Метою практичного моделювання є оцінка

ефективності використання принципів мурашиної логістики та веб-сервісу Мурашина логістика для організації військових перевезень.

Пунктом відправлення транспортної колони є логістичний вузол у Харкові, де здійснюється формування колони, перевірка технічного стану транспортних засобів та підготовка техніки до транспортування. Кінцевим пунктом маршруту є Краматорськ, який у межах практичної задачі розглядається як район призначення для доставки бронетехніки. Основний маршрут перевезення проходить через такі транспортні вузли:

- Харків;
- Чугуїв;
- Ізюм;
- Слов'янськ;
- Краматорськ.

Маршрут обрано через використання переважно доріг державного значення, які мають достатню пропускну здатність для руху великогабаритної військової техніки та забезпечують можливість проходження важких транспортних засобів із низькорамними напівпричепами.

Об'єктом перевезення є три танки Leopard 2. Дана техніка має великі габарити та значну масу, тому для її транспортування необхідно використовувати спеціалізовані важкі тягачі. Бойова маса одного танка становить близько 60 т, довжина — приблизно 7,7 м, ширина — близько 3,7 м, висота — близько 3 м.

Для перевезення використовуються три тягачі Oshkosh M1070 з низькорамними напівпричепами. Кожен тягач перевозить один танк Leopard 2. Використання низькорамних платформ дозволяє безпечно перевозити важку бронетехніку та забезпечує кращу стійкість під час руху.

До складу колони також входить транспорт супроводу. Його основними завданнями є координація руху колони, підтримання зв'язку між водіями, контроль швидкості руху та реагування у випадку зміни дорожньої обстановки або

виникнення аварійної ситуації. Це дозволяє підвищити безпеку та організованість перевезення.

Для планування перевезення було проведено попередній аналіз транспортної мережі між Харковом та Краматорськом. Під час аналізу враховувались:

- відстань між транспортними вузлами;
- стан дорожнього покриття;
- допустиме навантаження на мости;
- рівень безпеки ділянок;
- можливість проходження великогабаритної техніки;
- наявність резервних маршрутів.

Таблиця 4.1

Характеристика маршруту Харків – Краматорськ

Ділянка маршруту	Відстань, км	Стан покриття	Допустиме навантаження, т	Рівень безпеки
Харків – Чугуїв	40	Добрий	80	5
Чугуїв – Ізюм	115	Добрий / задовільний	70	4
Ізюм – Слов'янськ	55	Задовільний	60	3
Слов'янськ – Краматорськ	18	Добрий	80	4

Проведений аналіз показав, що найбільш складною ділянкою маршруту є відрізок Ізюм – Слов'янськ, де спостерігається погіршення дорожнього покриття та нижчий рівень безпеки порівняно з іншими ділянками маршруту.

Для практичної апробації запропонованого підходу використовувався сервіс Мурашина логістика. У систему були внесені:

- характеристики транспортних засобів;
- маса та габарити вантажу;

- контрольні точки маршруту;
- характеристики дорожньої мережі;
- показники безпеки окремих ділянок.

Після обробки вихідних даних сервіс виконав формування альтернативних маршрутів та їх оцінювання за критеріями:

- довжина маршруту;
- орієнтовний час руху;
- рівень безпеки;
- придатність дорожньої мережі для руху важкої техніки.

Отримані результати використовуються для подальшого вибору оптимального маршруту перевезення військової техніки.

4.5. Перевірка стійкості обраного маршруту

Для оцінки ефективності використання принципів мурашиної логістики було проведено порівняння базового та оптимізованого маршрутів перевезення танка Leopard 2 тягачем Oshkosh M1070.

Базовим маршрутом прийнято напрямом:

Харків → Берестин → Лозова → Барвінкове → Слов'янськ → Краматорськ
див. рис. 4.4

Запропонований маршрут вважався традиційним маршрутом і не був розроблений з використанням алгоритмів оптимізації транспортної мережі. Його вибір ґрунтувався на наявності дорожньої інфраструктури та зручності доступу для великовантажних транспортних засобів; проте показники ефективності та безпеки не були комплексно оцінені під час його розробки. Оптимізованим маршрутом, визначеним за допомогою принципів мурашиної логістики, є:

Харків → Чугуїв → Ізюм → Слов'янськ → Краматорськ див. рис. 4.5

Порівняльний аналіз показує, що оптимізований маршрут має значні переваги над еталонним маршрутом. Загальна відстань скорочується приблизно на

131 кілометрів, що зменшує витрату палива та навантаження на систему живлення тягача. Це має вирішальне значення для важких транспортних засобів, таких як Oshkosh M1070, оскільки транспортування танків Leopard 2 створює значне навантаження на двигун, трансмісію та шасі.

Крім того, оптимізований маршрут забезпечує скорочення загального часу руху транспортної колони. Це має важливе значення для військової логістики, оскільки зменшується час перебування техніки на маршруті, а відповідно — і ризик виникнення аварійних ситуацій, технічних несправностей або затримок під час транспортування. Ще однією значною перевагою оптимізованого маршруту є підвищена безпека. Більша частина шляху проходить національними дорогами з хорошим дорожнім покриттям та мостами з достатньою несучою здатністю. Це забезпечує стабільніший рух транспортної колони та зменшує ризик пошкодження обладнання під час проїзду через нерівні ділянки.

Сценарії аварійного маршруту

Однією з головних переваг адаптивних методів планування маршрутів є їхня здатність швидко коригувати маршрути за поганих дорожніх умов. Це особливо важливо для перевезення військової техніки, оскільки навіть часткове перекриття доріг може порушити операції логістичного забезпечення.

Найбільш критичною ділянкою оптимізованого маршруту є відрізок:

Чугуїв → Ізюм див. рис. 4.6

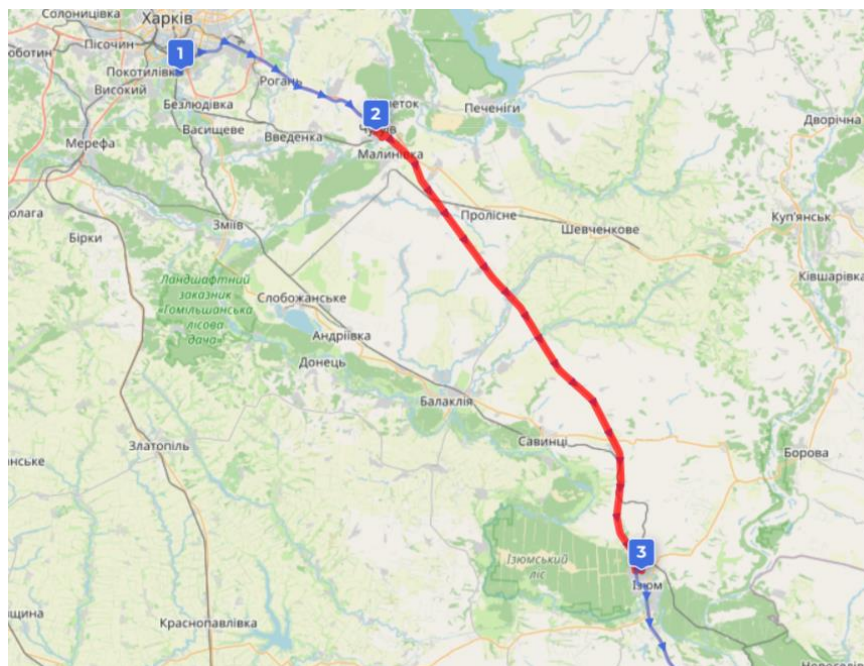


Рис. 4.6 Відрізок Чугуїв→ Ізюм

У разі блокування цієї ділянки внаслідок пошкодження дорожньої інфраструктури, аварійної ситуації або інших факторів виникає необхідність переходу на резервний маршрут. Як резервний варіант використовується маршрут:

Харків → Зміїв → Балаклія → Ізюм → Слов'янськ → Краматорськ див. рис. 4.3

Цей маршрут трохи довший і менш ефективний, ніж основний, але він забезпечує безперервне транспортування військової техніки навіть у складних умовах. Використання резервного маршруту збільшує пробіг, час подорожі та витрату пального. Крім того, навантаження на транспортний засіб збільшується через використання ділянок дороги в гіршому стані. Однак головною перевагою резервного маршруту є те, що він дозволяє продовжувати транспортування, не перериваючи повністю колону

4.6. Порівняльний аналіз: базовий маршрут vs оптимізований

Щоб оцінити ефективність алгоритму мурашиної колонії (ACO), ми порівняли базовий маршрут та оптимізований маршрут для транспортування

військової техніки. Базовий маршрут – це маршрут, який не пройшов жодної попередньої оптимізації.

Харків → Берестин → Лозова → Барвінкове → Слов'янськ → Краматорськ
див. рис. 4.4

Вибір даного маршруту здійснювався переважно за принципом забезпечення транспортного сполучення між пунктами відправлення та призначення без комплексного аналізу додаткових факторів. При плануванні маршруту недостатньо враховувалися стан дорожнього покриття, безпеність окремих ділянок, можливі затримки руху та ефективність використання транспортних засобів.

Після застосування алгоритму мурашиної колонії було сформовано оптимізований маршрут:

Харків → Чугуїв → Ізюм → Слов'янськ → Краматорськ див. рис. 4.5

Цей маршрут характеризується більш прямим напрямком руху та меншою кількістю проміжних ділянок, що робить його більш придатним для великих транспортних засобів. Оптимізований маршрут був розроблений з урахуванням кількох факторів: довжини подорожі, часу подорожі, витрати палива та безпеки дорожнього руху.

Для оцінки ефективності оптимізації ми порівняли маршрути на основі ключових операційних показників.

Таблиця 4.2

Порівняння базового та оптимізованого маршрутів

Показник	Базовий маршрут	Оптимізований маршрут (АСО)	Покращення
Пробіг, км	329	198	39,8 %
Час у дорозі, год	4,25	2,4	43,5 %
Витрата пального, л	428	257,4	39,9 %
Середній показник безпеки	0,69	0,84	21,7 %

Відсоткове покращення показників визначалося за формулою:

$$P = \frac{X_{\text{баз}} - X_{\text{опт}}}{X_{\text{баз}}} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

де P — відсоток покращення показника;

$X_{\text{баз}}$ — значення показника базового маршруту;

$X_{\text{опт}}$ — значення показника оптимізованого маршруту.

Для показника безпеки розрахунок виконувався за формулою:

$$P_{\text{безп}} = \frac{S_{\text{опт}} - S_{\text{баз}}}{S_{\text{баз}}} \cdot 100\% \quad (4.4)$$

де $S_{\text{баз}}$ — середній показник безпеки базового маршруту;

$S_{\text{опт}}$ — середній показник безпеки оптимізованого маршруту.

Результати проведеного порівняння показують, що застосування алгоритму мурашиної колонії дозволило суттєво підвищити ефективність організації перевезення. Оптимізований маршрут має значно менший пробіг, що забезпечує скорочення часу руху транспортної колони та зниження витрат пального. Крім економічного ефекту, використання оптимізованого маршруту дозволило підвищити рівень безпеки перевезення за рахунок вибору більш надійних ділянок дорожньої мережі та уникнення складних або потенційно небезпечних напрямків.

Отже, оптимізований маршрут Харків → Чугуїв → Ізюм → Слов'янськ → Краматорськ див. рис. 4.5 є більш ефективним порівняно з базовим маршрутом Харків → Берестин → Лозова → Барвінкове → Слов'янськ → Краматорськ див. рис. 4.4 за сукупністю критеріїв. Отримані результати підтверджують доцільність використання алгоритму АСО для оптимізації маршрутів військових перевезень та підвищення ефективності логістичного забезпечення.

Висновок. У цьому розділі аналізується маршрут перевезення військової техніки між Харковом та Краматорськом та досліджується можливість його оптимізації за допомогою алгоритму оптимізації колонії мурах (АСО). Досліджується основний маршрут та альтернативні маршрути, а також оцінюється

дорожня інфраструктура, рівень безпеки та придатність доріг для перевезення важкого обладнання.

Застосовуючи алгоритм АСО та враховуючи коефіцієнт безпеки σ , оптимальний маршрут визначається наступним чином: Харків $\rightarrow$ Чугуїв $\rightarrow$ Ізюм $\rightarrow$ Слов'янськ $\rightarrow$ Краматорськ див. рис. 4.2 . Цей маршрут скорочує відстань транспортування, зменшує час транспортування та витрату палива, а також підвищує безпеку транспортування.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА РУХУ ПРИ ПЕРЕВЕ- ЗЕННІ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

5.1. Вимоги безпеки при навантаженні, транспортуванні та розвантаженні техніки

Безпека перевезення військової техніки є комплексною задачею, що охоплює стадії підготовки, безпосереднього руху та розвантаження. Враховуючи специфіку вантажу (висока вартість, велика маса, зміщений центр ваги), кожен етап регламентується жорсткими технічними нормами.

Завантаження обладнання на транспортний засіб (візок) вимагає високої точності. Будь-яка помилка на цьому етапі може призвести до перекидання платформи або пошкодження кріпильних пристроїв під час руху.

Правила в'їзду та маневрування:

- Кут пандуса: Для гусеничних та колісних броньованих машин кут нахилу пандуса не повинен перевищувати від 12° до 15°. Перевищення цього значення створює ризик зісковзування або пошкодження системи підвіски.
- Швидкість: В'їзд повинен здійснюватися з мінімальною постійною швидкістю (3 км/год або менше) під керівництвом сигнальника/диспетчера.
- Вирівнювання: Зазор між поздовжньою віссю обладнання та віссю платформи не повинен перевищувати 50 мм. Це забезпечує рівномірний розподіл ваги між лівою та правою сторонами, запобігаючи таким чином нерівномірному зносу шин та ризику перекидання на поворотах.

Системи кріплення:

Використовується перехресне кріплення. Кожна одиниця обладнання оснащена щонайменше чотирма натягувачами ланцюгів, розрахованими на витримування навантаження, еквівалентного 1,5-2 разам вазі обладнання. Перевірка на дорозі: Перша перевірка натягу ланцюга виконується через 5–10 км після виїзду, потім кожні 50–100 км або після їзди по пересіченій місцевості.

5.2. Охорона праці водіїв тягачів та трейлерів

У системі «людина-машина-середовище» водій є найгнучкішим, але й найвразливішим елементом.

Час роботи та відпочинку: у військовій логістиці чинні стандарти максимально узгоджені з міжнародними стандартами (AETR). Максимальний час керування транспортним засобом становить 4,5 години, після чого обов'язкова 45-хвилинна перерва. Це запобігає втомі, що зменшує час реакції на 30-50% після 8 годин роботи.

Медико-психологічна оцінка: окрім стандартних вимірювань артеріального тиску та температури, вирішальне значення має оцінка психофізіологічного стану водія. Складність маршрутів у військовій логістиці може змусити водіїв приймати рішення в стресі (уникнення перешкод, коригування маршруту в режимі реального часу).

Система навчання:

1. Вступний: Загальні правила безпеки для автопарку.
2. Спеціалізація: Характеристики тягача та причепа.
3. Цільовий: Проводиться безпосередньо перед складним рейсом із зазначенням особливостей маршруту (мостів, ухилів, небезпечних ділянок).

5.3. Безпека руху колони

Організація руху великої групи транспортних засобів вимагає врахування законів гідродинаміки та теорії транспортних потоків, які пов'язані з поведінковими принципами мурашиних колоній.

Швидкісний режим: Встановлюється індивідуально, але зазвичай обмежений значеннями:

- по шосе — до 50–60 км/год;

- через мости та шляхопроводи — до 10–15 км/год;
- по ґрунтових дорогах — 15–20 км/год.

Безпечна дистанція руху:

Формула для розрахунку безпечної дистанції руху враховує гальмівний шлях та час реакції водія. Для важких вантажних автомобілів безпечна дистанція руху, що вимірюється в метрах, повинна бути щонайменше рівною швидкості, що вимірюється в кілометрах на годину (наприклад, 40–50 метрів при 40 км/год).

Супровід:

Колонну повинні супроводжувати автомобілі супроводу з миготливими аварійними вогнями. Ці автомобілі супроводу діють як «розвідники» (подібно до розвідників в алгоритмі мурашиної колонії), оцінюючи дорожні умови та передаючи цю інформацію основному конвою.

Процедури реагування на дорожньо-транспортні пригоди та технічні несправності

Під час перевезення військової техніки надійність залежить не лише від відсутності аварій, але й від здатності системи швидко реагувати на надзвичайні ситуації. Будь-яка зупинка великої автоколони під час транспортування створює ризик для безпеки дорожнього руху та порушує план перевезення.

Заходи реагування у разі технічної несправності

Технічні несправності (наприклад, поломка трактора, розрив гідравлічної лінії трактора, пошкодження кріплення) вимагають негайного втручання для локалізації проблеми:

- Видалення транспортного засобу з дороги: Водій повинен, якщо можливо, перемістити транспортний засіб на узбіччя або на відведену паркувальну зону, щоб не перешкоджати руху колони та цивільних транспортних засобів.
- Створення паркувальної зони: Розмістити знак аварійної зупинки в місці, яке забезпечує достатній гальмівний шлях для інших важких вантажних

транспортних засобів (принаймні 40-60 метрів). Увімкнути помаранчеві аварійні вогні.

- Початкова діагностика та звітність: Водій проводить швидкий огляд та повідомляє керівнику колони про характер поломки (може бути усунена на місці або потребує евакуації).

Рішення щодо технічного обслуговування:

- Негайний ремонт: Виконується водієм або мобільною групою підтримки (максимум 30 хвилин).
- Евакуація: Якщо ремонт на місці неможливий, активуйте резервний тягач. В алгоритмі мурашиної колонії цей вузол позначено як "тимчасово недоступний".

План реагування на дорожньо-транспортні пригоди

Дорожньо-транспортні пригоди за участю великогабаритних військово-транспортних засобів вважаються надзвичайними ситуаціями, що потребують спеціальних заходів:

- Безпека та перша допомога: потрібно надати першу допомогу пораненим та перевірити цілісність вантажу (військової техніки), щоб запобігти витoku палива або вибухам.
- Безпека місця: Встановити периметр безпеки навколо військової техніки. У періоди воєнного стану цей захід є важливим для запобігання будь-якому вторгненню або саботажу.
- Документація та комунікація: Негайно повідомити Військова служба правопорядку (ВСП) та поліцію. Зберегти докази (фото/відео, дані відеореєстратора).
- Зміна маршруту: Якщо транспортний засіб не може продовжувати свій шлях, командир колони повинен організувати об'їзди для решти транспортних засобів на основі принципу динамічного перерахунку маршруту.

Психофізіологічна стійкість водія в екстремальних ситуаціях

Ще одним важливим аспектом безпеки є здатність водія приймати рішення під тиском. У разі аварії або несправності за участю великогабаритного транспортного засобу стрес може призвести до помилок під час керування. Тому система навчання повинна включати:

- Тренінги з оперативного ремонту в польових умовах.
- Алгоритми психологічної саморегуляції.

Висновки. Аналіз безпеки та охорони праці під час перевезення військової техніки призводить до таких висновків.

- Технічні аспекти: Суворе дотримання вхідних параметрів (максимальний кут в'їзду 15° , максимальна швидкість 3 км/год) та встановлених методів має вирішальне значення для стабільності великих колон. У логістичній моделі мурашиної колонії ці фактори визначають час затримки вузлів мережі.
- Людський фактор: Цикли роботи та відпочинку водіїв, а також їхні психофізіологічні стани, становлять значні динамічні обмеження. Алгоритм повинен враховувати ці періоди відпочинку, щоб точно прогнозувати час прибуття колони.
- Безпека та надійність дорожнього руху: Обмеження швидкості (максимум 50 км/год) та внутрішні відстані колони безпосередньо впливають на пропускну здатність маршруту. Заходи реагування на аварії та поломки інтегровані в алгоритм у вигляді сценаріїв заторів, що дозволяє системі автоматично регулювати потік транспортних засобів.

Загальний підсумок: Розглянуті вимоги безпеки складають систему «штрафів» та обмежень алгоритму мурашиної колонії. Оптимізація транспортного процесу, таким чином, спирається не лише на відстань, але й на показники максимальної надійності та збереження ресурсів.

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

6.1. Розрахунок витрат при чинній організації перевезень

Для оцінки чинної організації перевезень розглянуто базовий варіант маршруту перевезення трьох танків Leopard 2 трьома тягачами Oshkosh M1070 з низькорамними напівпричепами. Довжина маршруту становить 329 км, розрахунковий час руху — 4,25 год.

Оскільки перевезення виконується військовим підрозділом, витрати на оплату праці водіїв та супроводжувального персоналу в розрахунку не враховуються. Основними статтями витрат є пальне, амортизація транспортних засобів, технічне обслуговування та поточний ремонт.

Таблиця 6.1

Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення
Кількість тягачів	3 од.
Кількість одиниць техніки	3 од.
Довжина маршруту	329 км
Розрахунковий час руху	4,25 год
Норма витрати пального	130 л/100 км
Орієнтовна вартість дизельного пального	60 грн/л
Амортизаційні витрати	55 грн/км на 1 автопоїзд
Витрати на ТО і ремонт	25 грн/км на 1 автопоїзд

Витрати пального для одного автопоїзда визначаються за формулою:

$$Q = L * H / 100, \quad (6.1)$$

де Q — витрата пального, л; L — довжина маршруту, км; H — норма витрати пального, л/100 км.

Для одного тягача:

$$Q = 329 * 130 / 100 = 427,7 \text{ л}$$

Для трьох тягачів:

$$Q_{\text{заг}} = 427,7 * 3 = 1283,1 \text{ л}$$

Вартість пального:

$$C_{\text{п}} = 1283,1 * 60 = 76\,986 \text{ грн}$$

Отже, загальні витрати на пальне для виконання рейсу становлять 76 986 грн.

Амортизаційні витрати враховують знос тягачів, напівпричепів, шин, трансмісії та ходової частини під час руху з важким вантажем. Для розрахунку прийнято умовну норму амортизації 55 грн/км на один автопоїзд.

Для одного автопоїзда:

$$A = 329 * 55 = 18\,095 \text{ грн}$$

Для трьох автопоїздів:

$$A_{\text{заг}} = 18\,095 * 3 = 54\,285 \text{ грн}$$

Отже, амортизаційні витрати на один рейс становлять 54 285 грн.

До витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт належать витрати на перевірку гальмівної системи, ходової частини, шин, кріплення вантажу, мастильних матеріалів та підготовку транспортних засобів до руху. Для розрахунку прийнято норму 25 грн/км на один автопоїзд.

Для одного автопоїзда:

$$T_{\text{ОР}} = 329 * 25 = 8\,225 \text{ грн}$$

Для трьох автопоїздів:

$$T_{\text{ОРзаг}} = 8\,225 * 3 = 24\,675 \text{ грн}$$

Отже, витрати на технічне обслуговування та ремонт становлять 24 675 грн.

Повні витрати на перевезення маршрутом Харків → Берестин → Лозова → Барвінкове → Слов'янськ → Краматорськ становлять наступе

- Паливо: 115 350,69 грн.

- Амортизація транспортних засобів: 54 285 грн
- ТОР: 24 675 грн

Таким чином, загальна вартість користування послугами поточного поставальника транспортних послуг становить 194 310,69 грн

6.2. Розрахунок витрат після оптимізації АСО

Для оптимізованого варіанта перевезення приймається маршрут:

Харків → Чугуїв → Ізюм → Слов'янськ → Краматорськ

Довжина оптимізованого маршруту становить 198 км. Перевезення виконується трьома тягачами Oshkosh M1070 з низькорамними напівпричепами, кожен з яких перевозить один танк Leopard 2. Оплата праці водіїв і супроводжувального персоналу не враховується, оскільки перевезення виконується військовослужбовцями.

Таблиця 6.2

Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення
Кількість тягачів	3 од.
Кількість танків Leopard 2	3 од.
Довжина маршруту	198 км
Норма витрати пального	130 л/100 км
Орієнтовна вартість дизельного пального	60 грн/л
Амортизаційні витрати	55 грн/км на 1 автопоїзд
Витрати на ТО і ремонт	25 грн/км на 1 автопоїзд

Витрата пального для одного автопоїзда:

$$Q = 198 * 130 / 100 = 257,4 \text{ л}$$

Для трьох тягачів:

$$Q_{\text{заг}} = 257,4 * 3 = 772,2 \text{ л}$$

Вартість пального на весь маршрут:

$$C_{\text{п}} = 772,2 * 60 = 46\,332 \text{ грн}$$

Отже, витрати на паливо за оптимізованим маршрутом становлять 46 332 грн.

Амортизація транспортних засобів

Для одного автопоїзда:

$$A = 198 * 55 = 10\,890 \text{ грн}$$

Для трьох автопоїздів:

$$A_{\text{заг}} = 10\,890 * 3 = 32\,670 \text{ грн}$$

Отже, амортизаційні витрати становлять 32 670 грн.

Витрати на технічне обслуговування та ремонт одного автопоїзда:

$$T_{\text{ОР}} = 198 * 25 = 4950 \text{ грн}$$

Для трьох автопоїздів:

$$T_{\text{ОРзаг}} = 4950 * 3 = 14\,850 \text{ грн}$$

Отже, витрати на технічне обслуговування та ремонт становлять 14 850 грн.

Повні витрати на перевезення маршрутом Харків → Чугуїв → Ізюм → Слов'янськ → Краматорськ становлять наступе

- Паливо: 46 332 грн.
- Амортизація транспортних засобів: 32 670 грн
- ТОР: 14 850 грн.

Отже, орієнтовні повні витрати на перевезення трьох танків Leopard 2 трьома тягачами Oshkosh M1070 за оптимізованим маршрутом довжиною 198 км становлять 80 190 грн.

6.3. Економічний ефект і зниження ресурсомісткості

Для оцінки економічної ефективності порівнюються два варіанти організації перевезення:

Базовий маршрут: довжина 329 км, час руху 4,25 год.
Оптимізований маршрут: довжина 198 км, час руху 2,4 год.

Перевезення виконується трьома тягачами Oshkosh M1070 з низькорамними напівпричепами, які транспортують три танки Leopard 2.

Таблиця 6.3

Порівняння витрат

Стаття витрат	Базовий маршрут, грн	Оптимізований маршрут, грн	Економія, грн
Паливо	76 986	46 332	30 654
Амортизація	54 285	32 670	21 615
ТО і ремонт	24 675	14 850	9 825
Разом без резерву	155 946	93 852	62 094

Для розрахунку річного економічного ефекту приймаємо, що подібні перевезення виконуються 12 разів на рік, тобто приблизно один раз на місяць.

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$E_p = E_{рейсу} * N \quad (6.2)$$

де:

E_p — річний економічний ефект, грн;
 $E_{рейсу}$ — економія на одному рейсі, грн;
 N — кількість рейсів на рік.

$$E_p = 68\,304 \times 12 = 819\,648 \text{ грн}$$

Отже, за умови виконання 12 перевезень на рік річний економічний ефект від впровадження оптимізованого маршруту становить 819 648 грн.

Для впровадження системи оптимізації маршрутів на базі сервісу ANT-Logistics необхідно передбачити витрати на програмне забезпечення, технічне забезпечення та навчання персоналу.

Таблиця 6.4

Орієнтовні витрати на впровадження

Стаття витрат	Сума, грн
Доступ до веб-сервісу ANT-Logistics	45 000
Підготовка та налаштування вихідних даних	15 000
Навчання особового складу	20 000
Технічне забезпечення / планшет або ноутбук	25 000
Разом	105 000

Термін окупності визначається за формулою:

$$T = V_{\text{вп}} / E_{\text{р}} \quad (6.3)$$

де:

T — термін окупності, років;

$V_{\text{вп}}$ — витрати на впровадження, грн;

$E_{\text{р}}$ — річний економічний ефект, грн.

$$T = 105\,000 / 819\,648 = 0,13 \text{ року}$$

У місяцях:

$$0,13 * 12 = 1,5 \text{ місяця}$$

Отже, витрати на впровадження системи оптимізації окупаються приблизно за 1,5 місяця.

Висновки. У цьому розділі проводиться економічна оцінка ефективності оптимізації маршруту транспортування важкої військової техніки на основі принципів та методів алгоритму оптимізації колонії мурах (АСО).

У цьому дослідженні розраховується вартість базової схеми з використанням тягачів Oshkosh M1070 для транспортування трьох танків Leopard 2 та порівнюється з вартістю оптимізованого маршруту, отриманого за допомогою алгоритму АСО.

Результати розрахунків показують, що оптимізація маршруту значно зменшує відстань та час подорожі колони. Це безпосередньо впливає на витрату палива, амортизаційні витрати, завантаження транспортних засобів, а також витрати на технічне обслуговування та ремонт.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було досліджено особливості організації перевезень військової техніки автомобільним транспортом та розроблено пропозиції щодо вдосконалення транспортного процесу із застосуванням принципів мурашиної логістики (Ant Colony Optimization).

У роботі проведено аналіз сучасних підходів до організації військових перевезень, досліджено класифікацію військової техніки як об'єкта транспортування, розглянуто нормативно-правову базу та особливості перевезення великогабаритних і великовагових вантажів. Встановлено, що перевезення сучасної бронетехніки потребує використання спеціалізованих транспортних засобів, дотримання вимог безпеки руху, контролю навантаження на осі та врахування технічного стану дорожньої інфраструктури.

У теоретичній частині роботи досліджено концепцію ройового інтелекту та принципи роботи алгоритму мурашиної колонії АСО. Розглянуто математичну модель алгоритму, механізм феромонної взаємодії, процедуру вибору маршруту та способи оновлення феромонових слідів. Визначено, що алгоритми типу АСО є ефективним інструментом для розв'язання транспортно-логістичних задач в умовах невизначеності та динамічної зміни дорожньої ситуації.

У практичній частині роботи виконано аналіз існуючої організації перевезень військової техніки, досліджено характеристики транспортних засобів та маршрутів перевезення. Для транспортування важкої бронетехніки обґрунтовано використання тягачів Oshkosh M1070 з низькорамним напівпричепом типу Goldhofer STZ.

Основною частиною дослідження стало удосконалення маршруту перевезення військової техніки на основі принципів мурашиної логістики. У роботі запропоновано модифікацію алгоритму АСО із введенням критерію

безпеки маршруту (σ -фактора), що дозволяє враховувати не лише довжину маршруту та час руху, а й рівень безпеки окремих ділянок дороги. Такий підхід забезпечує більш адаптивне та ефективне планування перевезень у складних умовах.

У результаті проведених розрахунків встановлено, що використання оптимізованого маршруту дозволяє скоротити загальний пробіг транспортної колони, зменшити витрати пального та скоротити тривалість рейсу. Порівняльний аналіз базового та оптимізованого маршрутів підтвердив доцільність застосування алгоритму АСО для задач військової логістики.

Також у роботі розглянуто питання охорони праці та безпеки руху під час перевезення військової техніки, визначено основні вимоги до організації руху колони, навантаження та кріплення техніки на транспортних платформах.

Економічне обґрунтування показало, що запропоновані заходи забезпечують зниження транспортних витрат та підвищення ефективності використання транспортних ресурсів. Це підтверджує практичну цінність розроблених рішень та можливість їх застосування в системі військових автомобільних перевезень.

Отже, поставлена мета роботи досягнута, а розроблені рішення можуть бути використані для підвищення ефективності, безпеки та оперативності перевезення військової техніки автомобільним транспортом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Oshkosh Defense. Heavy Equipment Transporter System (HETS) Technical Specifications. Oshkosh Defense, 2015.
2. Статут внутрішньої служби Збройних Сил України : Закон України від 24 березня 1999 р. № 548-XIV.
3. Правила проїзду великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами України. Київ : Кабінет Міністрів України.
4. STANAG 2155 (AMovP-4). Movement and Transportation. NATO Standardization Agreement. Brussels : NATO Standardization Office, 2013.
5. Dorigo M., Stützle T. Ant Colony Optimization. Cambridge : MIT Press, 2004.
6. Fei T., Wu X., Zhang Y. Research on Improved Ant Colony Optimization for Traveling Salesman Problem // Mathematical Biosciences and Engineering. 2022. Vol. 19, № 6.
7. Mello Filho L. V. F., Silva R. S., Pereira A. C. Application of the Ant Colony Optimization Metaheuristic in Transport Engineering: A Case Study on Vehicle Routing and Highway Service Stations // Logistics. 2025. Vol. 6, № 3.
8. Korzeń M., Nowak P., Zieliński T. Applying Ant Colony Optimization to Reduce Tram Journey Times // Sustainability. 2024. Vol. 16, № 18.
9. NATO Logistics Handbook. NATO Standardization Office, 2024.
10. Army Techniques Publication ATP 4-16. Movement Control. Washington : Department of the Army, 2023.
11. Cargo Securement Rules. Federal Motor Carrier Safety Administration, 2024.
12. Бойко Г. В. Основи військової логістики : навчальний посібник. Київ : НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2022.
13. Гуменюк М. М., Левковець П. Р. Організація військових автомобільних перевезень : навчальний посібник. Львів : НАСВ, 2021.
14. Криворучко О. М., Соколенко Є. В. Логістичне управління транспортними системами : монографія. Харків : ХНАДУ, 2023.

15. Котенко А. М. Оптимізація транспортних маршрутів із використанням метаевристичних алгоритмів // Вісник Національного транспортного університету. 2024. № 2 (56).
16. Мельник О. В., Ткаченко І. Ю. Використання алгоритму мурашиної колонії для задач транспортної логістики // Сучасні технології в транспортній галузі. 2023. № 1.
17. Організація перевезення великогабаритних та великовагових вантажів : навчальний посібник / за ред. В. О. Ширяєва. Київ : Логос, 2021.
18. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / за ред. М. П. Будька. Київ : Центр учбової літератури, 2022.
19. Правила дорожнього перевезення небезпечних та великогабаритних вантажів в Україні. Київ : Міністерство інфраструктури України, 2023.
URL: <https://mtu.gov.ua>.
20. Транспортна логістика : підручник / Є. В. Крикавський, Н. В. Чорнописька, О. А. Похильченко. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2022.
21. Шраменко Н. Ю. Сучасні методи оптимізації транспортних процесів у логістичних системах // Автомобільний транспорт. 2024. № 54.
22. Методичні рекомендації щодо організації військових перевезень автомобільним транспортом у Збройних Силах України. Київ : Міністерство оборони України, 2022.
23. Безпека перевезень великогабаритної військової техніки автомобільним транспортом // Наука та техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2023. № 4.

