

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
МЕХАНІКО - ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

«ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри
транспортних технологій та
засобів у АПК
(назва кафедри)

к.т.н., доц. Савченко Л.А.
(ПІБ, науковий ступінь та вчене звання)

«15» листопада 2025 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Клименко Денису Олеговичу

Спеціальність 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

Освітня програма Транспортні технології на автомобільному транспорті
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема роботи: Удосконалення технології перевезення тарно-штучних вантажів на прикладі ТОВ «СІАТРАНС»

затверджена наказом ректора НУБіП України № 2037 «С» від «13» 11. 2024 р.

Термін подання студентом магістерської роботи 05.11.2025

Вихідні дані до магістерської роботи статистичні дані по підприємству за 2019-2021 роки.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Техніко-експлуатаційні показники ТОВ «СІАТРАНС»
2. Обґрунтування напрямків дослідження
3. Математична модель Кларка-Райта
4. Методи удосконалення перевезення тарно-штучних вантажів

Перелік графічного матеріалу слайдів.

Дата видачі завдання «13 листопада» 2024 р.

Керівник магістерської роботи

(підпис)

Мацюк В.І.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Клименко Д.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломного проекту містить 70 друкованих аркуші формату А4, яка містить 16 таблиць, 7 рисунків, список використаної літературних джерел становить 50 найменувань.

Магістерська кваліфікаційна робота виконана на тему : «Удосконалення технології перевезення тарно-штучних вантажів на прикладі ТОВ СІАТРАНС»

Ключові слова: ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ТАРНО-ШТУЧНІ ВАНТАЖІ, МАРШРУТ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, МЕТОД КЛАРКА-РАЙТА, ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ, УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ.

Мета дослідження є удосконалення технології перевезення тарно-штучних вантажів на прикладі ТОВ СІАТРАНС, що полягає у розробці комплексної стратегії модернізації перевезень тарно-штучних вантажів (ТШВ) в Україні, що забезпечить довгострокову операційну стійкість галузі та її повну інтеграцію у міжнародні логістичні ланцюги.

Для реалізації мети зроблено наступне:

1. Було розглянуто техніко-експлуатаційні показники ТОВ «СІАТРАНС»
2. Обґрунтовано напрямки дослідження та поставлена наукова задача
3. Розглянуто математичну модель Кларка-Райта та проведено розрахунки згідно моделі
4. Запропоновано методи удосконалення перевезення ТШВ в умовах ТОВ «СІАТРАНС»

Об'єктом дослідження є удосконалення технології перевезення тарно-штучних вантажів у міжнародному сполученні (на прикладі ТОВ «СІАТРАНС»).

Предметом дослідження є розробка заходів щодо підвищення ефективності транспортного процесу з перевезення тарно-штучних вантажів по території України.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ I. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ТОВ «СІАТРАНС»	8
1.1 Техніко-експлуатаційна характеристика ТОВ «СІАТРАНС»	8
1.2 Класифікація тарно-штучних вантажів	16
РОЗДІЛ II. ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОСТАНОВКА НАУКОВОГО ЗАВДАННЯ	18
2.1. Актуальність дослідження	18
2.2 Напрямки дослідження	19
2.3 Аналіз сучасного стану та викликів у сфері міжміських перевезень ТШВ	24
РОЗДІЛ III. РОЗРАХУНОК МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МЕТОДОМ КЛАРКА-РАЙТА	28
3.1. Формалізація задачі та характеристика вантажу	28
3.2 Теоретичні засади методу Кларка-Райта	31
3.3 Розрахунок економій та побудова матриці	39
3.4 Побудова та аналіз матриці економій	40
РОЗДІЛ IV. УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ В УМОВАХ ТОВ СІАТРАНС	47
4.1 Стратегічні основи та операційне вдосконалення перевезень	47
4.2 Цифрова архітектура: Інтеграція WMS, TMS та ERP	48
4.3 Технології стеження та моніторингу в реальному часі (SCV, IoT)	50
4.4 Інтелектуальна оптимізація: Big Data, AI та машинне навчання	53
4.5 Автоматизація внутрішньої логістики: роботизовані системи	55
ВИСНОВКИ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63

ВСТУП

Автомобільний транспорт України представляє собою найбільш гнучкий і масовий вид транспорту. У нього ряд важливих відмінностей від інших транспортних галузей. Сфера застосування автотранспорту широка. Він виконує більшу частину коротких перевезень, доставляє вантажі до станцій залізниць і річкових пристаней і розвозить їх до споживачів. Щодня автотранспортом перевозиться близько 17 млн. тон вантажів.

Вантажні перевезення – це один з найбільших «ринкових» секторів економіки автотранспорту. Вантажопотоки, які генеруються ринками, що розвиваються, товарів і послуг, у першу чергу освоюються найбільш оперативним, швидким і гнучким видом транспорту: автомобільним.

Автомобільні дороги України не відповідають європейським стандартам багатьма показниками, зокрема таким як: швидкість пересування, навантаження на вісь, забезпеченість сучасними дорожніми знаками і розміткою, необхідною кількістю пунктів технічної і медичної допомоги, харчування і відпочинку, заправлення паливом і мастилом, телефонного зв'язку й ін. Практично відсутні дороги 1 категорії з багаторядним рухом на високих швидкостях. Значного поліпшення вимагає матеріально-технічна база організацій, що здійснюють розвиток і обслуговування автомобільної транспортної мережі.

Також до недоліків автотранспорту відноситься низька продуктивність рухомого складу, а також порівняно висока (значно вище, ніж на водному й залізничному транспорті) собівартість перевезень. Крім того, автомобільний транспорт - один з основних забруднювачів атмосфери. Все це потребує ретельного розгляду та покращення.

Отже, автомобільний транспорт України потребує оновлення, усунення ряду проблем і запровадження новітніх технологій, які будуть відповідати європейським стандартам, тому потрібно працювати над його розвитком.

Транспортні та пов'язані з ними вантажно-розвантажувальні роботи впливають на вартість і трудомісткість будівництва об'єктів і становлять у

середньому 20...25 % загальної вартості та трудомісткості будівельної продукції. Настільки значна питома вага транспортних робіт вимагає оптимальних рішень при виборі напрямку вантажопотоків, транспортних засобів, а також комплексної механізації всього транспортного процесу - навантаження, переміщення, вивантаження. При цьому необхідно прагнути до зменшення відстані перевезень вантажів, уникати перевантажень, раціонально використовувати вантажно-розвантажувальні операції та основні монтажні механізми будівельного майданчика.

Актуальність теми:

Враховуючи, що перевезення вантажів (сировина, матеріали, деталі, обладнання) по Україні затребувані для подальшої переробки чи використання в господарській діяльності. В магістерській кваліфікаційній роботі нами буде розглянуто особливості технології перевезення промислових вантажів в міжміському сполученні.

Найбільш повно питання матеріально-технічного забезпечення підприємств та шляхів їх покращення висвітлено в роботах науковців: Костюченко Л.В., Чаюн І., Богославець Г., Довгаль Н., Гордійчук А.С., Стахів О.А., Кузнєцова Т.В., Збагерська Н.В., С.Ф. Покропивного., Смирнов П.В., Степанова З.И., Фасоляк Н.Д., Каленюк А.А., Гарник М., Гаджинский А.М..

РОЗДІЛ I ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ТОВ «СІАТРАНС»

1.1 Техніко-експлуатаційна характеристика ТОВ «СІАТРАНС»

ТОВ «СІАТРАНС» спеціалізується на комплексному забезпеченні потреб служби логістики підприємств в автотранспорті відповідно до технологічного процесу та встановлених графіків надходження матеріалів або відвантаження готової продукції. Їх команда має 20-літний досвід з вантажних перевезень та логістики. Міжнародні вантажоперевезення - це основна складова зовнішньоекономічної діяльності будь-якої компанії. Досвід, набутий ними, дозволяє надавати міжнародні транспортні послуги на високому рівні. Вони не тільки доставлять Ваш вантаж в іншу країну або з іншої країни, а й складуть оптимальний маршрут перевезення, оформлять всі необхідні документи, проконтролюють доставку і збереження вантажу. Вантажоперевезення, як експортні, так і імпорتنі, вони виконують автомобільним транспортом, що є в багатьох випадках кращим варіантом для замовників.

Сьогодні автотранспортні вантажоперевезення користуються високою популярністю. Цей тип є максимально зручним, так як планування маршруту можна робити незалежно від розкладу повітряного та залізничного сполучення. Тому до Ваших послуг транспортний парк автомобілів вантажопідйомністю від 2 до 22 т, та автомобілі перевізників, що працюють з ними за довгостроковими договорами.

Задачі та функції Товариства:

1. Збір, обробка та аналіз організаційної, технічної і фінансової інформації про діяльність українських та іноземних організацій, що працюють у сфері перевезень вантажів:

1) Проведення необхідних заходів з метою укладання угод з іноземними та українськими партнерами (збір інформації, встановлення ділових контактів з іноземними підприємствами, розробка планів спільної роботи).

2) Забезпечення виконання зобов'язань з постачання продукції і товарів відповідно до укладених угод.

3) Розробка спільно з технічними та економічними службами підприємства планів співробітництва з вітчизняними та іноземними організаціями; контроль за виконанням цих планів.

4) Збір, накопичення й аналіз інформації щодо міжнародного досвіду вирішення окремих проблем в області логістичної діяльності.

2. Планування, організація, контроль і керування транспортними операціями, здійснюваними в процесі доставки сировини, матеріалів і готової продукції до замовника згідно з інтересами та вимогами останнього, а також обробка, аналіз і збереження супровідної документації:

1) Здійснення організації, планування і контролю за зовнішньоекономічною діяльністю Товариства на стадіях: укладання угод; постачання продукції відповідно до укладених угод; митного оформлення товарів; ведення обліку і звітності на складах.

2) Участь у підготовці матеріалів до укладання угод з постачальниками і споживачами.

3) Розробка заходів щодо реалізації угод, укладених під час переговорів з українськими та іноземними фірмами.

4) Контроль за виконанням постачальниками зобов'язань за укладеними угодами (терміни постачань, ціни, кількість, якість, номенклатура тощо).

5) Організація, планування і контроль забезпечення діяльності складського господарства.

6) Здійснення контролю за товарними та інформаційними потоками.

7) Надання через юридичний відділ претензій, штрафних санкцій до замовників транспортних послуг за порушення умов укладених угод, встановленого порядку розміщення замовлень.

8) Розробка рекомендацій та раціональних пропозицій, щодо організації транспортування вантажів з метою оптимізації витрат на доставку вантажів від продавця до покупця.

Будь-яке підприємство здійснює свою діяльність у певній формі та в певному напрямку. Підприємницька діяльність характеризується

різноманітним характером конкретної діяльності і чинниками підприємництва, які при цьому використовуються. В залежності від змісту підприємницької діяльності й її зв'язку з основними стадіями процесу відтворення розрізняють такі види підприємництва: виробниче, комерційне, фінансове тощо. ТОВ «СІАТРАНС» провадить свою діяльність у формі товариства з обмеженою відповідальністю.

Видами діяльності Товариства за КВЕД-2010 є:

- 49.41 Вантажний автомобільний транспорт (основний)
- 45.20 Технічне обслуговування та ремонт автотранспортних засобів
- 45.31 Оптова торгівля деталями та приладдям для автотранспортних засобів
- 45.32 Роздрібна торгівля деталями та приладдям для автотранспортних засобів
- 46.90 Неспеціалізована оптова торгівля
- 49.42 Надання послуг перевезення речей (переїзду)
- 50.20 Вантажний морський транспорт
- 52.10 Складське господарство
- 52.21 Допоміжне обслуговування наземного транспорту
- 52.24 Транспортне оброблення вантажів
- 52.29 Інша допоміжна діяльність у сфері транспорту
- 65.12 Інші види страхування крім страхування життя
- 68.12 Надання в оренду й експлуатацію власного чи орендованого нерухомого майна
- 77.11 Надання в оренду автомобілів і легкових автотранспортних засобів
- 77.12 Надання в оренду вантажних автомобілів

В умовах «ринку споживача» продавець змушений будувати свою діяльність виходячи з купівельного попиту. При цьому попит не обмежується потребою в даному товарі. Споживач диктує свої умови також й в області складу і якості послуг, які надаються йому в процесі поставки цього товару. Сервіс нерозривно пов'язаний із процесом розподілу і являє собою комплекс послуг, які надаються у процесі поставки товарів, який може здійснюватися або самим постачальником, або експедиторською фірмою, що спеціалізується

в області обслуговування.

Обслуговування споживачів – це процес створення в логістичному ланцюжку істотних вигід, що містять додану вартість, при підтримці витрат на ефективному рівні. Це визначення відбиває тенденцію розглядати обслуговування споживачів як процес, націлений на керування постачальницько-збутовою діяльністю.

Процес виконання циклу замовлення ТОВ «СІАТРАНС» у цілому й по кожному компоненту здійснюється в такий спосіб:

1. Пошук/Приймання замовлень на перевезення
2. Обговорення с замовником/орендатором ТЗ характеристики вантажу, ціни послуги перевезення та вид оплати
3. Оформлення супровідної документації
4. Доставка вантажу у місце призначення
5. Оплата послуги транспортування/оренди ТЗ

Процес транспортування може тривати від кількох годин (на коротких маршрутах) до 2 тижнів в міжнародному сполученні на великих відстанях.

В таблиці 1.1 наведено дійсний автопарк ТОВ «СІАТРАНС»

Таблиця 1.1 Автопарк ТОВ «СІАТРАНС»

Тип транспортного засобу	Марка, модель	Вид палива	Рік випуску
Вантажний тентований	RENAULT T520	ДП	2016
Вантажний тентований	RENAULT T520	ДП	2014
Вантажний тентований	VOLVO FH 460	ДП	2013
Вантажний тентований	IVECO BA3C	ДП	2016
Вантажний тентований	RENAULT T440	ДП	2017
Вантажний тентований	RENAULT T440	ДП	2015

Renault T520 - легкий вантажний автомобіль з переднім приводом,

призначений для міських та приміських перевезень. Надійний та економічний двигун потужністю 520 к.с. Простора та комфортна кабіна, що робить його зручним для тривалих поїздок. Вантажопідйомність 22 т дозволяє перевозити значні обсяги вантажів. Доступна ціна робить його одним із найпопулярніших легких вантажних автомобілів в Україні.

RENAULT T520 (2014–2016 р.в.)

Амортизаційний строк (нормативний): 7–10 років (залежно від методики обліку — податкової чи бухгалтерської).

Фактичний ресурс: 1 200 000 – 1 500 000 км при належному ТО.

Реальна експлуатація в Україні: після 9–10 років використання потребує серйозних відновлювальних ремонтів (двигун, КПП).

Рис. 1.1 Renault T520



Таблиця 1.2 Технічні характеристики Renault T520

Двигун: Дизельний, 6-циліндровий, рядний	Трансмісія: Автоматизована 12-ступенева, привід задній
Робочий об'єм: 2,2 л	Вантажопідйомність: 22 т
Потужність: 520 к.с.	Об'єм кузова: 12 м ³
Крутний момент: 2550 Нм	Витрата палива: 30 л/100 км

Volvo FH 460 - магістральний тягач з потужним двигуном 460 к.с., призначений для далеких перевезень. Комфортна та безпечна кабіна, оснащена всіма сучасними зручностями. Вантажопідйомність 26 т дозволяє перевозити важкі вантажі на великі відстані. Економічний двигун та високий ресурс деталей роблять його вигідним в експлуатації. Широкий спектр комплектацій дозволяє підібрати тягач під будь-які потреби.

VOLVO FH460 (2013 р.в.)

Амортизація: 7–8 років (в ЄС часто списують після 6–7 років, в Україні — експлуатують довше).

Ресурс: 1 500 000 – 2 000 000 км (один із найбільш «довгоживучих» магістральних тягачів).

Рис 1.2 Volvo FH 460



Таблиця 1.3 Технічні характеристики Volvo FH 460

Двигун: Дизельний, 6-циліндровий, рядний	Трансмісія: 12-ступенева автоматична
Робочий об'єм: 13 л	Привід: 4x2
Потужність: 460 к.с.	Вантажопідйомність: 26 т
Крутний момент: 2000 Нм	Витрата палива: 32 л/100 км

Iveco VA3C - компактний фургон з заднім приводом, призначений для міських та приміських перевезень. Економічний двигун потужністю 110 к.с. Вантажопідйомність 1,5 т та об'єм кузова 7 м³ роблять його зручним для перевезення невеликих вантажів. Доступна ціна та простота обслуговування роблять його популярним вибором для малого та середнього бізнесу. Компактні розміри та маневреність роблять його зручним для використання в міських умовах.

IVECO VA3C (2016 р.в.)

Амортизація: 6–8 років.

Ресурс: 800 000 – 1 200 000 км (трохи нижчий, ніж у Renault та Volvo).

Особливість: у порівнянні з конкурентами має нижчу залишкову вартість через дорожче обслуговування і менший ресурс.

Рис. 1.3 Iveco VA3C



Таблиця 1.4 Технічні характеристики Iveco VA3C

Двигун: Дизельний, 3-циліндровий, рядний	Трансмісія: Автоматизована 12-ступенева
Робочий об'єм: 12 л	Привід: Задній
Потужність: 440 к.с.	Вантажопідйомність: 1,5 т
Крутний момент: 2400 Нм	Витрата палива: 33 л/100 км

Renault T440 - середньотоннажний вантажний автомобіль з переднім приводом, призначений для міських, приміських та міжміських перевезень. Надійний та економічний двигун потужністю 136 к.с. Вантажопідйомність 4,5 т та об'єм кузова 16 м³ роблять його зручним для перевезення значних обсягів вантажів. Простора та комфортна кабіна, що робить його зручним для тривалих поїздок. Доступна ціна робить його популярним вибором для малого та середнього бізнесу.

RENAULT T440 (2015–2017 р.в.)

Амортизація: 7–9 років.

Ресурс: 1 200 000 – 1 400 000 км.

Особливість: економніші двигуни, але трохи чутливіші до палива й сервісу.

Ціна на шини цих вантажівок буде коливатися в межах 13 000 грн за шину.

Сумарно 72 шини, тож ціна на шини буде становити 936 000 грн

Рис 1.4 Renault T440



Таблиця 1.5 Технічні характеристики Renault T440

Двигун: Дизельний, 6-циліндровий, рядний	Трансмісія: Автоматизована 12-ступенева
Робочий об'єм: 10,8 л	Привід: Задній
Потужність: 440 к.с.	Вантажопідйомність: 4,5 т
Крутний момент: 2200 Нм	Витрата палива: 31 л/100 км

1.2 Класифікація тарно-штучних вантажів

Тарно-штучні вантажі (ТШВ) класифікуються за різними критеріями, що визначають вимоги до їх логістичної обробки. Залежно від ваги, вантажі поділяються на:

Дрібноштучні вантажі: Як правило, мають масу до 250 кг. До цього сегменту належить значна частина продукції легкої та харчової промисловості, поштові відправлення та запчастини.

Важковагові вантажі: Вважаються такі, що перевищують 250 кг.

До категорії тарно-штучних вантажів належать: продукція легкої та харчової промисловості; товари хімічної промисловості; деякі будівельні матеріали; продукція машинобудування (вузли, агрегати, запчастини); поштові відправлення та особисті речі.

Тара – зовнішня оболонка, що захищає вантаж від втрат і псування. Вона може класифікуватися за фізичними характеристиками (жорстка, м'яка, крихка, ізоtermічна, герметична) та конструкцією (розбірна, нерозбірна, складна).

Особливі вимоги до пакування включають:

Важковагові та великогабаритні вантажі (вагою більше 70 кг). Вони поміщаються у жорсткі контейнери або дерев'яні ящики, кріпляться на палеті та потребують внутрішньотарних ущільнювачів. Ящики повинні бути обтягнуті по торцях металеву стрічкою.

Рідкі вантажі (бідони, бочки) щільно закупорюють, опломбовують та поміщають у міцну тару (наприклад, з дерев'яною стружкою або м'якими наповнювачами) для запобігання протіканню.

Чутливі вантажі, зокрема харчові продукти, вимагають чіткого дотримання температурного режиму.

Сучасні вимоги також акцентують увагу на екологічності. Наприклад, картонна упаковка визнана надійною та функціональною, що не лише зберігає товарний вигляд, але й сприяє зменшенню витрат на логістику.

Для досягнення максимальної ефективності перевезення ТШВ ключове значення має укрупнення вантажних одиниць, шляхом пакетування, використання піддонів і контейнерів. Це спрощує вантажно-розвантажувальні роботи та оформлення документів, хоча й може збільшити витрати на підготовку.

Міжнародні стандарти палет включають:

Європейський (Euro): 800 мм×1200 мм.

Фінський (FIN): 1000 мм×1200 мм.

Контейнеризація є найбільш ефективним способом доставки ТШВ та основним показником технічного прогресу в організації перевезень. Вона забезпечує значне зниження собівартості вантажних операцій (у 2 рази) та зростання продуктивності праці (у 4–5 разів). Контейнерні перевезення отримали широке розповсюдження завдяки своїй зручності, економічності та можливості комбінувати різні види транспорту. Однак, рівень навантаження вантажів у контейнерах в Україні складає лише близько 1,5% від загального навантаження залізничної мережі, що вказує на значні резерви розвитку.

РОЗДІЛ II ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОСТАНОВКА НАУКОВОГО ЗАВДАННЯ

2.1. Актуальність дослідження

Тарно-штучні вантажі (ТШВ) становлять основу значної частини економічних операцій та міжнародної торгівлі, вимагаючи специфічних підходів до логістики, що відрізняються від транспортування наливних чи насипних вантажів.

Згідно з визначеннями, ТШВ – це вантажі, що перевозяться виключно у затареному вигляді. Тара, яка слугує зовнішньою оболонкою для захисту вантажу від втрат і псування, може бути жорсткою, напівжорсткою або м'якою, і часто є стандартною або уніфікованою. Фактично, ТШВ є підмножиною генеральних вантажів, що вимагає ретельної обробки, точного сортування та ефективної логістики останньої милі. ТШВ є найбільш різноманітним та цінним видом вантажів, що включають товари народного споживання та продукцію основних галузей обробної промисловості.

Стратегічна модернізація перевезень ТШВ в Україні підпорядкована двом взаємодоповнюючим цілям, які визначають її високу актуальність.

По-перше, необхідно забезпечити внутрішню стійкість та безперервність ланцюгів постачання. Це передбачає підвищення надійності, мінімізацію ризиків та компенсацію операційних шоків.

По-друге, Україна прагне реалізувати свій потенціал як ключовий транзитний хаб, що знаходиться на перехресті торгівлі між Європою та Азією. Досягнення цієї мети вимагає гармонізації швидкості, надійності та стандартів логістичних процесів з передовими міжнародними вимогами, зокрема тими, що діють у Європейському Союзі.

Сучасний стан логістичного сектора України характеризується поєднанням довготривалих системних проблем. Галузь стикається із загальними бар'єрами для інновацій, включаючи фінансові обмеження, законодавчі та регуляторні невідповідності, інфраструктурну недостатність та технічні складнощі. Ці фактори посилюють трудомісткість обробки ТШВ, яка

традиційно залежала від ручної праці, а також проблеми, пов'язані з дефіцитом кваліфікованого персоналу. Оцінка ситуації демонструє, що автоматизація логістичних процесів є не просто стратегією оптимізації витрат, а перетворюється на стратегію національної операційної стійкості.

Впровадження високопродуктивних сортувальних ліній або автоматично керованих транспортних засобів (AGV) для дрібноштучних вантажів дозволяє де-ризикувати логістику від нестабільності людського фактора, гарантуючи безперервність та масштабованість процесів, що є фундаментальною вимогою для економічного розвитку та відновлення.

2.2 Напрямки дослідження

Основні напрямки дослідження охоплює взаємопов'язані площини: структурну та технологічну:

1. Структурні цілі

Структурне удосконалення є необхідним фундаментом, який забезпечує створення прозорого, передбачуваного та міжнародно сумісного середовища для перевезень ТШВ.

Україна взяла на себе зобов'язання поступово досягти відповідності своїх технічних регламентів із стандартами ЄС, а також з європейськими системами стандартизації, акредитації та оцінки відповідності. Цей євроінтеграційний вектор є критично важливим для усунення нетарифних бар'єрів та забезпечення безперешкодної взаємодії українських логістичних ланцюгів із європейськими.

Реформа зачіпає і митну сферу. Законодавчі ініціативи передбачають гармонізацію митного законодавства з ЄС, що включає наближення національних норм, уточнення правил митної справи та запровадження електронного обміну документами, що значно прискорює міжнародні перевезення. Крім того, на законодавчому рівні мають бути чітко закріплені вимоги до перевезення специфічних ТШВ, наприклад, необхідність дотримання температурного режиму для харчових продуктів відповідно до

Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів».

Цифровізація документообігу є ключовим структурним кроком, що безпосередньо впливає на швидкість та прозорість перевезень ТШВ. Система електронної товарно-транспортної накладної (е-ТТН) вже має затверджений порядок функціонування, який набув чинності з 20 березня. Ця система забезпечує інформаційну взаємодію між учасниками вантажних перевезень у режимі реального часу, дозволяє внесення відомостей про е-ТТН, її статус, маршрут, масу вантажу та дані про учасників до єдиної захищеної бази даних.

Основні переваги е-ТТН є багаторівневими:

- **Мінімізація зловживань:** Заміна паперового документообігу на електронний зменшує вплив людського фактору, запобігає втраті чи плутанині документів, та мінімізує корупційні ризики завдяки прозорості системи.
- **Миттєвий доступ та контроль:** Система забезпечує контролюючим органам негайний доступ до всієї необхідної інформації про вантаж та маршрут.
- **Економія ресурсів:** Спрощення процесу оформлення вантажу заощаджує час та ресурси для вантажовідправників, перевізників та вантажоодержувачів.

Незважаючи на функціонуючий порядок, повний потенціал е-ТТН як структурного рішення не може бути реалізований доти, доки його використання не стане обов'язковим для всіх вантажних перевезень автомобільним транспортом. Це вимагає внесення відповідних змін до Закону України «Про автомобільний транспорт». Відсутність стандартизованого цифрового вхідного потоку даних у логістичному ланцюгу створює суттєве структурне гальмо, яке унеможлиблює повноцінну інтеграцію та автоматизацію. Зокрема, складні системи управління транспортом (TMS) та складські системи (WMS) покладаються на достовірні електронні дані для автоматичного бронювання транспорту та оптимізації маршрутів.

Стратегічна перебудова логістики ТШВ вимагає переорієнтації на мультимодальні перевезення. Закон України «Про мультимодальні перевезення», що набирає чинності з 1 січня 2025 року, створює необхідні правові та організаційні засади. Цей закон заохочує використання більш екологічно чистих видів транспорту — залізничного, морського або внутрішнього водного — для більшої частини маршруту, мінімізуючи відрізок, що припадає на автомобільні шляхи.

Фінансовою основою для модернізації інфраструктури є план Ukraine Facility Plan (UFP). UFP передбачає гарантування урядом щонайменше 350 мільйонів євро (у гривневому еквіваленті) на 2026 та 2027 роки, які будуть спрямовані на будівництво, реконструкцію, модернізацію та оновлення пошкоджених об'єктів транспортної інфраструктури. Ці кошти мають бути розподілені між залізничним, морським, річковим та дорожнім секторами, стаючи фінансовою опорою для створення та модернізації ключових логістичних хабів.

Особлива увага приділяється прикордонній інфраструктурі. Стратегія розвитку й розбудови прикордонної інфраструктури, ухвалена Кабінетом Міністрів, сфокусована на модернізації пунктів пропуску (автомобільних та залізничних) на кордонах з ЄС та Молдовою. Це включає розбудову сервісних зон, впровадження спільного контролю та наскрізну цифровізацію процедур відповідно до стандартів ЄС.

2. Технологічні цілі

Технологічне удосконалення є динамічним компонентом стратегії, спрямованим на різке підвищення ефективності, швидкості обробки ТШВ та зниження операційних витрат.

Системи управління транспортом (TMS) є потужним інструментом для автоматизації логістичних процесів, необхідним для управління складними транспортними мережами, які обслуговують ТШВ. TMS виконує низку

ключових функцій, що дозволяють компаніям скорочувати витрати та підвищувати ефективність перевезень.

Ефективність TMS базується на інтелектуальному плануванні. Система обирає найбільш ефективну транспортну схему, враховуючи багатокритеріальні параметри, такі як вартість перевезення, оптимальну кількість транспортних засобів та мінімально необхідну кількість зупинок. Використання геолокаційних технологій та аналізу даних про дорожні умови та трафік дозволяє будувати найкоротші та найшвидші маршрути. Впровадження TMS дозволяє економити до 10% на витратах на транспортування, що є значним показником для великих логістичних операторів.

Повноцінна робота TMS вимагає її глибокої інтеграції з іншими елементами цифрового середовища, включаючи системи управління складом (WMS), системи планування ресурсів підприємства (ERP) та системи управління ланцюгами постачання (SCM).

Для перевезень ТШВ, де значна частка вантажообігу припадає на дрібноштучні товари (наприклад, 72% у сегменті автокомпонентів), критичне значення має автоматизація складської логістики.

Це рішення безпосередньо компенсує проблеми, пов'язані з дефіцитом робочої сили та необхідністю високошвидкісного сортування.

В Україні вже реалізовано значні проекти в цій сфері. Наприклад, «Укрпошта» запустила автоматизовані сортувальні лінії, які використовують технологію Tilt Tray Sorter та власне програмне забезпечення на базі Oracle. Це обладнання, розроблене українськими інженерами, має високий ступінь локалізації – понад 90% його складових виготовлено на вітчизняних підприємствах.

Кількісні переваги автоматизації є вражаючими:

- **Продуктивність:** Автоматизована сортувальна лінія з 64 напрямками може обробляти до 8 тис. одиниць на годину. Це до 8 разів перевищує можливості ручної обробки.

- AGV Технології: На складі OMEGA та KAPELOU впроваджено роботизоване сортування за допомогою автоматично керованих транспортних засобів (AGV) для обробки дрібноштучних товарів вагою до 5 кг. AGV-сортери також досягають продуктивності до 8 000 вантажних одиниць на годину.
- Економічний ефект: Впровадження автоматизації дозволяє скоротити операційні витрати на складах приблизно на 20% та оптимізувати кількість необхідного персоналу.

Важливим структурним моментом є мультиплікативний економічний ефект локалізації. Інвестиції в автоматизоване обладнання, вироблене в Україні, стимулюють розвиток вітчизняного машинобудування, інженерії та ІТ-сектору.

Подальше технологічне удосконалення неможливе без інтеграції передових рішень на базі ШІ та Інтернету речей (ІоТ). Штучний Інтелект (ШІ): ШІ використовується для оптимізації маршрутів та прогнозування затримок. Компанії, які першими впровадили рішення на базі ШІ, досягли зниження логістичних витрат на 15% та підвищили рівень точності управління запасами на 35%. ШІ є незамінним інструментом для динамічного управління великими обсягами ТШВ, особливо в умовах нестабільного попиту, використовуючи прогнозу аналітику. Найкращий результат досягається шляхом комбінації декількох методів оптимізації, наприклад, генетичних алгоритмів, машинного навчання та ройового інтелекту.

Інтернет речей (ІоТ): Датчики та RFID-мітки, що є складовими ІоТ, забезпечують безперервне відстеження переміщень товарів та критично важливий контроль стану вантажу в режимі реального часу. Це дозволяє контролювати температуру та вологість у вантажному просторі, що є життєво необхідним для чутливих груп ТШВ (наприклад, харчові продукти або хімічні вантажі). Панелі управління ІоТ консолідує інформацію з різноманітних джерел, дозволяючи оператору приймати рішення або налаштовувати автоматизацію.

Автоматизація пакування: Робототехніка застосовується для автоматизації процесів пакування, що значно підвищує надійність транспортування ТШВ. Автоматизовані рішення мінімізують помилки, пов'язані з людським фактором, гарантуючи збереження крихких та дорогих виробів.

2.3 Аналіз сучасного стану та викликів у сфері міжміських перевезень ТШВ

В Україні автомобільний транспорт є найбільш гнучким і масовим видом транспорту, що забезпечує більшість перевезень на короткі відстані та відіграє ключову роль у логістичних ланцюгах, доставляючи вантажі до залізничних станцій, річкових портів та кінцевих споживачів. Дані Державної служби статистики України за останні 10 років демонструють, що частка автомобільного транспорту у вантажопереvezеннях зросла з 35% до 52%, що свідчить про його домінуючу позицію на ринку. Водночас, ця сфера стикається з низкою системних проблем, які перешкоджають її ефективному функціонуванню. Серед основних недоліків виділяють низьку продуктивність рухомого складу та порівняно високу собівартість перевезень, яка значно перевищує показники водного та залізничного транспорту.

Крім того, критичною проблемою є стан дорожньої інфраструктури. Автомобільні дороги України не відповідають європейським стандартам щодо швидкості, осьового навантаження, а також забезпечення сучасними дорожніми знаками, розміткою та необхідними пунктами технічної, медичної допомоги, відпочинку і заправки. Практично відсутні дороги категорії 1 з багатосмуговим рухом на високих швидкостях. Наявний парадокс, коли автомобільний транспорт домінує на ринку вантажопереvezень, але водночас є менш ефективним за інші види транспорту, вказує на те, що поточна ситуація є наслідком не оптимізованих процесів, а, скоріше, історичної інерції та обмеженості альтернатив. Це підкреслює гостру потребу в розробці інноваційних рішень, спрямованих на підвищення ефективності, де навіть незначні вдосконалення матимуть значний кумулятивний ефект для всієї

галузі.

Тарно-штучні вантажі (ТШВ) становлять одну з наймасовіших і найрізноманітніших категорій вантажів, що перевозяться. До них належить продукція від побутової техніки до будівельних матеріалів. Дослідження, присвячене підвищенню ефективності доставки саме цього типу вантажів в умовах міжміського сполучення, підкреслює необхідність врахування технічних, технологічних, інфраструктурних та фінансових обмежень, а також бізнес-інтересів учасників транспортного процесу. Ця категорія вантажів вимагає особливих підходів до організації перевезень, зокрема вибору між двома основними логістичними моделями: FTL (Full Truckload — повне завантаження) та LTL (Less-Than-Truckload — збірні вантажі).

Модель FTL є оптимальною для великих партій товарів одного відправника, забезпечуючи швидшу доставку без додаткових зупинок, менший ризик пошкодження вантажу та повний контроль над процесом. Натомість, модель LTL дозволяє об'єднувати невеликі партії від різних відправників в одному транспортному засобі, що є економічно вигідним рішенням. Однак LTL-перевезення мають суттєві недоліки: довший час доставки через необхідність багаторазових зупинок і перевантажень на терміналах, що, своєю чергою, підвищує ризик пошкодження вантажу. Ці недоліки є прямим наслідком неефективних маршрутів і логістичних схем. Це доводить, що LTL-перевезення є класичною задачею маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP), і застосування оптимізаційних методів, як-от Кларка-Райта, є необхідним для вирішення цих проблем і підвищення конкурентоспроможності LTL-сегмента.

Існуючі методики, що розглядають формування транспортно-технологічних схем доставки (ТТСД), зосереджені на комплексній оцінці цього процесу, починаючи від найпростіших технологічних операцій і до базових варіантів логістичних ланцюгів. Підходи включають розробку структури логістичної системи, визначення базових варіантів логістичних ланцюгів та імітаційне моделювання для вибору оптимального варіанту з

повної сукупності альтернатив. Однак, ці підходи, попри свою ґрунтовність, не враховують можливості активного пошуку та генерації оптимальних маршрутів. Вони переважно фокусуються на аналізі заздалегідь визначених варіантів, а не на динамічній маршрутизації.

Аналіз існуючих підходів пропонує структуру логістичної системи доставки ТШВ автомобільним транспортом у міжміському сполученні, що забезпечує взаємопов'язану діяльність між її елементами. Ця система включає чотири базові варіанти логістичних ланцюгів (ЛЛ), які є основою для формування транспортно-технологічних схем доставки (ТТСД) :

Пряма доставка без участі експедитора (ЛЛ1): Цей варіант передбачає, що вантажовласник напряду взаємодіє з автотранспортним підприємством. Він відповідає моделі FTL (повне завантаження) і є найпростішим з точки зору організації, але часто неефективний для дрібнопартійних перевезень.

Доставка із залученням експедитора (ЛЛ2): У цій моделі експедитор бере на себе організаційну роль, координуючи процес доставки між вантажовласником і перевізником. Це розповсюджена практика для міжміських перевезень в Україні, особливо коли обсяг вантажу відповідає вантажопідйомності транспортного засобу.

Доставка через один термінал (ЛЛ3): Ця модель є класичним прикладом LTL-перевезень. Експедитор оцінює доцільність використання терміналу, на якому відбувається консолідація або деконсолідація вантажів. Перевезення здійснюють два перевізники: один доставляє вантаж від відправника до терміналу, а інший — від терміналу до одержувача.

Доставка через два термінали (ЛЛ4): Цей варіант також є моделлю LTL-перевезень, але зі ще більшою складністю. Він передбачає участь двох терміналів (в зоні відправника та одержувача) та трьох перевізників, включно з магістральним перевізником. Ця схема використовується для оптимізації доставки на великі відстані.

Різні логістичні ланцюги (ЛЛ) представляють собою не просто варіанти, а принципово різні бізнес-моделі для перевезення. Моделі з терміналами (ЛЛ3,

ЛЛ4) є прямим втіленням LTL-перевезень, які особливо виграють від маршрутної оптимізації. Таким чином, задача оптимізації стає двокомпонентною: спочатку обрати найкращий ЛЛ (найкращу бізнес-модель), а потім оптимізувати маршрути в межах цієї моделі.

Таблиця 2.1 Логістичні ланцюги

Тип логістичного ланцюга (ЛЛ)	Основні учасники	Типова сфера застосування	Ключові переваги	Ключові недоліки
ЛЛ1	Вантажовласник, Перевізник	Пряма доставка (FTL)	Найпростіша організація, високий контроль	Неефективність для дрібних партій, обмеження власними ресурсами
ЛЛ2	Вантажовласник, Експедитор, Перевізник	Пряма доставка (FTL/LTL)	Гнучкість у пошуку перевізника, делегування організаційних функцій	Додаткові витрати на послуги експедитора, залежність від його ефективності
ЛЛ3	Вантажовласник, Експедитор, Термінал, 2 Перевізника	Консолідовані (LTL)	Зниження витрат для дрібних партій, оптимізація завантаження	Збільшення часу доставки, ризик пошкодження вантажу при перевантаженнях
ЛЛ4	Вантажовласник, Експедитор, 2 Термінали, 3 Перевізники	Магістральні LTL-перевезення	Оптимізація для великих відстаней, ефект масштабу	Найбільша складність, залежність від багатьох учасників, довгий час доставки

РОЗДІЛ III. РОЗРАХУНОК МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МЕТОДОМ КЛАРКА-РАЙТА

3.1. Формалізація задачі та характеристика вантажу

Цей аналітичний звіт присвячений вирішенню однієї з фундаментальних задач логістики — задачі маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP). Основна мета полягає в оптимізації маршрутів доставки вантажів з єдиного відправного пункту (депо), яким є місто Київ, до десяти різних міст-одержувачів. Завдання вимагає застосування евристичного алгоритму Кларка-Райта, який дозволяє мінімізувати сумарний пробіг транспортних засобів, одночасно дотримуючись жорстких обмежень щодо вантажопідйомності автопарку. Результатом аналізу стане розроблена система маршрутів, яка забезпечує доставку всіх необхідних вантажів з максимальною ефективністю.

Для досягнення поставленої мети, задача була формалізована із зазначенням усіх ключових параметрів та обмежень:

- **Депо (D):** Місто Київ, що є центральним пунктом відправлення для всіх вантажівок.
- **Набір клієнтів (N):** До набору пунктів призначення входять десять міст: Одеса, Коростень, Львів, Рівне, Харків, Полтава, Кривий Ріг, Кропивницький, Дніпро та Миколаїв.
- **Потреба клієнтів (q_i):** Кожен пункт призначення має індивідуальну потребу у вантажі, виміряну в тоннах. Ці дані є критично важливими для формування маршрутів:
 - Одеса: 21 т
 - Коростень: 21 т
 - Львів: 10 т
 - Рівне: 11 т
 - Харків: 14 т

- Полтава: 7 т
- Кривий Ріг: 8 т
- Кропивницький: 9 т
- Дніпро: 12 т
- Миколаїв: 13 т

• **Парк транспортних засобів (V):** Загальна кількість доступних вантажівок становить 6 одиниць.

• **Обмеження по вантажності (Q):** Номінальна вантажність кожної машини становить 22 тонни.

• **Відстані (d_{ij}):** Відстані між усіма містами-клієнтами та від кожного міста до депо (Києва) є фундаментальними даними для розрахунку економій.

Характеристика вантажу: амортизатори

1. Загальна інформація

Амортизатор — це елемент підвіски автомобіля, який гасить коливання кузова та забезпечує комфорт і безпеку руху. У логістиці вважається зручним штучним вантажем завдяки компактним розмірам, середній вазі та заводській упаковці.



Рис. 3.1 Амортизатор

2. Габаритні розміри

Довжина: від 40 до 70 см (залежно від моделі автомобіля).

Діаметр корпусу: 5–8 см.

Упаковка зазвичай має форму витягнутої прямокутної коробки, що спрощує укладання.

3. Маса

Легкові автомобілі: 2–4 кг/шт.

Позашляховики та мікроавтобуси: 4–6 кг/шт.

Вантажні автомобілі та автобуси: 7–12 кг/шт.

4. Упаковка

Заводська картонна коробка (1 амортизатор у коробці).

Додатковий захист: стрейч-плівка або термоусадка.

Упаковка передбачає маркування (артикул, виробник, штрихкод).

Можливе групування на піддонах (від 50 до 200 шт. залежно від розміру).

5. Вимоги до перевезення

Не належить до крихких або небезпечних вантажів.

Необхідний захист від вологи (може викликати корозію).

Перевезення допускається будь-яким видом транспорту: автомобільним, залізничним, морським чи авіа.

Допускається штабелювання в декілька ярусів, але без надмірного тиску зверху.

6. Вартісна характеристика

Бюджетні аналоги: від 700–1 500 грн/шт.

Середній сегмент (брендові виробники): 2 000–5 000 грн/шт.

Вантажні та преміум-сегмент: до 7 000–10 000 грн/шт.

Перед початком застосування алгоритму важливо звести та проаналізувати всі вихідні дані, що ляжуть в основу розрахунків. Дані про відстань кожного міста-клієнта у вантажі представлені в наступній таблиці.

Таблиця 3.1 Матриця відстаней

Місто	Київ	Дніпро	Полтава	Харків	Кропивницький	Коростень	Львів	Рівне	Кривий Ріг	Миколаїв	Одеса
Київ	0	480	345	480	300	165	540	330	415	475	480
Дніпро	480	0	200	220	170	580	950	740	150	320	460
Полтава	345	200	0	140	250	450	790	580	350	490	630
Харків	480	220	140	0	390	630	930	720	370	590	730
Кропивницький	300	170	250	390	0	460	660	500	130	150	280
Коростень	165	580	450	630	460	0	400	210	550	600	610
Львів	540	950	790	930	660	400	0	210	780	850	760
Рівне	330	740	580	720	500	210	210	0	620	690	600
Кривий Ріг	415	150	350	370	130	550	780	620	0	200	340
Миколаїв	475	320	490	590	150	600	850	690	200	0	130
Одеса	480	460	630	730	280	610	760	600	340	130	0

3.2 Теоретичні засади методу Кларка-Райта

Транспортна логістика є фундаментальною складовою операційної ефективності, безпосередньо впливаючи на вартість кінцевої продукції, терміни доставки та, відповідно, конкурентоспроможність підприємств. Оптимізація маршрутів вантажних перевезень формулюється як Задача маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP) — класична комбінаторна проблема, що належить до класу NP-складних. Це означає, що зі зростанням кількості точок доставки експоненційно зростає і час, необхідний для пошуку гарантованого глобального оптимуму.

У практичній логістиці, особливо у великомасштабних дистрибуційних мережах, пошук точного оптимального рішення є обчислювально нездійсненним. Історично склалося, що найбільші VRP, які були вирішені точно, містили менше ніж 30 точок доставки. Це критично обмежує застосовність точних алгоритмів, таких як методи типу "гілка та межа"

(Branch-and-Bound). З огляду на це, комерційні логістичні системи та програмне забезпечення переважно використовують евристичні підходи. Евристики здатні отримати рішення "розумної якості за короткий проміжок часу," що є критично важливим для практичного впровадження.

Метод Кларка-Райта (Clarke-Wright, C-W), запропонований у 1964 році, є одним із найефективніших і найбільш широко відомих конструкційних евристичних підходів. Його тривале домінування, попри десятиліття досліджень і розробки складніших метаевристик, є ключовим показником його фундаментальної доречності. Метод залишається стандартом де-факто, який забезпечує швидке створення початкових маршрутів. Те, що C-W досі слугує точкою відліку для порівняння та базою для вдосконалення, підтверджує неперевершену надійність його жадібного принципу максимізації заощаджень як найбільш інтуїтивного та ефективного способу початкової структуризації маршрутів.

Ключова перевага та доречність методу Кларка-Райта полягає у його математичній основі, орієнтованій на пряме фінансове та ресурсне заощадження. Алгоритм базується на принципі "заощаджень," який кількісно вимірює вигоду від консолідації двох окремих рейсів в один.

C-W починає з припущення, що кожен клієнт (точка доставки i) обслуговується окремим маршрутом: Депо $\rightarrow i \rightarrow$ Депо. Метод обчислює, скільки кілометрів або часу буде заощаджено, якщо об'єднати два окремі маршрути, які обслуговують клієнтів i та j , в один комбінований рейс: Депо $\rightarrow i \rightarrow j \rightarrow$ Депо.

Формула розрахунку заощадження S_{ij} є критичною:

$S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$ Де:

- d_{0i} — відстань від депо (0) до клієнта i .
- d_{0j} — відстань від депо (0) до клієнта j .
- d_{ij} — відстань між клієнтами i та j .

Величина $d_{0i} + d_{0j}$ представляє сукупні витрати на виконання двох окремих рейсів (з двома поверненнями до депо). Величина d_{ij} є лише

додатковими витратами на проїзд між i та j . Таким чином, S_{ij} — це чиста економічна вигода від усунення двох "холостих" пробігів з/до депо.

Метод C-W застосовує жадібну евристику: він ітеративно обирає пару клієнтів (i,j) , яка дає максимальне заощадження S_{ij} , і об'єднує їх у єдиний маршрут, доки це можливо з урахуванням усіх обмежень.

Обґрунтування C-W є надзвичайно потужним, оскільки воно забезпечує прямий каузальний зв'язок між геометричною ефективністю та ключовими показниками ефективності (KPI) бізнесу. Алгоритм автоматично пріоритезує об'єднання віддалених точок, розташованих близько одна до одної, оскільки саме вони дають найбільше S_{ij} . Це стратегічно важливо, оскільки запобігає неефективним пробігам до депо, максимізуючи корисне використання транспортного засобу.

Практичне впровадження C-W підтверджує його економічну ефективність, забезпечуючи скорочення витрат на транспортування до 20% завдяки загальному скороченню довжини маршрутів та раціональному використанню ресурсів.

Окрім фінансових переваг, C-W забезпечує значні екологічні вигоди, що відповідають сучасним вимогам сталого розвитку (ESG). Менша загальна довжина маршрутів означає скорочення часу роботи двигунів і, відповідно, зниження викидів CO₂. Таким чином, C-W є інструментом, який використовує географічні дані (відстані) для прямого управління фінансовими та екологічними показниками.

У деяких варіантах алгоритму може використовуватися параметризована формула заощаджень $S_{ij}=c_i0+c_0j-\lambda c_{ij}$, де параметр λ дозволяє регулювати важливість відстані між двома кінцевими точками порівняно з відстанню від цих точок до депо. Це підвищує гнучкість методу.

Таблиця 3.2 демонструє, як принцип Кларка-Райта інтерпретує логістичні витрати:

Таблиця 3.2 Формула Кларка-Райта та економічна інтерпретація

Компонент	Формула/Величина	Логістична Інтерпретація
Сумарна відстань (Окремі рейси)	$d_{0i}+d_{0j}$	Сукупні початкові витрати (до i та до j з поверненням до депо).
Вартість сполучення	d_{ij}	Додаткові витрати на проїзд між i та j всередині об'єднаного маршруту.
Заощадження (Savings)	$S_{ij}=d_{0i}+d_{0j}-d_{ij}$	Чиста економічна вигода від консолідації маршрутів.
Параметризоване заощадження	$S_{ij}=c_i+c_j-\lambda c_{ij}$	Регулювання пріоритету між відстанню до депо та відстанню між клієнтами.

$C-W$ є надзвичайно доречним для сучасних логістичних систем завдяки своїй обчислювальній ефективності, забезпечуючи швидке отримання рішень для проблем великого масштабу.

Обчислювальна складність методу Кларка-Райта, як правило, оцінюється як $O(N^2)$, де N — кількість клієнтів. Це пояснюється тим, що кількість можливих пар клієнтів

(i,j) для розрахунку заощаджень зростає квадратично, як $N(N-1)/2$. Хоча формально сортування цих N^2 заощаджень може давати складність $O(N^2 \log N)$, на практиці ця складність є чудовим компромісом. Вона дозволяє обробляти тисячі точок доставки за час, прийнятний для динамічної логістики, на відміну від експоненційної складності точних методів.

Для логістичних операторів, де необхідні швидкі відповіді, бізнес-пріоритет часто зміщується від пошуку ідеального "глобального оптимуму" до отримання "найкращого рішення, доступного за декілька секунд." Часова складність $O(N^2)$ дозволяє $C-W$ задовольнити цей комерційний імператив, надаючи близько-оптимальні рішення з набагато меншим обчислювальним навантаженням, ніж метаевристики (наприклад, генетичні алгоритми), які вимагають значних ресурсів і часу на налаштування.

Метод Кларка-Райта існує у двох основних варіантах: послідовному (Sequential, CWS) та паралельному (Parallel, CWP). Вибір варіанта впливає на якість кінцевого рішення.

1. **Послідовний Варіант (CWS):** Розширює один частковий маршрут, додаючи до нього клієнтів з максимальним заощадженням на кінцях, доки злиття можливе. Після цього алгоритм переходить до побудови наступного маршруту.

2. **Паралельний Варіант (CWP):** Ітеративно обирає пару (i, j) з найвищим заощадженням S_{ij} у всій матриці та об'єднує два незалежні маршрути, яким належать ці клієнти, доки не будуть вичерпані всі можливості злиття.

Згідно з дослідженнями, паралельна версія є більш ефективною та, як правило, дає кращі результати. Вона приймає рішення, які максимізують глобальну економію на кожному кроці, запобігаючи ситуаціям, коли локально-оптимальне розширення одного маршруту (характерне для CWS) блокує створення більш вигідного глобального злиття. Отже, для стратегічної доречності рекомендовано використовувати CWP.

Крім того, оскільки розрахунок великої матриці заощаджень S_{ij} є незалежним для кожної пари, цей етап алгоритму ідеально підходить для прискорення за допомогою паралельних обчислень, зокрема на GPU, що значно підвищує його масштабованість для надвеликих наборів даних.

Доречність методу C-W не обмежується швидкістю; його ключова перевага полягає у генеруванні якісних рішень, що перевершують інші прості конструкційні евристики, а також у його природній інтеграції логістичних обмежень.

Порівняльний аналіз демонструє, що C-W створює значно якісніші початкові маршрути, ніж інші поширені підходи:

- C-W проти "Найближчий Сусід": Дослідження показують, що рішення, отримані за допомогою C-W, в середньому лише 2.5% гірші за оптимальні для асиметричних задач. Натомість, евристика

"Найближчий Сусід" (Nearest Neighbor) дає відхилення до 8.5% від оптимуму.

- Механізм Якості: На відміну від Nearest Neighbor, який може призводити до неоптимальних "завіток" (коли транспортний засіб слідує за найближчим клієнтом, не враховуючи необхідність повернення до депо), C-W формує маршрути, які завжди максимізують економію щодо депо. Це гарантує ефективну мінімізацію загального пробігу.

- C-W проти Евристик Вставки: Хоча евристики вставки (Insertion Heuristics), такі як Cheapest Insertion Heuristic (CIH), відомі своєю швидкістю та простотою імплементації, C-W, що також є швидким, визнається як метод, що забезпечує близько-оптимальні рішення.

Висока якість початкового рішення, досягнута C-W (відхилення лише 2.5%), робить його еталоном, щодо якого оцінюються всі нові конструкційні методи. Дослідники регулярно використовують C-W як базову лінію для порівняння ефективності нових, більш складних алгоритмів.

Метод C-W особливо ефективний для Задачі маршрутизації транспортних засобів з обмеженням вантажопідйомності (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP).

Процедура C-W нативно інтегрує обмеження ємності. На кожному кроці злиття, коли обирається пара (i, j) з найбільшим заощадженням S_{ij} , обов'язково виконується перевірка обмежень. Об'єднання маршрутів можливе лише у тому випадку, якщо сумарний попит клієнтів, включених до нового маршруту (Депо

$\rightarrow i \rightarrow j \rightarrow$ Депо), не перевищує максимальної вантажопідйомності транспортного засобу (наприклад, 30 одиниць).

Модифіковані алгоритми, засновані на C-W, демонструють виняткову ефективність при вирішенні CVRP та її варіацій, таких як Open VRP (OVRP). Наприклад, вдосконалені гібридні C-W алгоритми змогли досягти найкращих відомих рішень у 81% тестових випадків CVRP та у 97% для OVRP, значно

перевершуючи класичну версію. Ці результати підкреслюють, що C-W є ідеальною конструкційною базою для завдань, де обмеження ємності є визначальним фактором.

Найбільш значуще обґрунтування доречності методу Кларка-Райта в контексті сучасної логістики полягає у його критичній ролі як складової гібридних метаевристичних архітектур, що вирішують найскладніші VRP.

Для великомасштабних та високообмежених VRP (наприклад, VRP з часовими вікнами — VRPTW) необхідне застосування потужних метаевристик, таких як Пошук Табу (Tabu Search) або Алгоритми Мурашиної Колонії (Ant Colony Optimization). Ці методи, хоча і здатні потенційно надавати глобально оптимізовані результати, вимагають значних обчислювальних ресурсів і залежать від якісного початкового рішення.

C-W є індустріальним стандартом для генерації цього високоякісного початкового рішення (z'). Якісний старт, забезпечений C-W, значно скорочує простір пошуку для метаевристики, тим самим зменшуючи час, необхідний для досягнення збіжності та фінального оптимуму. Це стратегічно важливо, оскільки це підвищує загальну продуктивність і надійність всієї оптимізаційної архітектури.

C-W є архітектурним наріжним каменем у двофазних алгоритмах (Cluster-First – Route-Second), а також у гібридних підходах. Гібридні алгоритми, які використовують модифікований C-W для ініціалізації, здатні вирішувати надзвичайно складні реальні VRP, що включають гетерогенні транспортні засоби, динамічну витрату палива, часові вікна та мульти-доставку. У таких складних сценаріях було досягнуто середньої економії 20.98% загальних витрат на доставку.

Таблиця 3.3 Стратегічна роль методу Кларка-Райта у сучасних оптимізаційних рішеннях

Сценарій Застосування	Роль C-W	Критичне обґрунтування доречності
Великі та Складні VRP	Генератор початкового рішення (z')	Забезпечення якісного старту для прискорення конвергенції метаевристик.
Динамічна Логістика	Евристика з низьким обчислювальним навантаженням	Надання швидких рішень, ідеально підходить для реального часу, коли метаевристики надто повільні.
Практична Логістика (CVRP)	Основний алгоритм оптимізації	Гнучкість у роботі з широким спектром практичних обмежень.
Вдосконалення Алгоритмів	Об'єкт структурної модифікації	Основа для створення більш досконалих алгоритмів.

Актуальність C-W підтримується постійними структурними вдосконаленнями. Дослідники розробляють розширені версії C-W з метою усунення необхідності ручного налаштування параметрів (parameter setting and tuning). Така автоматизація підвищує надійність C-W і його придатність для повністю автоматизованого комерційного програмного забезпечення.

Інші модифікації включають спеціалізовані процедури, такі як модифікація формули заощаджень (наприклад, через введення λ), та додавання етапів постоптимізації для подальшого поліпшення маршрутів, створених методом C-W.

Стратегічно, C-W пропонує бізнес-рішенню гнучкість: він може функціонувати як швидка, самостійна система для малих і середніх задач, або як найважливіший модуль, що живить більш складні метаевристики. Ця подвійна функціональність мінімізує ризики інвестицій в оптимізацію, оскільки підприємства можуть почати з простої, високоефективної імплементації, а пізніше масштабувати її до складного гібридного фреймворку, використовуючи C-W як надійну основу.

3.3 Розрахунок економій та побудова матриці

Таблиця 3.4 Матриця виграшів

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Одеса	0	35	260	210	230	195	555	500	500	825
Коростень	35	0	305	285	15	60	30	5	65	40
Львів	260	305	0	660	90	95	175	180	70	165
Рівне	210	285	660	0	90	95	125	130	70	115
Харків	230	15	90	90	0	685	525	390	740	365
Полтава	195	60	95	95	685	0	410	395	625	330
Кривий Ріг	555	30	175	125	525	410	0	585	745	690
Кропивницький	500	5	180	130	390	395	585	0	610	625
Дніпро	500	65	70	70	740	625	745	610	0	635
Миколаїв	825	40	165	115	365	330	690	625	635	0

Для ілюстрації процесу розрахунку економій розглянемо кілька прикладів, використовуючи дані про відстані.

1. Пара Дніпро-Харків: Ці міста знаходяться далеко від Києва (по 480 км), але порівняно близько одне до одного (220 км).

- $\text{Дніпро-Харків} = d(\text{Київ-Дніпро}) + d(\text{Київ-Харків}) - d(\text{Дніпро-Харків})$
- $\text{Дніпро-Харків} = 480 + 480 - 220 = 740 \text{ км}$
- Ця економія є значною, що вказує на високий потенціал для об'єднання. Однак, сумарна потреба цих міст ($12 \text{ т} + 14 \text{ т} = 26 \text{ т}$) значно перевищує ліміт вантажопідйомності (22 т), що робить це об'єднання неможливим.

2. Пара Кропивницький-Кривий Ріг: Ці міста знаходяться на середній відстані від Києва (300 км та 415 км), але дуже близько один до одного (130 км).

- $\text{Кропивницький-Кривий Ріг} = d(\text{Київ-Кропивницький}) + d(\text{Київ-Кривий Ріг}) - d(\text{Кропивницький-Кривий Ріг})$
- $\text{Кропивницький-Кривий Ріг} = 300 + 415 - 130 = 585 \text{ км}$

○ Сумарна вага ($9 \text{ т} + 8 \text{ т} = 17 \text{ т}$) знаходиться в межах допустимого ліміту, що робить цей варіант першочерговим кандидатом на об'єднання.

3. Пара Полтава-Харків: Ці міста знаходяться далеко від Києва (345 км та 480 км), але порівняно близько (140 км).

○ Полтава-Харків= $d(\text{Київ-Полтава})+d(\text{Київ-Харків})-d(\text{Полтава-Харків})$

○ Полтава-Харків= $345+480-140=685$ км

○ Сумарна вага ($7 \text{ т} + 14 \text{ т} = 21 \text{ т}$) знаходиться в межах допустимого ліміту, що також робить цю комбінацію дуже ефективною.

3.4 Побудова та аналіз матриці економій

На основі повних розрахунків для всіх 45 пар міст була побудована матриця економій. Нижче наведено уривок з цієї матриці, відсортований за значенням економії у порядку спадання.

Таблиця 3.5 Матриця економій

Пара міст	Потреба (т)	Економія (S_{ij})	Можливість об'єднання (обмеження 22 т)
Дніпро-Кривий Ріг	20	745	Так
Дніпро-Харків	26	740	Ні
Кривий Ріг-Миколаїв	21	690	Так
Полтава-Харків	21	685	Так
Львів-Рівне	21	660	Так
Дніпро-Миколаїв	25	635	Ні
Дніпро-Полтава	19	625	Так
Кропивницький-Миколаїв	22	625	Так
Кропивницький-Кривий Ріг	17	585	Так
Одеса-Кривий Ріг	29	555	Ні
Кривий Ріг-Харків	22	525	Так
Одеса-Кропивницький	30	500	Ні
Одеса-Дніпро	33	500	Ні

Кривий Ріг-Полтава	15	410	Так
Кропивницький-Полтава	16	395	Так
Кропивницький-Харків	23	390	Ні
Миколаїв-Харків	27	365	Ні
Миколаїв-Полтава	20	330	Так
Коростень-Львів	31	305	Ні
Коростень-Рівне	32	285	Ні
Одеса-Львів	31	260	Ні
Одеса-Харків	35	230	Ні
Одеса-Рівне	32	210	Ні
Львів-Кропивницький	19	180	Так
Львів-Кривий Ріг	18	175	Так
Рівне-Кропивницький	20	130	Так
Рівне-Кривий Ріг	19	125	Так
Рівне-Миколаїв	24	115	Ні
Львів-Полтава	17	95	Так
Львів-Харків	24	90	Ні
Рівне-Полтава	18	95	Так
Рівне-Харків	25	90	Ні
Львів-Дніпро	22	70	Так
Рівне-Дніпро	23	70	Ні
Коростень-Дніпро	33	65	Ні
Коростень-Полтава	28	60	Ні
Коростень-Миколаїв	34	40	Ні
Одеса-Коростень	42	35	Ні
Коростень-Кривий Ріг	29	30	Ні
Коростень-Кропивницький	30	5	Ні
Одеса-Миколаїв	34	825	Ні
Кропивницький-Дніпро	21	610	Так
Львів-Миколаїв	23	165	Ні
Одеса-Полтава	28	195	Ні
Коростень-Харків	35	15	Ні

Дана таблиця демонструє, що найвищі показники економії зазвичай досягаються при об'єднанні міст, що знаходяться близько одне до одного, але віддалені від депо. Обмеження по вантажності у 22 тонни все ще залишається

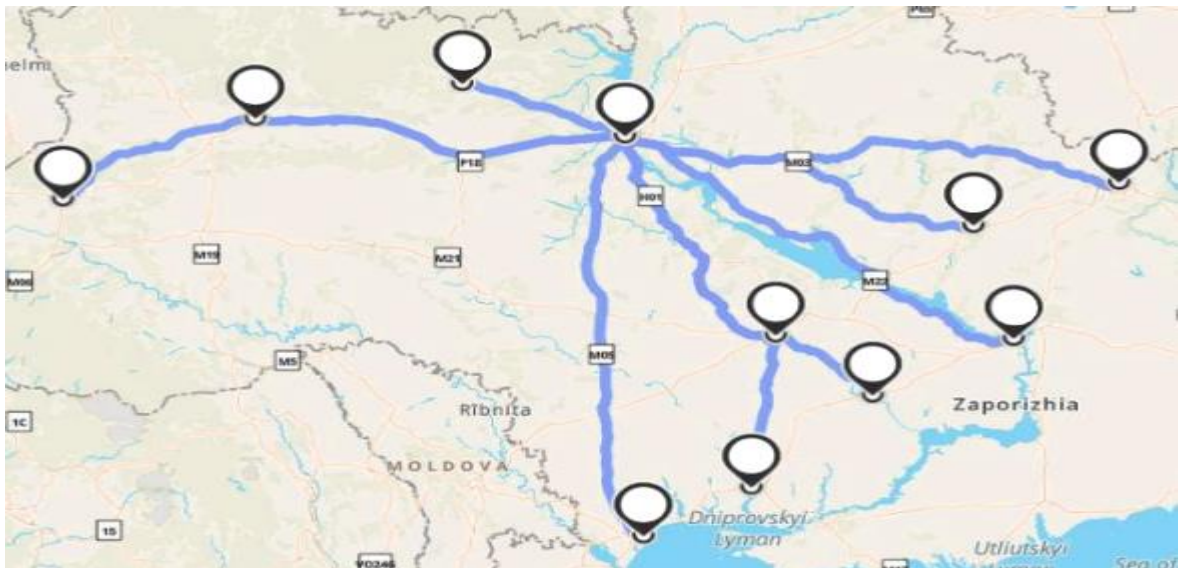
жорстким, що змушує відкидати деякі з найбільш вигідних з точки зору відстані комбінацій. Наприклад, об'єднання Дніпра та Харкова, яке пропонує найбільшу економію, є неможливим через перевищення ліміту вантажності.

На початковому етапі, згідно з методологією Кларка-Райта, передбачається, що кожне з десяти міст обслуговується окремим маршрутом, який починається і закінчується в Києві. Це вимагає залучення десяти вантажівок. Загальна початкова відстань, яка буде пройдена, є сумою подвоєних відстаней від Києва до кожного з міст:

$$D_{\text{початкова}} = 2 \times (d_{\text{Київ-Одеса}} + d_{\text{Київ-Коростень}} + d_{\text{Київ-Львів}} + d_{\text{Київ-Рівне}} + d_{\text{Київ-Харків}} + d_{\text{Київ-Полтава}} + d_{\text{Київ-Кривий Ріг}} + d_{\text{Київ-Кропивницький}} + d_{\text{Київ-Дніпро}} + d_{\text{Київ-Миколаїв}})$$

$$D_{\text{початкова}} = 2 \times (480 + 165 + 540 + 330 + 480 + 345 + 415 + 300 + 480 + 475) = 2 \times 4010 = 8020 \text{ км}$$

Рис.3.1 Початкова мапа відстаней маршруту



Процес формування маршрутів відбувається шляхом послідовного розгляду пар міст з відсортованого списку економій.

- **Крок 1:** Об'єднуємо міста **Дніпро** (12 т) та **Кривий Ріг** (8 т). Сумарна потреба (20 т) не перевищує ліміт вантажності (22 т).
 - **Дія:** Формуємо маршрут: Київ → Дніпро → Кривий Ріг → Київ.
 - **Вантаж:** 20 т.

- **Крок 2:**Об'єднуємо міста **Кропивницький** (9 т) та **Миколаїв** (13 т). Сумарна потреба (22 т) не перевищує ліміт вантажності.

- **Дія:** Формуємо маршрут: Київ → Кропивницький → Миколаїв → Київ.

- **Вантаж:** 22 т.

- **Крок 3:**Об'єднуємо міста **Полтава** (7 т) та **Харків** (14 т). Сумарна потреба (21 т) не перевищує ліміт вантажності.

- **Дія:** Формуємо маршрут: Київ → Полтава → Харків → Київ.

- **Вантаж:** 21 т.

- **Крок 4:** Після формування залишилися міста: **Львів** (10 т), **Рівне** (11 т), **Одеса** (21 т) та **Коростень** (21 т). Виходячи з методології Кларка-Райта, шукаємо найбільшу економію серед решти міст. Це пара Львів-Рівне. Сумарна потреба (10 т + 11 т = 21 т) не перевищує ліміт.

- **Дія:** Об'єднуємо міста Львів та Рівне.

- **Новий маршрут:** Київ → Львів → Рівне → Київ.

- **Вантаж:** 21 т.

- **Крок 5:** Залишаються два міста з великою потребою: **Одеса** (21 т) та **Коростень** (21 т). Кожне з цих міст, через обмеження вантажності, не може бути об'єднане з жодним іншим містом або існуючим маршрутом.

- **Дія:** Ці міста обслуговуються окремими маршрутами: Київ → Одеса → Київ та Київ → Коростень → Київ.

- **Вантаж:** 21 т (Одеса) та 21 т (Коростень).

Процес формування маршрутів завершено, оскільки всі міста були включені в маршрути, і їх загальна кількість відповідає наявному автопарку.

3.6 Зведення кінцевих маршрутів

За результатами застосування методу Кларка-Райта було сформовано шість оптимізованих маршрутів, які забезпечують доставку всіх вантажів. Кожен маршрут обслуговується однією вантажівкою, і жоден з них не перевищує встановлене обмеження по вантажності.

Таблиця 3.6 Кінцеві маршрути та їх характеристики

Маршрут	Шлях	Загальна вага (т)	Загальна відстань (км)
1	Київ → Дніпро → Кривий Ріг → Київ	20	1045
2	Київ → Кропивницький → Миколаїв → Київ	22	925
3	Київ → Полтава → Харків → Київ	21	965
4	Київ → Львів → Рівне → Київ	21	1080
5	Київ → Одеса → Київ	21	960
6	Київ → Коростень → Київ	21	330

Рис.3.2 Оптимізована мапа відстаней маршруту



Розрахунок сумарної відстані для оптимізованих маршрутів:

Доптимізована = $1045+925+965+1080+960+330=5305$ км

Порівняння з початковою моделлю, де кожен клієнт обслуговувався окремо:

- **Початкова відстань:** 8020 км
- **Оптимізована відстань:** 5305 км

Загальна економія становить:

Економія= $D_{\text{початкова}}-D_{\text{оптимізована}}=8020-5305=2715$ км

Відсоток економії:

$$\text{Ефективність} = \text{Економія} / \text{Дпочаткова} \times 100\% = 2715 / 8020 \times 100\% \approx 33,85\%$$

Отриманий результат демонструє значне підвищення ефективності роботи автопарку. Зменшення сумарного пробігу на понад 33% є важливим показником успішної оптимізації.

А тепер розрахуємо економію грошових витрат:

1. Амортизація

Сумарні / середні показники по парку

Середня ціна одного авто (UAH):

$$\begin{aligned} \text{AvgPrice} &= (1,449,000 + 1,449,000 + 1,449,000 + 869,400 + 1,207,500 + 1,207,500) / 6 \\ &= 1,271,900 \text{ грн} \end{aligned}$$

Середній ресурс одного авто:

$$\begin{aligned} \text{AvgResource} &= (1,350,000 + 1,350,000 + 1,750,000 + 1,000,000 + 1,300,000 + 1,300,000) / 6 \\ &= 1,341,666.67 \text{ км} \end{aligned}$$

Розрахунок амортизації (усереднено по парку)

Амортизація на 1 км (усереднена):

$$ca = 1,271,900 / 1,341,666.67 \approx 0.948 \text{ грн/км}$$

Економія амортизації при скороченні пробігу $L = 2715$ км:

$$A = ca \times L \approx 0.948 \times 2715 \approx 2,573.82 \text{ грн}$$

2. Паливо

Витрати палива залежать від витрати (літр/100 км) та ціни дизеля (припустимо 60 грн/л):

$$C_{\text{п}} = (L/100) \times q \times P_{\text{д}} \text{ де:}$$

$$L = 2715 \text{ км економії,}$$

q – середня витрата палива (візьмемо середнє ≈ 31 л/100 км),

$$P_{\text{д}} = 60 \text{ грн}$$

$$C_{\text{п}} = (2715/100) \times 31 \times 60 \approx 50540 \text{ грн}$$

3. Час водія

Середня швидкість вантажівки ≈ 60 км/год.

Економія часу:

$$T = L/V = 2715/60 \approx 45,25 \text{ год}$$

Оплата:

$$C_{\text{в}} = T \times 300 = 45,25 \times 300 \approx 13575 \text{ грн}$$

4. ТО (технічне обслуговування)

Витрати на км:

$$C_{\text{то}} = 25000 \times 6 / 1200000 \approx 0,125 \text{ грн/км}$$

Економія:

$$C_{\text{то}} = 2715 \times 0,125 \approx 339 \text{ грн}$$

5. Шини

Повний комплект шин: 936 000 грн / 1 200 000 км $\approx 0,78$ грн/км.

Економія:

$$C_{\text{ш}} = 2715 \times 0,78 \approx 2118 \text{ грн}$$

Загальна економія

$$C_{\text{заг}} = A + C_{\text{п}} + C_{\text{в}} + C_{\text{то}} + C_{\text{ш}}$$

$$C_{\text{заг}} \approx 5656 + 50540 + 13575 + 339 + 2118 \approx 72228 \text{ грн}$$

РОЗДІЛ IV. УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ В УМОВАХ ТОВ СІАТРАНС

4.1 Стратегічні основи та операційне вдосконалення перевезень

Вдосконалення логістики тарно-штучних (генеральних) вантажів починається з операційних методів, які забезпечують уніфікацію та безпеку фізичних об'єктів. Генеральні вантажі — це продукція, що перевозиться в індивідуальній тарі, такій як ящики, мішки, бочки, пачки або на піддонах, і не включає наливну, насипну чи навалочну продукцію.

Гетерогенність тарно-штучних вантажів вимагає особливої уваги до їхніх характеристик. Ці вантажі класифікуються за розмірами (стандартні, довгомірні, негабаритні) та вагою (легкі та великовагові). Така різноманітність визначає необхідність гнучких рішень у транспортуванні. Перевезення таких вантажів найчастіше здійснюється спеціальними автопоїздами, і іноді способи транспортування комбінують для досягнення оптимальної ефективності. Критичною вимогою є наявність усієї необхідної супровідної документації, без якої транспортування неможливе.

Головним важелем підвищення ефективності перевезення тарно-штучних вантажів є процес укрупнення вантажних одиниць. Цей метод включає пакування вантажу, а також використання піддонів та контейнерів. Хоча підготовка вантажу та його упаковка, безумовно, дорожча, цей процес значно спрощує та механізує навантажувально-розвантажувальні операції, а також прискорює оформлення документів, забезпечуючи загальне зниження операційних витрат у логістичному ланцюзі.

Крім того, стандартизація пакування є обов'язковою, особливо у міжнародній логістиці. Дотримання міжнародних правил забезпечує уніфікацію, безпеку та значно прискорює проходження митного контролю. Серед ключових стандартів:

- ISO 780 регулює використання уніфікованих символів для маркування пакувань («крихке», «захист від вологи», стрілки), забезпечуючи однакове розуміння інструкцій у різних країнах.

- ISO 6346 встановлює систему кодування та маркування контейнерів, критично важливу для їх ідентифікації та відстеження у світових перевезеннях.

- Правила для Небезпечних Вантажів (IATA DGR, IMO/IMDG Code, ADR, RID) визначають суворі вимоги до пакування та маркування небезпечних тарно-штучних вантажів для всіх видів транспорту (авіаційний, морський, автомобільний, залізничний).

Слід зазначити, що укрупнення та стандартизація вантажних одиниць (наприклад, перетворення гетерогенного товару на уніфіковані палети) є не просто найкращою практикою, а й необхідною технологічною передумовою для подальшої автоматизації. Оскільки тарно-штучні вантажі самі по собі є різнорідними, їх укрупнення штучно перетворює їх на однотипні, готові для роботизованої обробки одиниці. Це дозволяє системам управління складом (WMS) ефективно керувати розміщенням та взаємодіяти з автономними мобільними роботами (AMR), максимізуючи механізацію. Більше того, фізична відповідність стандартам, таким як ISO 6346, створює цифровий слід (ідентифікація контейнера), який є критично важливим для забезпечення прозорості ланцюга поставок (SCV). Цей цифровий слід інтегрується в системи управління транспортом (TMS) та корпоративні системи (ERP). Таким чином, належна стандартизація генерує дані, які, будучи незахищеними міжнародним стандартом кібербезпеки ISO 27001, можуть призвести до втрати ідентифікації вантажу та паралізувати логістичні операції.

4.2 Цифрова архітектура: Інтеграція WMS, TMS та ERP

Кардинальне вдосконалення перевезень тарно-штучних вантажів вимагає побудови цілісної цифрової екосистеми, яка забезпечує безперервну комунікацію між внутрішньою та зовнішньою логістикою.

Фундамент цієї екосистеми складають дві ключові системи:

- Система Управління Складом (WMS): Це програмне рішення, яке підтримує та оптимізує всі внутрішні операції: приймання, розміщення

запасів, комплектацію, пакування та відвантаження. WMS контролює рух матеріалів на складі та оптимізує розміщення у реальному часі, використовуючи дані про рівень запасів та доступність місць зберігання.

- Система Управління Транспортом (TMS): Це логістичний інструмент, орієнтований на планування, управління та оптимізацію переміщення вантажів поза межами складу. TMS зосереджена на оптимізації маршрутів, зниженні часу простою за допомогою передбачувальної аналітики, забезпеченні безпеки вантажу та дотриманні норм. Її кінцева мета — зниження транспортних витрат та покращення термінів доставки.

Спільне впровадження цих систем створює синергетичний ефект, що вважається революційним для управління запасами та категоріями. WMS, контролюючи процес комплектації та пакування тарно-штучних вантажів, надає TMS точні дані про готовність вантажу. У свою чергу, TMS інформує WMS про оптимальний час забору, запобігаючи простою транспорту на вантажних терміналах.

Наскрізна видимість (SCV) є головним результатом інтеграції. Прозорість операцій, що досягається завдяки інтегрованим системам, дозволяє спростити розподіл ресурсів, мінімізувати відходи та підвищити ефективність. Більш того, наявність даних у реальному часі значно знижує ризики, дозволяючи швидко реагувати на збої, а також підвищує лояльність клієнтів (CSAT) завдяки наданню точної інформації про наявність та терміни доставки.

Для досягнення стратегічного рівня управління WMS та TMS повинні безшовно інтегруватися з корпоративними системами управління ресурсами підприємства (ERP). Ця інтеграція дозволяє контролювати переміщення товарів, управляти запасами та координувати транспортні служби у єдиній цифровій платформі. Інтеграція з зовнішніми партнерами, включаючи поштові служби ("Нова Пошта", "Укрпошта"), зазвичай реалізується через відкриті API, що є стандартом для швидкого та автоматизованого обміну даними.

Система WMS слугує критичною точкою для *точної* оцінки готовності

тарно-штучного вантажу, оскільки вона керує деталями його пакування та комплектації. Неправильно упакований або підготовлений вантаж може бути затриманий перевізником або митною службою. Таким чином, якість даних, які генерує WMS (статус "комплектації" та "готовності до відправлення"), є первинним вхідним параметром, що визначає точність прогнозованого часу прибуття (ETA) в TMS.

Комплексна інтеграція (ERP-WMS-TMS), особливо на основі хмарних рішень, є ключем до формування адаптивної логістичної системи, яка є менш вразливою до зовнішніх економічних чи політичних шоків. Коли TMS прогнозує затримку доставки (наприклад, на основі аналізу трафіку), ця інформація миттєво оновлює статус замовлення в CRM і коригує планування складських процесів у ERP, створюючи "петлю зворотного зв'язку" в реальному часі.

Таблиця 4.1 Функціональне порівняння TMS та WMS у контексті SCV

Характеристика	TMS (Transportation Management System)	WMS (Warehouse Management System)
Основна Функція	Оптимізація та управління зовнішнім переміщенням (маршрути, фрахт, перевізники).	Оптимізація внутрішньої обробки вантажу (приймання, комплектація, пакування, розміщення).
Ключові Дані SCV	Фактичне місцезнаходження (GPS), Час прибуття (ETA), Транспортні витрати.	Рівень запасів, Точне місцезнаходження товару на складі, Статус комплектації/пакування.
Внесок у Перевезення Тарно-Штучних Вантажів	Динамічне планування маршрутів та вибір оптимального транспорту.	Контроль укрупнення вантажних одиниць (палетування) та підготовка до безшовної відправки.

4.3 Технології стеження та моніторингу в реальному часі (SCV, IoT)

Ефективність транспортування тарно-штучних вантажів значно

підвищується завдяки впровадженню технологій, що забезпечують постійний моніторинг стану вантажу та транспортного засобу.

GPS-трекери є незамінним інструментом, що дозволяє отримувати детальну інформацію про місцезнаходження та рух транспортних засобів. Це дає змогу логістичним менеджерам контролювати терміни доставки та оперативно оптимізувати маршрути, що знижує витрати та підвищує якість обслуговування клієнтів. Крім відстеження, GPS-моніторинг дозволяє контролювати поведінку водіїв (швидкість, час роботи, стоянки), що є важливим для запобігання перевантаженню, зниження ризиків аварій та виявлення патернів, які можуть призводити до заторів. Загалом, використання GPS-систем сприяє зменшенню оперативних витрат за рахунок економії пального і часу, а також знижує ризик крадіжок та втрати вантажу.

Системи Інтернету речей (IoT) забезпечують комплексний моніторинг, виходячи за рамки простої геолокації. Датчики, інтегровані з GPS-трекерами, збирають дані про фізичний стан вантажу, зокрема температуру, вологість, вібрацію та навантаження.

Для чутливих тарно-штучних вантажів (наприклад, продуктів харчування) датчики температури є ключовими для забезпечення якості та безпеки. Їх використання в інтелектуальних системах підвищує ефективність зберігання та транспортування та знижує ризик втрат. Своєю чергою, датчики вібрації та шоку критичні для контролю транспортування крихких товарів. Якщо зафіксовано вплив, який виходить за встановлені параметри, система негайно попереджає про загрозу безпеці, запобігаючи пошкодженню. Крім того, RFID-мітки можуть кріпитися до окремих предметів, контейнерів або піддонів, дозволяючи контролювати рівень запасів та проводити інвентаризацію у реальному часі.

Інтеграція GPS та IoT-сенсорів перетворює прозорість ланцюга поставок з реактивного інструменту на інструмент проактивного управління ризиками. Якщо датчики температури або вібрації фіксують відхилення, TMS/WMS може автоматично зіставити ці дані з поточним місцезнаходженням (GPS) та

історичними моделями (Big Data). Це дозволяє не лише зафіксувати факт пошкодження, але й негайно ініціювати коригувальні дії, такі як автоматичне перенаправлення транспортного засобу до найближчого терміналу, що запобігає втраті цінного вантажу.

IoT-пристрої також застосовуються для ретельного моніторингу стану самого транспорту. Датчики можуть вимірювати тиск у шинах, витрати палива та продуктивність двигуна. Оперативне виявлення аномалій у цих показниках дозволяє логістичній компанії передбачити потреби в технічному обслуговуванні, заздалегідь призначити ремонт та уникнути серйозних поломок. Такий проактивний підхід призводить до значної економії коштів, скорочення часу простою та запобігання несподіваним затримкам доставки.

Крім того, дані, зібрані сенсорами IoT, можуть виступати як доказ дотримання умов транспортування. Оскільки тарно-штучні вантажі часто крихкі або чутливі, дані про точний час та місце удару чи температурного відхилення, записані датчиками вібрації/шоку, можуть бути інтегровані у цифрову документацію. Ці незмінні записи слугують незаперечним доказом у випадках суперечок щодо пошкоджень, підвищуючи довіру клієнтів та забезпечуючи юридичний захист оператора.

Таблиця 4.2 Переваги впровадження IoT-сенсорів для моніторингу стану вантажу

Тип Сенсора/Трекера	Контрольовані й Параметр	Бізнес-Вигода для Тарно-Штучних Вантажів	Джерело Даних для SCV/TMS
Датчик температури/вологості	Кліматичний режим	Забезпечення якості чутливих товарів, уникнення псування.	IoT-системи моніторингу.
Активні GPS-	Геолокація,	Оптимізація	GPS-трекери

трекери	швидкість, час простою	маршруту, зниження витрат на паливо, запобігання крадіжкам.	Teltonika та ін..
Датчики вібрації/шоку	Умови транспортування, удари, навантаження	Моніторинг пошкоджень крихких вантажів, підвищення безпеки.	Датчики на транспорті.
RFID-мітки	Ідентифікація окремих одиниць/палет	Прискорення інвентаризації, контроль рівня запасів на піддонах.	WMS/ERP системи.

4.4 Інтелектуальна оптимізація: Big Data, AI та машинне навчання

Сучасне вдосконалення перевезень тарно-штучних вантажів досягається завдяки інтеграції великих даних (Big Data) та алгоритмів штучного інтелекту (AI) і машинного навчання (ML).

Аналітика великих даних є ключовою для логістики, оскільки вона дозволяє компаніям фільтрувати інформацію для отримання цінних висновків, підвищуючи операційну ефективність та масштабованість послуг. Big Data використовується для:

- Прогнозування попиту: Аналіз історичних трендів та сезонних коливань допомагає точно прогнозувати попит на продукцію, що критично важливо для оптимізації складських запасів та виробничих графіків.
- Моніторинг продуктивності: Аналізуючи продуктивність водіїв, транспортних засобів та складського персоналу, компанії можуть виявити проблемні зони та оптимізувати робочі процеси.

Штучний інтелект здійснює революцію в плануванні логістики.

Алгоритми машинного навчання здатні аналізувати величезну кількість даних у реальному часі — від трафіку та погодних умов до історичних даних про затримки та завантаженість транспортних засобів — для визначення найбільш ефективних маршрутів. На відміну від статичних навігаційних систем, AI-рішення можуть самостійно генерувати алгоритми та швидко розгортати нові маршрути у випадку непередбачених обставин (заторів чи погіршення погоди). Це забезпечує значне скорочення часу в дорозі та економію палива, а також зменшення екологічного сліду. Дослідження підтверджують, що впровадження аналітики Big Data у транспорті може знизити викиди CO₂ до 20% у великих містах.

Штучний інтелект використовується для передбачувальної аналітики, аналізуючи закономірності та аномалії, які можуть вказувати на потенційні затримки або вузькі місця у логістичному ланцюзі. Таке прогнозування можливих затримок або поломок транспорту дозволяє запобігати збиткам та забезпечувати безперебійність перевезень.

Крім того, ШІ автоматизує рутинні завдання, такі як перевірка документації. Наприклад, спеціалізовані програми можуть автоматично аналізувати та верифікувати основні документи транспортних компаній, обробляючи до 14 тисяч документів на місяць і звільняючи персонал.

Використання AI-оптимізації маршрутів не обмежується лише окремими транспортними засобами. Агрегація великих даних, зібраних логістичними операторами, може бути використана на міському рівні для управління світлофорами та трафіком, зменшуючи затори на 30%. Таким чином, інвестиції логістичних компаній у ШІ створюють синергетичний ефект, вигідний усій транспортній інфраструктурі. Машинне навчання стає не просто інструментом оптимізації, а стратегічним чинником. Прогнозування попиту та затримок дозволяє компаніям надавати клієнтам більш точні терміни доставки, підвищуючи їхню лояльність. Надійність, забезпечена інтелектуальними системами, надає логістам конкурентну перевагу.

Таблиця 4.3 Економічний та операційний ефект від застосування AI/ML у мережезв'язках

Напрямок Застосування AI/ML	Очікуваний Результат	Джерела Економії та Покращення
Динамічна маршрутизація	Зменшення часу в дорозі та заторів.	Економія до 20% палива, зниження викидів CO ₂ .
Передбачувальна аналітика	Проактивне управління ризиками та збоями.	Зниження збитків від поломок, запобігання непередбачуваним затримкам.
Прогнозування попиту	Оптимізація виробництва та складських запасів.	Зниження витрат на зберігання та ризику дефіциту.
Автоматизація документообігу	Прискорення обробки та верифікації документів.	Звільнення персоналу від рутинних завдань (обробка до 14 тис. документів на місяць).

4.5 Автоматизація внутрішньої логістики: роботизовані системи

Удосконалення перевезень тарно-штучних вантажів вимагає автоматизації не лише зовнішнього транспорту, але й складу, який є ключовим вузлом комплектації та відвантаження укрупнених одиниць.

Складська автоматизація розвинулася від простих систем до високоінтелектуальних робіт:

- Автоматизовані Керовані Транспортні Засоби (AGV): Це системи першого покоління (з 1950-х років). Вони слідують фіксованим, наперед визначеним маршрутам (використовуючи дроти, магнітні стрічки або лазери) і призначені для монотонних та повторюваних завдань. Обмеженням є їхня негнучкість: будь-які зміни у плануванні вимагають значного переналаштування інфраструктури.
- Автономні Мобільні Роботи (AMR): Це нове покоління (з 2010-х років). На відміну від AGV, AMR використовують сенсори, камери, 3D-

мапінг та вбудований AI для інтелектуальної навігації у реальному часі. Вони можуть динамічно обходити перешкоди та самостійно обирати найбільш ефективний шлях. AMR потребують лише вхідних даних про початкову та кінцеву точки, що надає безпрецедентну гнучкість.

- Автоматизовані Системи Зберігання та Пошуку (AS/RS): Ці системи використовують програмне забезпечення та робототехніку для ефективного розміщення, зберігання та пошуку продукції.

AS/RS та AMR/AGV керуються за допомогою WMS, яка обробляє команди та забезпечує автономну роботу. Гнучкість AMR дозволяє системі WMS легко змінювати маршрути руху матеріалу, що є значною перевагою для складів, які працюють з динамічним асортиментом тарно-штучних вантажів. AMR можуть виконувати різноманітні завдання, включаючи комплектацію, пакування та відстеження запасів, що є критичним для адаптації до сезонних навантажень та вимог e-commerce.

Важливо, що внутрішня гнучкість складу (забезпечена AMR) є прямою відповіддю на вимоги до швидкості та динаміки, що їх накладає AI-керована TMS. Оскільки AI у TMS постійно оптимізує часові вікна доставки та маршрути, склад має бути здатний миттєво комплектувати та підготувати вантаж (укрупнені палети) до відвантаження. Фіксовані AGV створюють вузькі місця, тоді як AMR дозволяють WMS інтегруватися з динамічною TMS у режимі реального часу.

Роботизація, керована ШІ, підвищує не лише продуктивність (прискорення завантаження, розвантаження та сортування товарів), але й стійкість ланцюга поставок. Завдяки автоматизації обробки тарно-штучних вантажів, AMR зменшують залежність від людського фактора та мінімізують помилки. Це гарантує безперебійність перевезень навіть в умовах дефіциту робочої сили або пікових навантажень.

Оскільки технологічне вдосконалення перевезень тарно-штучних вантажів повністю базується на цифровій інтеграції (ERP, TMS, WMS, IoT), кібербезпека стає не просто питанням захисту, а необхідною умовою

операційної стійкості.

Логістична та транспортна галузі є бажаною ціллю для кіберзлочинців, оскільки вони становлять частину критично важливої інфраструктури. Спостерігається стрімке зростання масштабів кібератак на ланцюги поставок. Фінансові наслідки витоку даних є значними: середня вартість інциденту досягла 4,88 мільйона доларів у 2024 році, що включає витрати на відновлення, юридичні процеси та репутаційні втрати. Основні цілі атак — конфіденційні дані про маршрути, запаси, фінансові ресурси та персональну інформацію, які циркулюють між інтегрованими цифровими системами.

Для захисту цифрової екосистеми критично важливе впровадження міжнародних стандартів:

- ISO 27001: Цей стандарт є основою для побудови Системи управління інформаційною безпекою (СУІБ). Він надає системний підхід до управління конфіденційністю, включаючи розробку детальних процедур реагування на кібератаки та витоки даних.
- Інші Рекомендації: Компаніям слід приводити свої цифрові платформи у відповідність до інших провідних світових стандартів, таких як NIST та OWASP. Крім того, впровадження принципу Zero Trust (Нульової довіри) допомагає обмежити доступ до даних лише необхідним мінімумом, скорочуючи потенційні вразливості, пов'язані з людським фактором.

Оскільки прозорість ланцюга поставок (SCV) та інтелектуальна оптимізація маршрутів живляться даними від численних кінцевих точок — GPS-трекерів та IoT-сенсорів — захист цих пристроїв є критичним. Незахищений датчик або кінцева точка можуть слугувати вектором для проникнення в централізовану систему TMS чи ERP.

Недостатня кібербезпека є найбільшою перешкодою для реалізації переваг цифрової інтеграції. Алгоритми AI/ML потребують величезних масивів оперативної інформації (Big Data). Якщо компанія інвестує у передові системи, але не забезпечує їх захист відповідно до ISO 27001, вона створює

високопривабливий і вразливий набір даних для зловмисників. Таким чином, інвестиції у кібербезпеку мають відбуватися паралельно з цифровою трансформацією.

Компанії, які працюють із міжнародними партнерами, часто змушені проходити сертифікацію за стандартами кібербезпеки, оскільки гарантія захисту даних є обов'язковою умовою для участі у глобальних логістичних ланцюгах. Впровадження СУІБ, зокрема процедур управління інцидентами, визначених ISO 27001, забезпечує, що навіть у разі кібератаки логістична система зможе швидко відновити критичні функції (наприклад, GPS-трекінг та керування WMS), зберігаючи свою адаптивність та стійкість.

Таблиця 4.4 Дорожня карта удосконалення технології перевезення ТШВ

Етап Вдосконалення	Ключові Технології	Операційна Мета	Ключовий Внесок у Ефективність (SCV)
I. Фундамент та Уніфікація	Палетування, Контейнеризація, ISO/ADR стандарти	Перетворення гетерогенного вантажу на уніфіковані одиниці.	Зменшення ручної праці, прискорення митних процедур.
II. Цифрова Інтеграція	WMS, TMS, ERP, API/EDI	Створення єдиної цифрової платформи для управління запасами та рухом.	Наскрізна видимість (SCV) та інтегрований облік.
III. Деталізований Моніторинг	GPS, IoT (температура, вібрація, RFID)	Відстеження не лише місця, а й фізичного стану вантажу та транспорту.	Проактивне управління якістю та попереджувальне обслуговування.
IV. Інтелектуальна Оптимізація	Big Data, AI, ML алгоритми	Динамічне планування маршрутів та прогнозування	Зниження витрат на паливо, мінімізація затримок,

		ризиків.	підвищення CSAT.
V. Захист та Стійкість	ISO 27001, Zero Trust	Забезпечення безпеки даних та безперервності бізнес-процесів.	Зниження фінансових та репутаційних ризиків від кібератак.

ВИСНОВКИ

Автомобільний транспорт є ключовим, але й найбільш дорогим елементом у перевезенні тарно-штучних вантажів (ТШВ). Основною проблемою, що вимагає негайної оптимізації, є висока собівартість перевезень та значний вплив неякісної інфраструктури. Була підтверджена критична необхідність вдосконалення технології перевезень для підвищення конкурентоспроможності ТОВ «СІАТРАНС» на вітчизняному та міжнародному ринку.

Визначено, що тарно-штучні вантажі (ТШВ) становлять основу значної частини економічних операцій та міжнародної торгівлі, вимагаючи специфічних логістичних підходів.

Актуалізовано стратегічну мету модернізації: забезпечення внутрішньої стійкості ланцюгів постачання та реалізація потенціалу України як ключового транзитного хаба (гармонізація стандартів з ЄС).

Оцінено сучасний стан логістичного сектора України, який характеризується системними проблемами: фінансовими, законодавчими та інфраструктурною недостатністю.

Встановлено, що автоматизація логістичних процесів є не просто оптимізацією витрат, а стратегією національної операційної стійкості.

Дослідження було розділено на два ключові взаємопов'язані напрямки:

Структурні цілі: Спрямовані на створення прозорого та міжнародно сумісного середовища. Обґрунтовано необхідність гармонізації митного законодавства з ЄС та повного впровадження е-ТТН для мінімізації зловживань та прискорення документообігу.

Технологічні цілі: Спрямовані на підвищення ефективності та зниження витрат. Обґрунтовано критичну важливість Систем управління транспортом (TMS) для інтелектуального планування та автоматизації складської логістики (високопродуктивні сортувальні лінії, AGV).

ТОВ «СІАТРАНС» є типовим перевізником ТШВ, для якого оптимізація

маршрутів є першочерговим завданням. Для вирішення задачі маршрутизації транспортних засобів з обмеженням вантажопідйомності (CVRP) як найбільш ефективний та практично застосовний евристичний метод обрано метод Кларка-Райта.

Було проаналізовано сучасний стан міжміських перевезень ТШВ, де автомобільний транспорт домінує, але має високу собівартість та низьку продуктивність порівняно з іншими видами.

Визначено дві основні моделі: FTL (повне завантаження) та LTL (збірні вантажі). З'ясовано, що LTL-перевезення, які мають суттєві недоліки (довгий час доставки, ризик пошкодження), є класичною задачею маршрутизації транспортних засобів (VRP).

Проаналізовано чотири базові варіанти логістичних ланцюгів (ЛЛ) (від ЛЛ1 — пряма доставка до ЛЛ4 — доставка через два термінали), які представляють різні бізнес-моделі для перевезення.

Поставлено наукове завдання: Довести необхідність та ефективність застосування оптимізаційних методів (на прикладі LTL-сегмента/моделей ЛЛ3, ЛЛ4) для підвищення конкурентоспроможності підприємства.

Практичне застосування методу Кларка-Райта підтвердило його високу ефективність:

- Скорочення пробігу: Сумарна відстань була зменшена на 2715 км, що становить 33,85% економії.
- Скорочення автопарку: Кількість необхідних транспортних засобів для виконання завдання скоротилася з 10 до 6.
- Економічний ефект: Загальна оцінка грошової економії (за рахунок палива, ТО та амортизації) складає 72 228 грн.

Подальше стратегічне вдосконалення має бути спрямоване на побудову цілісної, інтелектуальної та захищеної цифрової логістичної екосистеми:

1. Уніфікація: Обов'язкове палетування та контейнеризація вантажів для прискорення обробки.
2. Цифрова Інтеграція: Безшовне об'єднання систем WMS, TMS та

ERP для забезпечення наскрізної видимості (SCV).

3. Інтелектуальне управління: Впровадження AI/ML для динамічної маршрутизації та проактивного прогнозування попиту.

4. Моніторинг: Використання IoT-сенсорів для відстеження не лише місця, а й фізичного стану вантажу у реальному часі.

5. Стійкість: Впровадження системи управління кібербезпекою на основі ISO 27001 для захисту критичних даних та забезпечення операційної стійкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Конспект лекцій. ТВС штучних і тарно-штучних вантажів (ХНАДУ). URL: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/3084/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D0%B9.pdf>
2. Генеральні вантажі: що це, правила і особливості перевезення. URL: <https://logist.kiev.ua/uk/generalni-vantazhi-sho-ce-pravila-i-osoblivosti-perevezennya/>
3. Оптимізація вантажоперевезень в Україні: топ-5 стратегій для ефективності та зниження витрат. URL: <https://lutsk.rayon.in.ua/news/676126-optimizatsiya-vantazhoperevezen-v-ukrainu-top-5-strategiy-dlia-efektivnosti-ta-znizhennia-vitrat>
4. Тенденції міжнародних перевезень вантажу. URL: <https://avtotranz.com.ua/uk/tendentsiii-mizhnarodnih-perevezeni-vantazhu-copy/>
5. Ключові проблеми у сфері транспорту та логістики під час війни в Україні. URL: https://logist.today/osoboe_mnenie-uk/2024-06-18/klyuchevye-problemy-v-sfere-transporta-i-logistiki-v-period-vojny-v-ukraine-2/
6. Проблеми впровадження інноваційних процесів у діяльність транспортної галузі. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/bitstreams/c4260a59-7644-4924-b729-9f85dd57c55d/download>
7. Укрпошта запустила першу автоматизовану сортувальну лінію. URL: <https://www.ukrposhta.ua/ua/news/57882-ukrposhta-zapustila-pershu-avtomatizovanu-sortuvalnu-liniju>
8. Автоматичне сортування на складі 24/7 за допомогою AGV сортерів. URL: <https://logistics-ukraine.com/2021/02/24/%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B5-%D1%81%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%BD%D0%B0->

[%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D1%96-24-7-
%D0%B7%D0%B0/](#)

9. Гармонізація технічних регламентів, стандартизації та оцінки відповідності з ЄС. URL:

[http://www.ier.com.ua/ua/Ukraine_EU_project/materials/AA_title_4/barriers/harm
onisation](http://www.ier.com.ua/ua/Ukraine_EU_project/materials/AA_title_4/barriers/harm
onisation)

10. Гармонізація митного законодавства України з ЄС: аналіз PwC.

URL: [https://www.pwc.com/ua/uk/publications/tax-and-legal-
alert/2024/harmonization-customs-legislation-with-european.html](https://www.pwc.com/ua/uk/publications/tax-and-legal-
alert/2024/harmonization-customs-legislation-with-european.html)

11. Про зміни до Правил перевезень вантажів автомобільним транспортом України (температурний режим). URL:

<https://vin.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/933487.html>

12. З 20 березня діє Порядок функціонування системи е-ТТН. URL:

[https://news.dtki.ua/accounting/primary-documents/96263-z-20-bereznia-dije-
poriadok-funkcionuvannia-sistemi-e-ttn](https://news.dtki.ua/accounting/primary-documents/96263-z-20-bereznia-dije-
poriadok-funkcionuvannia-sistemi-e-ttn)

13. Запровадження електронних ТТН: як наслідки та як підготуватися (коментар заступника міністра). URL:

[https://buh.ligazakon.net/news/209553_zaprovadzhennya-z-1-serpnya-
elektronnikh-ttn--yak-naslidki--yak-pdgotuvatisya](https://buh.ligazakon.net/news/209553_zaprovadzhennya-z-1-serpnya-
elektronnikh-ttn--yak-naslidki--yak-pdgotuvatisya)

14. Електронна товарно-транспортна накладна (е-ТТН): нові правила та особливості. URL: [https://7eminar.ua/news/5172-elektronna-tovarno-
transportna-nakladna-e-ttn-novi-pravila-ta-osoblivosti](https://7eminar.ua/news/5172-elektronna-tovarno-
transportna-nakladna-e-ttn-novi-pravila-ta-osoblivosti)

[https://7eminar.ua/news/5172-elektronna-tovarno-
transportna-nakladna-e-ttn-novi-pravila-ta-osoblivosti](https://7eminar.ua/news/5172-elektronna-tovarno-
transportna-nakladna-e-ttn-novi-pravila-ta-osoblivosti)

15. Закон України "Про мультимодальні перевезення" від 17.11.2021 (діє з 01.01.2025). URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T211887>

16. Ukraine Facility Plan: що по транспорту? — Центр транспортних стратегій. URL:

https://cfts.org.ua/articles/ukraine_facility_plan_scho_po_transportu__2140

17. Закон про мультимодальні перевезення: правові та організаційні засади. URL: <https://www.rada.gov.ua/news/Novyny/216474.html>

18. У ЄБА обговорили транспортну реформу України в контексті гармонізації з ЄС. URL: https://logist.today/dnevnik_logista-uk/2025-06-18/v-eba-obgovorili-transportnuyu-reformu-ukrainy-v-kontekste-garmonizatsii-s-es-2/
19. Що таке система управління транспортом (TMS)? URL: <https://www.cargoson.com/uk/blog/shcho-take-systema-upravlinnia-transportom-tms-dlia-biznesu>
20. Автоматизація транспортної логістики: що таке TMS. URL: <https://stfalcon.com/uk/blog/post/transport-logistics-automation-what-is-tms>
21. Функції TMS-системи: як технологія оптимізує логістику. URL: <https://uislab.com/uk/shcho-take-tms-systema/>
22. Штучний інтелект у складській логістиці та його застосування. URL: <https://ssk.ua/ua/blog/shtuchnii-intelekt-u-skladskii-logistici-ta-iogo-zastosuvannya>
23. Оптимізація вантажоперевезень по Україні: топ-5 стратегій. URL: <https://galka.if.ua/optymizatsiia-vantazhoperevezen-po-ukraini-top-5-stratehiy-dlia-efektyvnosti-ta-znyzhennia-vytrat/>
24. Автоматизація упаковки: як робототехніка підвищує надійність транспортування. URL: <https://viskom.com.ua/avtomatyzatsiia-upakovky-yak-robototekhnika-pidvyshchuie-nadiinist-transportuvannia/>
25. Формування раціональних розвізних маршрутів при доставці тарно-штучних вантажів. URL: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/download/392/382/>
26. Визначення витрат на функціонування учасників логістичного ланцюга (оптимізація процесу перевезення). URL: http://eprints.kname.edu.ua/49046/1/ilovepdf_com-127-127.pdf
27. Розробка транспортно-технологічних мап та графіків доставки вантажів. URL: <https://metod.vntu.edu.ua/getfile.php/2354.pdf>
28. Комбіноване перевезення вантажів (проект Закону про мультимодальні перевезення). URL: https://mindev.gov.ua/storage/app/imported_content/66bb83cde1269.pdf

29. Автоматичні Сортувальні Лінії від компанії UIS. URL: <https://uislab.com/uk/products/uis-switch-sorter/>
30. Автоматизація транспорту та логістики за допомогою TMS системи. – Tocan Solutions. URL: <https://tocan.com.ua/uk/avtomatizatsiya-transporta-i-logistiki-tms-sistema/>
31. Роботи на варті вантажів: автоматизація упаковки для надійного транспортування. URL: <https://viskom.com.ua/avtomatyzatsiia-upakovky-yak-robototekhnika-pidvyshchuie-nadiinist-transportuvannia/>
32. Про мультимодальні перевезення. Закон України від 17.11.2021 № 1887-IX (Діє з 01.01.2025). URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T211887>
33. Законодавство про мультимодальні перевезення вантажів (Проект). URL: https://mtu.gov.ua/files/Dok_PROEKT/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%20%D0%97%D0%A3%20%D0%9C%D0%9C%D0%9F.docx
34. Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). *Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points*. Operations Research.
35. Конференції ВНТУ. *Метод Кларка-Райта: Обґрунтування Доцільності Використання для Оптимізації Маршрутів Вантажних Перевезень*. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/23083/19111>
36. Web.mit.edu. *The Vehicle Routing Problem*. URL: https://web.mit.edu/urban_or_book/www/book/chapter6/6.4.12.html
37. ResearchGate. *Solving Vehicle Routing Problems Using an Enhanced Clarke-Wright Algorithm: A Case Study*. URL: https://www.researchgate.net/publication/262294954_Solving_Vehicle_Routing_Problems_Using_an_Enhanced_Clarke-Wright_Algorithm_A_Case_Study
38. Libstore.ugent.be. *Granular Tabu Search for Large-Scale Vehicle Routing Problems*. URL:

https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/165/037/RUG01-002165037_2014_0001_AC.pdf

39. Scribd.com. *Clarke and Wright Savings Algorithm Solution*. URL: <https://www.scribd.com/document/842397798/Clarke-and-Wright-Savings-Algorithm-Solution>

40. MDPI. *Application of the Clark–Wright Method to Improve the Sustainability of the Logistic Chain*. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/21/9908>

41. LCC UMA. *The Clarke and Wright savings algorithm*. URL: <https://neo.lcc.uma.es/vrp/solution-methods/heuristics/savings-algorithms/>

42. ResearchGate. *The Clarke and Wright heuristic: a sequential version (CWS) b parallel version (CWP)*. URL: https://www.researchgate.net/figure/The-Clarke-and-Wright-heuristic-a-sequential-version-CWS-b-parallel-version-CWP_fig1_305241316

43. ResearchGate. *A Simple Heuristic for Vehicle Routing - A Note on and variant of Clarke and Wright's Saving Method*. URL: https://www.researchgate.net/publication/255647674_A_Simple_Heuristic_for_Vehicle_Routing_-_A_Note_on_and_variant_of_Clarke_and_Wright's_Saving_Method

44. OR Stack Exchange. *In which time complexity operates the Savings algorithm from Clarke and Wright for the TSP?*. URL: <https://or.stackexchange.com/questions/6909/in-which-time-complexity-operates-the-savings-algorithm-for-the-tsp>

45. Scitepress.org. *Development of Parallel Implementation of Clarke and Wright's Savings Algorithm Exploiting GPU Capability*. URL: <https://www.scitepress.org/Papers/2025/131381/131381.pdf>

46. Hrcak.srce.hr. *Clarke and Wright's savings approach (2.5% over optimum)*. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/239678>

47. Semantic Scholar. *Swarm intelligence-based hyper-heuristic for the vehicle routing problem with prioritized customers*. URL:

<https://pdfs.semanticscholar.org/cfa9/4fade8e9aa80a8a83d7df53def4869d23ae0.pdf>

48. Scienceasia.org. *An improved Clarke and Wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem*. URL:

https://www.scienceasia.org/2012.38.n3/scias38_307.pdf

49. PMC NCBI. *A heuristic approach based on the Clarke-Wright algorithm for open vehicle routing problem*. URL:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3870871/>

50. Arxiv.org. *A New Adaptive Memory Metaheuristic for Solving the Time-Dependent Vehicle Routing Problem*. URL: <https://arxiv.org/pdf/2403.04420>