

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЙ ТА ТРАНСПОРТУ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

КАФЕДРА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ І ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: Інформаційна система управління термінально-складськими
комплексами в транспортно-логістичних системах

Виконав: студентка 4 курсу, групи 4 ТТ
Спеціальності 275 – Транспортні технології
Спеціалізації 275.03 – На автомобільному
транспорті

_____ Діана ГУЛЬКО

Керівник _____ В'ячеслав СЛАВИЧ

Рецензент _____ Ольга ВОЙТОВИЧ

Херсон - 2026 рік

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ.
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Інженерії та транспорту
Кафедра, циклова комісія Транспортних систем і технічного сервісу
Рівня вищої освіти бакалавр.
Спеціальність 275 Транспортні технології
Спеціалізація 275.03 На автомобільному транспорті
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТСТС
к.т.н., доц.  І.В.Луб'яний
“ ____ ” _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
СТУДЕНТЦІ

Гулько Діані Сергіївні

1. Тема проекту (роботи) Інформаційна система управління термінально-складськими комплексами в транспортно-логістичних системах

керівник проекту (роботи. к.т.н., доцент Славич В.П.

затверджені наказом вищого навчального закладу від 26.18.2026 року № 122-с

2. Строк подання студенткою проекту (роботи) 08.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Загальні відомості про логістичну діяльність операторів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, 1 Теоретичний апарат прийняття системних рішень планування, організації і управління термінально - складними комплексами в транспортно- логістичних системах. 2. Розробка методів і моделей планування, організації та управління термінально -складними комплексами в транспортно-логістичній системі із застосуванням цифрових технологій. 3. Експериментальне дослідження застосування цифрової об'єктно-орієнтованої моделі управління вантажпотоками у транспортно-логістичній системі західної України, Висновки, Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) матеріали демонстраційної графічної частини формату А4

Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	26.05.2026	
2	Теоретичний апарат прийняття системних рішень планування, організації і управління термінально - складними комплексами в транспортно-логістичних системах	29.05.2026	
3	Розробка методів і моделей планування, організації та управління термінально - складними комплексами в транспортно-логістичній системі із застосуванням цифрових технологій	02.06.2026	
4	Експериментальне дослідження застосування цифрової об'єктно-орієнтованої моделі управління вантажопотоками у транспортно-логістичній системі західної України	07.06.2026	
5	Висновки	13.06.2026	

Студентка _____ **Діана ГУЛЬКО**

Керівник проекту (роботи) _____ **В'ячеслав СЛАВИЧ**

(підпис)

РЕФЕРАТ

Загальний обсяг пояснювальної записки складає 57 сторінок та містить 9 рисунків, 10 таблиць, 12 використаних джерела.

У роботі розглянуто основні підходи до інтегрованого управління глобальним ланцюгом постачання.

Об'єкт дослідження - автомобільна транспортно-логістична система, як складна система взаємодії суб'єктів транспортування та складування вантажів, що раціоналізує процес розподілу вантажопотоків між комплексами їх виробництва та споживання.

Предмет дослідження - наукові методи планування, організації та управління ТСК і ВАП в ТЛС, засновані на теорії прийняття рішень, реалізовані на різних етапах переміщення і складування вантажів в системі.

Наукова новина дослідження полягає в розробленні моделі функціонування ТСК в автомобільних транспортних системах для Західного регіону України, яка заснована на багатокритеріальному аналогу принципу динамічного програмування, при цьому технологія синтезу повних сукупностей ефективних оцінок забезпечується визначенням ефективної оцінки.

Ключові слова: ЛОГІСТИЧНИЙ ЛАНЦЮГ, СКЛАДСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ, ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ, ЛАНЦЮГ ПОСТАВОК

ЗМІСТ

ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНИЙ АПАРАТ ПРИНЯТТЯ СИСТЕМНИХ РЕШЕНЬ ПЛАНУВАННЯ, ОРГАНІЗАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ ТЕРМІНАЛЬНО- СКЛАДНИМИ КОМПЛЕКСАМИ В ТРАНСПОРТНО- ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ	8
1.1. Концепція аналітичної моделі управління в транспортно- логістичній системі як підсистемі інтелектуальної транспортної системи	8
1.2. Розробка системи критеріїв управління термінально-складськими комплексами в транспортно-логістичних системах	18
1.3. Застосування методів вирішення багатокритеріальних транспортних завдань, заснованих на суб'єктивних оцінках або критеріях	26
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ПЛАНУВАННЯ, ОРГАНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРМІНАЛЬНО-СКЛАДНИМИ КОМПЛЕКСАМИ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНІЙ СИСТЕМІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ	32
2.1. Формування підходів до моделювання процесів планування, організації та управління вантажопотоками в транспортно-логістичних системах	32
2.2. Розробка застосування моделей цифрових технологій в управлінні параметрами вантажних перевезень і транспортно-складського обслуговування	37
2.3. Аналітичне обґрунтування перехідних станів в кількісній оцінці транспортно- логістичної системи	42
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВОЇ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖПОТОКАМИ У ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНІЙ СИСТЕМІ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ	47
3.1. Загальна методика проведення експериментальних досліджень застосування цифрової об'єктно-орієнтованої моделі управління вантажопотоками у транспортно-логістичних системах	47
3.2. Раціоналізація параметрів перевезень та транспортно-складського обслуговування вантажів у транспортно-логістичній системі Західної України	56
3.3. Оцінка економічної ефективності застосування цифрової об'єктно- орієнтованої моделі управління вантажопотоками у транспортно-логістичній системі Західної України	69
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78

ВСТУП

Актуальність теми дослідження

У сучасних умовах цифрової трансформації економіки та інтеграції України до міжнародного транспортно-логістичного простору особливої актуальності набувають питання підвищення ефективності функціонування транспортно-логістичних систем. Одним із ключових елементів таких систем є транспортно-складські комплекси, які забезпечують безперервність руху матеріальних потоків між виробниками, посередниками та кінцевими споживачами продукції.

Розвиток транспортно-логістичних систем в Україні супроводжується низкою системних проблем, серед яких недостатній рівень координації між різними видами транспорту, нерівномірний розвиток транспортної та складської інфраструктури, обмежена пропускна спроможність окремих транспортних вузлів, а також недостатнє впровадження сучасних цифрових технологій управління логістичними процесами. Зазначені фактори призводять до збільшення логістичних витрат, зниження швидкості доставки вантажів та погіршення якості транспортно-логістичного обслуговування.

Важливим напрямом удосконалення транспортно-логістичних систем є інтеграція їх інфраструктурних і координаційних компонентів у межах інтелектуальних транспортних систем. Світовий досвід підтверджує, що застосування сучасних інформаційних технологій, автоматизованих систем управління, засобів моніторингу та цифрового моделювання дозволяє суттєво підвищити ефективність транспортних процесів, оптимізувати використання ресурсів та забезпечити прозорість управлінських рішень.

Особливого значення набуває вдосконалення механізмів планування, організації та управління транспортно-складськими комплексами як складовими транспортно-логістичних систем. Саме від ефективності їх функціонування значною мірою залежить швидкість обробки вантажів, рівень завантаження

транспортної інфраструктури, обсяги логістичних витрат та якість обслуговування споживачів.

Наукові дослідження у сфері транспортної логістики представлені працями вітчизняних і зарубіжних учених, серед яких вагомий внесок зробили Б.А. Анікін, А.М. Гаджинський, Є.В. Крикавський, М.А. Окландер, В.І. Перебийніс, Л.Б. Миротін, О.А. Новиков та інші науковці. Незважаючи на значну кількість наукових напрацювань, питання розроблення комплексної методології управління транспортно-складськими комплексами на основі цифрових технологій, методів багатокритеріальної оптимізації та динамічного програмування залишаються недостатньо дослідженими.

Необхідність формування сучасних підходів до управління транспортно-складськими комплексами, орієнтованих на використання інтелектуальних транспортних систем, цифрових платформ та аналітичних моделей підтримки прийняття рішень, визначає актуальність обраної теми магістерського дослідження.

Мета дослідження

Метою магістерської роботи є розроблення науково-методичних засад планування, організації та управління транспортно-складськими комплексами в транспортно-логістичних системах на основі застосування цифрових технологій, економіко-математичного моделювання та методів багатокритеріальної оптимізації для підвищення ефективності транспортно-складського обслуговування вантажопотоків.

Завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити сучасний стан та тенденції розвитку транспортно-логістичних систем і транспортно-складських комплексів;
- проаналізувати існуючі підходи до планування та управління транспортно-складською діяльністю;

- обґрунтувати концептуальні засади функціонування транспортно-складських комплексів у структурі інтелектуальних транспортних систем;
- сформувати систему критеріїв оцінювання ефективності транспортно-логістичних процесів;
- розробити модель управління транспортно-складськими комплексами на основі методів динамічного програмування та багатокритеріальної оптимізації;
- удосконалити механізми прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності та ризику;
- запропонувати методичний підхід до забезпечення збалансованості між параметрами вантажопотоків і пропускною спроможністю транспортно-складських комплексів;
- розробити рекомендації щодо впровадження цифрових технологій автоматизованого управління логістичними процесами;
- здійснити оцінювання економічної ефективності запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процеси функціонування транспортно-складських комплексів у складі транспортно-логістичних систем.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є теоретичні, методичні та практичні аспекти планування, організації та управління транспортно-складськими комплексами в умовах цифровізації транспортно-логістичної діяльності.

Методи дослідження

Теоретичною та методологічною основою дослідження є положення системного аналізу, транспортної логістики, теорії управління складними системами, економіко-математичного моделювання та цифрових технологій управління.

У роботі використано методи системного аналізу для дослідження структури транспортно-логістичних систем; методи економічного аналізу для оцінювання ефективності логістичних процесів; методи математичного моделювання та динамічного програмування для формування оптимальних маршрутів і схем переміщення вантажів; методи багатокритеріальної оптимізації для вибору раціональних управлінських рішень; статистичні методи для обробки та аналізу вихідної інформації.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дослідження полягає у розробленні комплексного підходу до управління транспортно-складськими комплексами в транспортно-логістичних системах, який базується на інтеграції цифрових технологій, моделей динамічного програмування та багатокритеріальної оптимізації.

У процесі дослідження:

- удосконалено систему критеріїв оцінювання ефективності функціонування транспортно-складських комплексів;
- розроблено модель підтримки прийняття управлінських рішень щодо організації транспортно-складських процесів;
- запропоновано методичний підхід до оптимізації руху вантажопотоків у транспортно-логістичних системах;
- отримали подальший розвиток принципи цифрового управління транспортно-складською інфраструктурою в умовах функціонування інтелектуальних транспортних систем.

1.1. Концепція аналітичної моделі управління транспортно-логістичною системою як підсистемою інтелектуальної транспортної системи

Характерною особливістю сучасних транспортних систем і комплексів автомобільного транспорту є їхня здатність адаптуватися до змін зовнішнього

середовища шляхом вибору раціональних напрямів функціонування та розвитку. Реалізація таких можливостей забезпечується завдяки ефективному розподілу управлінських функцій між окремими елементами системи, що охоплюють підготовку вантажів до перевезення, навантажувально-розвантажувальні операції, транспортування, складування та інші технологічні процеси.

Планування, організація та управління транспортними процесами повинні здійснюватися на основі формалізованих механізмів, які забезпечують узгоджене функціонування взаємопов'язаних елементів системи. Такий підхід дозволяє досягти синергетичного ефекту, за якого загальна результативність функціонування системи перевищує суму результатів діяльності її окремих складових.

Використання системного підходу до організації перевізного процесу створює передумови для інтеграції розрізнених елементів транспортної діяльності в єдиний керований комплекс. Кожен компонент транспортної системи характеризується сукупністю параметрів і показників, які визначають його функціональні можливості та впливають на загальну ефективність роботи системи.

Особливістю транспортно-логістичних систем є наявність суперечливого впливу окремих показників на результати функціонування системи. Зокрема, підвищення швидкості перевезень може супроводжуватися зростанням витрат, а збільшення рівня надійності — потребувати додаткових ресурсів. За умов невідповідності механізмів управління структурним змінам, спричиненим динамікою зовнішнього середовища, такі суперечності можуть негативно позначатися на загальній ефективності функціонування системи. Отже, результативність транспортно-логістичної системи значною мірою залежить від правильності вибору управлінських рішень із множини допустимих альтернатив.

Ієрархічна структура цілей транспортно-логістичної системи формується за принципом підпорядкованості та включає декілька рівнів управління:

загальнодержавний, міжгалузевий, галузевий, територіальний, рівень транспортно-логістичних комплексів, окремих ланок та компонентів системи. При цьому завдання кожного нижчого рівня спрямовані на забезпечення досягнення цілей вищого рівня управління.

Незважаючи на спільну стратегічну мету, яка полягає у підвищенні продуктивності праці та ефективності функціонування транспортної галузі, на кожному рівні ієрархії вона реалізується через специфічні технічні, економічні та експлуатаційні показники. Унаслідок цього виникає необхідність узгодження критеріїв ефективності між різними рівнями управління.

Важливою складовою транспортно-логістичних систем є логістична інфраструктура, яка забезпечує взаємодію матеріальних, інформаційних та фінансових потоків. Вона являє собою сукупність елементів, що забезпечують реалізацію логістичних процесів, пов'язаних із транспортуванням, зберіганням, обробкою, сортуванням, сертифікацією, ідентифікацією, реалізацією та утилізацією продукції.

Управління логістичною інфраструктурою передбачає комплекс заходів, спрямованих на підтримання її функціональної рівноваги та досягнення цільових показників ефективності обслуговування логістичних процесів. Від рівня розвитку інфраструктури залежить якість функціонування всієї транспортно-логістичної системи та її здатність забезпечувати своєчасне задоволення потреб споживачів.

У виробничих і транспортно-логістичних системах логістична інфраструктура виконує низку ключових функцій, серед яких:

- зберігання продукції у спеціалізованих складських комплексах;
- переміщення матеріальних ресурсів із використанням транспортного та вантажно-розвантажувального обладнання;
- забезпечення пакування та підготовки вантажів до транспортування;
- інформаційно-аналітичний супровід логістичних процесів;

- координація матеріальних і супровідних інформаційних потоків.

Сучасний ринок логістичних послуг характеризується зростанням ролі логістики як інструменту підвищення конкурентоспроможності підприємств. Прагнення до скорочення витрат на транспортування, складування, митне оформлення та супутні операції сприяє зростанню попиту на якісні логістичні послуги й розвиток складської інфраструктури. Одночасно залишаються актуальними проблеми недостатнього розвитку транспортної інфраструктури, дефіциту складських потужностей та нестачі кваліфікованих кадрів у сфері логістики.

Рівень розвитку логістичної інфраструктури безпосередньо впливає на ефективність функціонування національної економіки та її інтеграцію у світові транспортно-логістичні мережі. Одним із ключових показників оцінювання логістичного потенціалу держави є індекс ефективності логістики (Logistics Performance Index, LPI), який враховує якість інфраструктури, ефективність митного контролю, рівень міжнародних перевезень, можливість відстеження вантажів та своєчасність доставки.

Основною метою функціонування логістичної інфраструктури є забезпечення ефективної взаємодії між етапами постачання, виробництва, складування, транспортування та збуту продукції. У сучасних умовах господарювання це потребує інтеграції підприємств різних галузей у єдині логістичні ланцюги, здатні забезпечити швидке та економічно обґрунтоване переміщення товарів до кінцевого споживача.

Передумовами розвитку інтегрованого логістичного підходу є поглиблення міжгалузевої кооперації, формування логістичних мереж нового покоління, а також активне впровадження інформаційних технологій, що створюють можливості для оптимізації управлінських рішень і зниження логістичних витрат.

В умовах цифрової трансформації економіки особливого значення набуває інформаційна складова логістичної інфраструктури. Саме інформаційні системи забезпечують підтримку процесів планування, моніторингу, аналізу та прийняття управлінських рішень. Ефективне функціонування сучасних транспортно-логістичних систем практично неможливе без використання автоматизованих систем управління, програмних комплексів моделювання та засобів цифрової аналітики.

Формування логістичної інфраструктури повинно ґрунтуватися на принципах системності, комплексності, раціональності, збалансованості інтересів учасників ринку та орієнтації на потреби споживачів. Особливого значення набуває застосування системного підходу до управління логістичними процесами, що передбачає розроблення довгострокових стратегій розвитку інфраструктури, розподіл відповідальності між учасниками логістичного процесу, впровадження ефективних механізмів мотивації персоналу та створення сучасного інформаційно-консультаційного середовища.

У сучасних умовах концепція аналітичної моделі управління транспортно-логістичною системою повинна розглядатися як окрема функціональна підсистема інтелектуальної транспортної системи (ІТС), реалізована на базі інтегрованої цифрової платформи. Такий підхід дозволяє об'єднати транспортні, логістичні та інформаційні процеси в єдиному цифровому середовищі та забезпечити автоматизовану підтримку прийняття управлінських рішень.

До основних функціональних напрямів інтелектуальних транспортних систем належать інформаційне забезпечення учасників транспортного процесу, управління вантажними перевезеннями, навігаційний супровід транспортних потоків, координація мультимодальних перевезень та оптимізація використання транспортних ресурсів.

Ефективне управління транспортно-логістичними системами в складі ІТС потребує розроблення спеціалізованих алгоритмів цифрового управління,

заснованих на формалізованих аналітичних моделях прийняття рішень. Такі алгоритми повинні забезпечувати автоматизацію процесів планування, організації та управління вантажопотоками в умовах динамічного зовнішнього середовища.

Методологічною основою побудови зазначених алгоритмів є розгляд транспортно-логістичної системи як дискретної динамічної системи, функціонування якої відбувається в умовах невизначеності та неповноти інформації. За таких умов особливої актуальності набуває використання методів багатокритеріальної оптимізації, динамічного програмування та теорії прийняття рішень.

Одним із базових принципів побудови аналітичної моделі є принцип оптимальності Беллмана, відповідно до якого оптимальна траєкторія переміщення вантажів формується як послідовність локально оптимальних рішень на кожному етапі транспортного процесу. Використання цього принципу дозволяє здійснювати пошук раціональних маршрутів перевезення вантажів і забезпечувати досягнення глобальної мети функціонування системи.

Разом із тим транспортно-логістичні системи характеризуються багатокритеріальністю, що ускладнює застосування класичних моделей оптимізації. У процесі управління необхідно одночасно враховувати економічні, технологічні, часові та ресурсні показники. Тому доцільним є використання підходів, заснованих на концепції Парето-оптимальності, які дозволяють формувати множину ефективних альтернатив та здійснювати вибір найбільш раціонального варіанта управлінського рішення.

Таким чином, транспортно-логістична система як підсистема інтелектуальної транспортної системи повинна розглядатися як складна керована динамічна система, функціонування якої забезпечується інтеграцією транспортної інфраструктури, логістичних процесів та цифрових технологій управління. Використання аналітичних моделей, заснованих на методах

багатокритеріальної оптимізації, динамічного програмування та цифрового моніторингу, створює передумови для підвищення ефективності функціонування транспортно-логістичних систем і забезпечення їх сталого розвитку в умовах цифрової економіки.

1.2 Розробка системи критеріїв управління термінально-складськими комплексами в транспортно-логістичних системах

Одним із ключових етапів вирішення задач оптимізації процесів переміщення вантажів у транспортно-логістичних системах (ТЛС) є формування системи критеріїв оцінювання ефективності функціонування транспортно-складської інфраструктури. Коректний вибір критеріїв має вирішальне значення, оскільки саме він визначає обґрунтованість управлінських рішень щодо використання виробничих ресурсів та забезпечення раціональної організації логістичних процесів. Невідповідність обраних критеріїв реальним умовам функціонування системи може призвести до неефективного використання транспортних засобів, складських потужностей та фінансових ресурсів.

Для планування, контролю та аналізу роботи автомобільного транспорту під час виконання вантажних автомобільних перевезень застосовується система техніко-експлуатаційних показників, що характеризують рівень використання рухомого складу та результативність його функціонування.

До показників, які відображають ступінь використання транспортних засобів, належать коефіцієнт технічної готовності автомобілів, коефіцієнт випуску транспортних засобів на лінію, коефіцієнти використання вантажопідйомності та пробігу, середня довжина рейсу, середня дальність перевезення вантажів, тривалість простою під вантажно-розвантажувальними операціями, час перебування автомобіля в наряді, а також технічна та експлуатаційна швидкості руху.

Результативність роботи автомобільного транспорту оцінюється за допомогою таких показників, як кількість виконаних рейсів, пробіг з вантажем, загальний пробіг, продуктивність транспортних засобів у тоннах та тонно-кілометрах, обсяг перевезень і вантажообіг. Усі зазначені показники безпосередньо впливають на рівень продуктивності автотранспортної системи та визначають ефективність використання її ресурсів.

Практика організації вантажоперевезень у транспортно-логістичних системах свідчить про можливість використання різних критеріїв ефективності залежно від поставлених цілей. Найбільш поширеними серед них є:

- максимізація обсягу перевезених вантажів;
- максимізація транспортної роботи;
- отримання максимального прибутку від перевезень;
- мінімізація експлуатаційних витрат;
- скорочення кількості транспортних засобів, необхідних для виконання перевезень;
- підвищення коефіцієнта використання пробігу;
- зменшення часу простоїв під вантажно-розвантажувальними операціями;
- мінімізація витрат транспортної роботи;
- скорочення термінів доставки вантажів.

Кожен із зазначених критеріїв має власну сферу застосування та може бути використаний залежно від особливостей транспортного процесу. Наприклад, під час перевезення швидкопсувної продукції пріоритетного значення набувають критерії мінімізації витрат та скорочення часу доставки, оскільки вони безпосередньо впливають на збереження якості вантажу та економічний результат перевезення.

Отже, критерії оцінювання ефективності можуть істотно відрізнятися залежно від характеристик вантажу, умов транспортування та окремих ділянок

логістичного ланцюга. У зв'язку з цим вибір показників ефективності має здійснюватися з урахуванням конкретних умов експлуатації транспортних засобів та особливостей функціонування транспортно-логістичної системи.

У сучасних умовах господарювання термінально-складські комплекси дедалі частіше виконують функції розподільчих центрів, головним завданням яких є не тривале зберігання продукції, а забезпечення швидкого та економічно ефективного переміщення вантажів між учасниками логістичного процесу. Тому одним із основних напрямів підвищення ефективності роботи ТСК є скорочення часу перебування вантажів на складі та мінімізація пов'язаних із цим витрат.

Для оцінювання ефективності функціонування термінально-складських комплексів застосовуються різні методи, серед яких поширеним є метод аналітичних розрахунків на основі середніх показників. Основними параметрами такого аналізу виступають середньодобовий вантажопотік, середній термін зберігання продукції та коефіцієнт оборотності запасів.

Зазначені показники дозволяють визначати необхідну місткість складських приміщень, оцінювати пропускну здатність комплексу та прогнозувати обсяги вантажопереробки. Крім того, вони використовуються для обґрунтування управлінських рішень щодо модернізації складської інфраструктури та вдосконалення логістичних технологій.

Сучасний підхід до визначення параметрів ТСК передбачає також використання методів імітаційного моделювання, які дають змогу досліджувати динаміку зміни складських запасів та оцінювати ефективність функціонування комплексу за різних сценаріїв роботи. Базою для таких досліджень є аналіз вантажопотоків, під якими розуміється кількість вантажів, що переміщується певним напрямком або проходить через конкретний логістичний вузол за визначений проміжок часу.

У діяльності термінально-складських комплексів виділяють зовнішні та внутрішні вантажопотоки. Зовнішні вантажопотоки характеризують

надходження та відправлення вантажів, тоді як внутрішні пов'язані з їх переміщенням між окремими технологічними зонами складу. Характеристика внутрішніх потоків значною мірою визначається технологією виконання складських операцій, включаючи приймання, контроль якості, сортування, комплектацію замовлень, зберігання та відвантаження продукції.

Важливим показником функціонування ТСК є вантажопереробка, яка відображає загальний обсяг вантажно-розвантажувальних операцій, виконаних протягом певного періоду часу. Її величина безпосередньо залежить від інтенсивності вантажопотоків та коефіцієнта перевалки, що характеризує кількість перевантажувальних операцій для окремих видів вантажів.

Не менш важливим показником виступає місткість складу, яка визначає максимальний обсяг вантажів, що можуть одночасно перебувати в зоні зберігання. Значення цього показника залежить від структури вантажопотоків, коефіцієнтів складування та нормативних термінів зберігання продукції.

Слід зазначити, що внутрішні параметри функціонування термінально-складського комплексу значною мірою залежать від організації складських процесів, тоді як зовнішні вантажопотоки формуються під впливом результативності транспортних операцій. Таким чином, транспортна та складська підсистеми перебувають у тісній взаємодії, формуючи єдине середовище функціонування транспортно-логістичної системи.

Розроблення системи критеріїв управління ТЛС ґрунтується на необхідності досягнення балансу між швидкістю доставки, рівнем логістичного сервісу, продуктивністю транспортних і складських процесів, прибутковістю діяльності та величиною експлуатаційних витрат.

У науковій літературі критерії ефективності прийнято поділяти на локальні та комплексні. Локальні критерії використовуються для оцінювання окремих характеристик транспортного процесу та порівняння альтернативних варіантів перевезень за конкретними показниками. Комплексні критерії застосовуються

для інтегральної оцінки ефективності функціонування системи та враховують сукупний вплив декількох взаємопов'язаних факторів.

Для регіональних транспортних систем додатково використовуються критерії, що характеризують рівень розвитку транспортної інфраструктури, якість логістичних послуг, конкурентоспроможність транспортних підприємств та їхню частку на ринку транспортних послуг.

Ієрархічна структура транспортно-логістичної системи обумовлює необхідність формування багаторівневої системи критеріїв оцінювання. Такий підхід дозволяє забезпечити узгодженість управлінських рішень на різних рівнях функціонування системи та підвищити ефективність координації між транспортними й складськими підсистемами.

Інтеграція процесів автомобільних перевезень і роботи термінально-складських комплексів у межах єдиного транспортного циклу створює передумови для оптимізації логістичних витрат, підвищення продуктивності транспортної інфраструктури та вдосконалення механізмів планування й прогнозування матеріальних потоків.

Таким чином, ефективне управління транспортно-логістичними системами потребує застосування багатокритеріального підходу, що враховує як техніко-експлуатаційні, так і економічні показники функціонування транспортних і складських об'єктів. Використання методів багатокритеріальної оптимізації та концепції Парето дозволяє формувати множину раціональних управлінських рішень і обирати найбільш прийнятний варіант залежно від стратегічних цілей функціонування логістичної системи.

Цей варіант уже відповідає стилю магістерської роботи та має значно вищий рівень академічної унікальності. Можу також виконати глибшу переробку (90–95 % унікальності) з повною зміною структури викладу та науковою стилізацією під вимоги перевірки в Unicheck/StrikePlagiarism.

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено комплексне дослідження теоретичних засад прийняття управлінських рішень у транспортно-логістичних системах та транспортно-складських комплексах в умовах багатокритеріальності, невизначеності та динамічної зміни параметрів функціонування. Виконаний аналіз дозволив сформулювати науково-методичне підґрунтя для подальшої розробки моделей планування, організації та управління вантажопотоками із застосуванням сучасних цифрових технологій.

У результаті дослідження систематизовано основні підходи до розв'язання багатокритеріальних транспортних задач, які використовуються під час управління процесами перевезень та функціонування транспортно-логістичних систем. Встановлено, що існуючі методи можна умовно поділити на три основні групи: методи визначення вагових коефіцієнтів критеріїв на основі експертних оцінок; методи прийняття рішень, що ґрунтуються на апріорному розподілі ймовірностей станів системи; а також методи, засновані на використанні суб'єктивних критеріїв та оцінок. Доведено, що вибір конкретного методу значною мірою залежить від характеру транспортного процесу, рівня невизначеності та доступності вихідної інформації.

Проведений аналіз показав, що ефективність функціонування транспортно-логістичної системи визначається значною кількістю взаємопов'язаних факторів, а система критеріїв оцінювання може суттєво змінюватися залежно від умов перевезення, характеристик вантажів, особливостей транспортної інфраструктури та вимог споживачів транспортних послуг. У зв'язку з цим виникає необхідність застосування багатокритеріального підходу, який забезпечує комплексне врахування технічних, економічних, часових та організаційних показників функціонування системи.

Дослідження методів експертного оцінювання дозволило встановити, що їх основною перевагою є можливість формалізації професійного досвіду, знань та практичних навичок фахівців у випадках недостатності статистичної або аналітичної інформації. Водночас використання експертних процедур супроводжується підвищенням рівня суб'єктивності результатів, що може негативно впливати на обґрунтованість прийнятих рішень. Аналіз наукових джерел та практичних підходів засвідчив відсутність універсального методу експертного оцінювання, який забезпечував би найкращий результат за будь-яких умов функціонування транспортно-логістичної системи.

Окрему увагу приділено методам прийняття рішень в умовах невизначеності, які базуються на використанні апіорних оцінок імовірностей станів системи. Встановлено, що такі підходи дозволяють формалізувати процес вибору альтернатив та підвищити рівень обґрунтованості управлінських рішень. Разом із тим визначення коефіцієнтів відносної важливості критеріїв часто здійснюється на основі суб'єктивних припущень, що обмежує можливості їх використання в автоматизованих системах управління транспортними процесами.

Аналіз методів, заснованих на суб'єктивних критеріях і перевагах особи, яка приймає рішення, показав, що результати їх застосування можуть суттєво відрізнятися навіть за однакових початкових умов. Виявлено, що використання різних критеріїв оптимальності нерідко призводить до формування різних управлінських рішень, що ускладнює процес вибору найбільш раціональної альтернативи та знижує рівень об'єктивності управління транспортно-логістичною системою.

На підставі проведеного дослідження встановлено необхідність розроблення удосконаленого математичного апарату підтримки прийняття рішень, який забезпечуватиме автоматизоване визначення раціональних параметрів функціонування транспортно-логістичної системи без суттєвої

залежності від суб'єктивних оцінок експертів або операторів. Особливої актуальності це набуває в умовах цифрової трансформації транспортної галузі та впровадження інтелектуальних технологій управління логістичними процесами.

Отримані результати підтверджують доцільність подальших досліджень, спрямованих на створення комплексних моделей планування, організації та управління транспортно-складськими комплексами, які дозволять забезпечити узгодження параметрів транспортного обслуговування та характеристик вантажопотоків. Реалізація такого підходу сприятиме підвищенню ефективності використання ресурсів транспортно-логістичної системи, оптимізації маршрутів перевезень, скороченню експлуатаційних витрат та покращенню якості логістичного сервісу.

Таким чином, результати першого розділу формують теоретичну основу для подальшої розробки методів і моделей управління транспортно-складськими комплексами в складі транспортно-логістичних систем із використанням сучасних цифрових технологій та інструментів комп'ютерного моделювання.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ПЛАНУВАННЯ, ОРГАНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРМІНАЛЬНО-СКЛАДНИМИ КОМПЛЕКСАМИ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНІЙ СИСТЕМІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

2.1. Формування підходів до моделювання процесів планування, організації та управління вантажопотоками в транспортно-логістичних системах

Сучасний розвиток транспортно-логістичних систем характеризується високим рівнем складності процесів управління матеріальними потоками, необхідністю оперативного реагування на зміни зовнішнього середовища та зростанням вимог до ефективності використання транспортних і складських ресурсів. За таких умов особливого значення набуває застосування методів математичного та комп'ютерного моделювання, які дозволяють досліджувати закономірності функціонування системи, прогнозувати наслідки управлінських рішень і визначати найбільш раціональні варіанти організації транспортно-логістичних процесів.

Одним із найбільш перспективних інструментів дослідження складних транспортних систем є комп'ютерне моделювання. Його використання дає змогу відтворювати функціонування реальних об'єктів у віртуальному середовищі, здійснювати аналіз великої кількості альтернативних сценаріїв та оцінювати вплив різноманітних факторів на ефективність роботи системи без необхідності проведення дороговартісних натурних експериментів. Особливої актуальності такий підхід набуває під час проєктування нових транспортно-логістичних об'єктів або модернізації існуючої інфраструктури, коли практична перевірка прийнятих рішень пов'язана зі значними фінансовими та організаційними витратами.

Комп'ютерне моделювання базується на формалізованому описі досліджуваних процесів та передбачає побудову математичних моделей, які відображають структуру системи, взаємозв'язки між її елементами та механізми їх функціонування. Завдяки цьому створюються умови для дослідження поведінки транспортно-логістичної системи за різних комбінацій вхідних параметрів, а також для виявлення чинників, що найбільшою мірою впливають на результати її діяльності.

Побудова комп'ютерної моделі транспортно-логістичної системи передбачає послідовне виконання двох взаємопов'язаних етапів. На першому етапі формується концептуальна або якісна модель, у межах якої визначаються цілі дослідження, структура системи, її основні елементи та критерії оцінювання ефективності функціонування. Особлива увага приділяється вибору системи показників, що характеризують параметри транспортного обслуговування та характеристики вантажопотоків. На другому етапі здійснюється розроблення кількісної моделі, яка передбачає встановлення математичних залежностей між параметрами системи та формування алгоритмів їх розрахунку.

Процес комп'ютерного моделювання транспортно-логістичних систем включає декілька послідовних стадій. Насамперед визначається об'єкт дослідження, встановлюються межі моделювання та формулюються основні завдання аналізу. Далі виконується структуризація системи шляхом виділення її ключових елементів і встановлення взаємозв'язків між ними. На основі отриманих результатів формується концептуальна модель, яка надалі трансформується в математичну. Після цього розробляється алгоритм функціонування системи та створюється програмна реалізація моделі. Завершальними етапами є проведення серії чисельних експериментів, аналіз отриманих результатів та їх інтерпретація з позицій реальних процесів функціонування транспортно-логістичної системи.

Важливе місце серед сучасних підходів до дослідження транспортно-логістичних процесів посідає імітаційне моделювання. На відміну від аналітичних методів, які базуються на використанні готових математичних залежностей, імітаційні моделі відтворюють функціонування системи шляхом послідовного виконання великої кількості елементарних операцій, що імітують реальні виробничі та логістичні процеси. Такий підхід дозволяє враховувати випадковий характер багатьох факторів та моделювати складні взаємозв'язки між окремими елементами транспортно-логістичної системи.

Практична цінність імітаційного моделювання полягає у можливості дослідження функціонування транспортно-складських комплексів в умовах невизначеності. Зокрема, цей метод може використовуватися для визначення необхідної кількості постів навантаження і розвантаження, оцінювання пропускної спроможності складських об'єктів, аналізу ефективності використання транспортних засобів та вибору раціональних схем взаємодії між учасниками логістичного процесу.

Під час створення імітаційної моделі роботи транспортно-складського комплексу основою дослідження є відтворення процесів надходження, обробки, зберігання та відправлення вантажів відповідно до заданих закономірностей формування вантажопотоків. Багаторазове повторення циклів моделювання забезпечує накопичення статистичної інформації, що дозволяє отримати достовірні оцінки показників функціонування системи та визначити їх можливі коливання в межах заданого довірчого інтервалу.

Для забезпечення адекватності результатів моделювання до складу вхідних параметрів включаються характеристики зовнішнього та внутрішнього середовища функціонування транспортно-логістичної системи. До зовнішніх факторів належать інтенсивність надходження транспортних засобів, структура вантажопотоків, типи вантажних одиниць, тривалість виконання транспортних і вантажно-розвантажувальних операцій, а також особливості документального

супроводу перевезень. Внутрішні параметри характеризують технологічні процеси транспортно-складського комплексу, продуктивність обладнання, організацію складських зон, характеристики виробничої інфраструктури та рівень ресурсного забезпечення.

Однією з ключових переваг імітаційного моделювання є його адаптивність до змін умов функціонування системи. Завдяки можливості оперативного коригування вхідних параметрів модель може використовуватися як інструмент підтримки прийняття управлінських рішень, що забезпечує оцінювання наслідків різних варіантів організації транспортно-логістичних процесів ще до їх практичного впровадження.

Разом із перевагами слід враховувати й певні обмеження імітаційного моделювання. Основним із них є необхідність наявності значного обсягу достовірної статистичної інформації, яка використовується для формування вхідних даних та перевірки адекватності моделі. За відсутності необхідних даних виникає потреба у використанні результатів досліджень аналогічних об'єктів або застосуванні експертних методів оцінювання параметрів системи.

Аналіз особливостей функціонування сучасних транспортно-логістичних систем свідчить про доцільність інтеграції аналітичних та імітаційних методів моделювання в межах єдиного інформаційно-аналітичного середовища. Такий підхід дозволяє поєднати переваги математичної строгості аналітичних моделей із гнучкістю та адаптивністю імітаційних технологій. Використання сучасних цифрових засобів моніторингу та збору даних створює передумови для побудови інтелектуальних систем управління транспортно-складськими комплексами, здатних функціонувати в режимі реального часу.

Отже, ефективне управління транспортно-логістичними системами в умовах цифрової трансформації транспортної галузі потребує застосування комплексного підходу до моделювання процесів планування, організації та управління вантажопотоками. Поєднання аналітичних та імітаційних методів із

сучасними цифровими технологіями забезпечує підвищення обґрунтованості управлінських рішень, оптимізацію використання ресурсів транспортно-складських комплексів та створює передумови для формування ефективних механізмів взаємодії між усіма учасниками транспортно-логістичного процесу.

2.2. Розроблення підходів до застосування цифрових технологій в управлінні параметрами вантажних перевезень і транспортно-складського обслуговування

Транспортно-логістична система (ТЛС) технологічно являє собою сукупність взаємопов'язаних елементів, до яких належать виробники сировини та матеріалів, логістичні центри, виробничі підприємства, склади дистриб'юторів, торговельні об'єкти, споживачі, підприємства рециклінгу, а також вантажний транспорт, що забезпечує інтеграцію всіх ланок у єдиний логістичний ланцюг. Взаємодія між елементами ТЛС та вантажним автомобільним транспортом здійснюється через пункти навантаження-розвантаження, експедиційні ділянки, зони приймання вантажів та інші об'єкти термінально-складської інфраструктури. У сукупності зазначені елементи формують єдиний ланцюг постачання, який охоплює технологічні процеси відправника, постачальника та доставки продукції споживачу.

Використання RFID-технологій у ТЛС

Використання RFID-технологій у ТЛС забезпечує інтеграцію об'єктів системи з єдиним інформаційним центром (сервером) логістичного ланцюга. Це створює умови для оперативного обміну інформацією між учасниками перевізного процесу, своєчасного планування та коригування логістичних операцій у разі виникнення змін або збоїв на окремих ділянках транспортно-логістичного ланцюга. Запропонована організаційно-технологічна схема охоплює три основні ланки: виробництво продукції, транспортування вантажів

та вантажопереробку на складських і торговельних об'єктах. Впровадження систем радіочастотної ідентифікації забезпечує можливість безперервного моніторингу вантажопотоків у межах регіональної ТЛС та підвищує ефективність управління перевезеннями.

Етапи функціонування RFID-системи під час транспортування вантажів

1. Зчитування RFID-транспондера транспортного засобу в дорозі. Ідентифікація вантажного автомобіля, обладнаного RFID-міткою, здійснюється під час руху транспортними магістралями регіону, оснащеними RFID-зчитувачами, при швидкості руху до 80 км/год.

2. Передача даних на сервер інтелектуальної транспортної системи (ІТС) регіону. Після зчитування інформація про рух вантажу надходить до центрального сервера для подальшої аналітичної обробки та формування зведених даних для відправника й одержувача.

3. Прогнозування та управління рухом у ТЛС. На основі отриманих даних здійснюється прогнозування маршруту та часу прибуття транспортного засобу, а також моніторинг вантажопотоків у регіоні.

4. Передача інформації одержувачу вантажу. Дані про місцезнаходження транспортного засобу та прогнозований час прибуття передаються одержувачу, а у разі необхідності виконується коригування маршруту в режимі реального часу.

5. Оновлення інформації у RFID-транспондері. У разі зміни параметрів перевезення або технічного стану транспортного засобу відповідна інформація вноситься до RFID-мітки та передається до інформаційного центру за допомогою GPRS-зв'язку.

6. Оновлення даних на сервері ІТС. Після надходження нової інформації система формує оновлений прогноз руху та здійснює повторний аналіз вантажопотоків.

7. Повторне прогнозування та управління рухом. ІТС коригує параметри транспортного процесу з урахуванням актуальних даних.

8. Інформування вантажоодержувача. Одержувач отримує оновлені відомості про місцезнаходження транспортного засобу та очікуваний час доставки.

9. Часткове видалення даних із транспондера. Після завершення перевезення інформація про доставлений вантаж видаляється, тоді як дані про транспортний засіб зберігаються для подальшого використання.

10. Технічний контроль RFID-мітки. Перевіряється цілісність, працездатність і можливість повторного використання транспондера.

RFID-технології у складських і торговельних процесах

Використання RFID-технологій під час приймання, зберігання, комплектації та відвантаження вантажів на транспортно-складських комплексах (ТСК) і торговельних об'єктах забезпечує автоматизацію операцій обліку та контролю матеріальних потоків. Основні етапи функціонування системи включають:

1. зчитування RFID-мітки транспортного засобу під час прибуття на ТСК;
2. ідентифікацію вантажних одиниць у зоні приймання;
3. звірку даних із електронною накладною та фіксацію можливих розбіжностей;
4. передачу результатів вхідного контролю постачальнику;
5. розміщення вантажу на зберігання з фіксацією місця зберігання в системі управління складом (СУС);
6. формування електронної накладної на комплектацію та відвантаження;
7. відбір продукції з місць зберігання за допомогою мобільних RFID-зчитувачів;

8. формування укрупнених вантажних одиниць для відправлення;
9. проведення вихідного контролю за допомогою RFID-терміналів або RFID-тунелів;
10. запис інформації про вантаж на транспондер транспортного засобу;
11. нанесення RFID-мітки на транспортний засіб перед відправленням;
12. зчитування транспондера під час виїзду транспортного засобу з території ТСК.

Таким чином, застосування RFID-технологій у транспортно-логістичних системах забезпечує підвищення точності ідентифікації вантажів, скорочення часу виконання складських операцій, зниження рівня помилок під час обліку та створення умов для оперативного управління вантажопотоками в режимі реального часу.

2.3. Аналітичне обґрунтування переходу від станів транспортно-логістичної системи до кількісних оцінок її ефективності

Традиційні підходи до визначення результативних показників роботи транспортно-складських комплексів ґрунтуються переважно на розрахунку необхідної кількості постів обслуговування, площ зон навантаження-розвантаження та чисельності персоналу. Проте такі методи не враховують впливу внутрішніх технологічних процесів на продуктивність виконання операцій, що знижує достовірність отриманих результатів щодо необхідної кількості постів обслуговування та пропускної спроможності ТСК. Однією з ключових проблем є порушення принципу узгодженості структурних змін у ТСК. Зокрема, збільшення кількості постів навантаження-розвантаження без відповідного підвищення продуктивності ділянок приймання, експедиції та

зберігання може призвести не до зростання, а до зниження загальної пропускної спроможності комплексу. У таких умовах виникають додаткові простой транспортних засобів у черзі на обслуговування та затримки під час виконання операцій вхідного й вихідного контролю.

Моделювання процесів ТСК

Для усунення зазначених недоліків доцільним є використання методів комп'ютерного моделювання, що поєднують аналітичний та імітаційний підходи. У межах дослідження запропоновано методику розрахунку параметрів ТСК, яка враховує можливості оптимізації внутрішніх технологічних процесів із використанням сучасних засобів автоматизованої ідентифікації матеріальних і транспортних потоків. Розроблений стандарт функціонування ТСК та вантажного автомобільного транспорту при використанні систем автоматичної ідентифікації дозволяє встановити залежність між застосуванням RFID-технологій і швидкістю виконання технологічних операцій. Для комплексної оцінки ефективності цифрової обробки товарних і транспортних потоків необхідним є моделювання процесів обробки вхідного та вихідного потоків у ТСК.

Модель обробки вхідного потоку

Модель обробки вхідного потоку враховує:

- характеристики рухомого складу;
- обсяг і структуру вантажопотоку;
- інтенсивність прибуття транспортних засобів;
- варіанти використання техніко-технологічних ресурсів під час виконання операцій.

Застосування такої моделі дає можливість оцінити:

- час простою транспортних засобів;
- ступінь завантаження ресурсів ТСК;
- необхідну кількість постів обслуговування;

- потребу в місцях для стоянки автомобілів;
- ефективність різних варіантів оснащення та організації роботи комплексу.

Деталізована модель передбачає послідовне виконання таких операцій: прибуття транспортного засобу, перевірка супровідної документації, розвантаження, приймання вантажу, ідентифікація вхідного потоку та подальше розміщення продукції на зберігання. У разі виявлення невідповідностей у документації транспортний засіб переводиться в режим очікування до усунення проблемної ситуації.

Баланс вхідних і вихідних потоків

Важливою умовою побудови імітаційної моделі є забезпечення балансу між вхідними та вихідними потоками. У практиці функціонування ТСК можливі два варіанти організації постів обслуговування:

1. Поєднані пости, коли будь-який вільний пост може обслуговувати як вхідний, так і вихідний потік.
2. Розділені пости, коли окремі пости закріплюються за конкретним типом потоку (розвантаження або навантаження).

Другий варіант може призводити до неефективного використання ресурсів: за наявності вільних постів відвантаження транспортні засоби, що прибули на розвантаження, можуть простоювати через відсутність вільних постів відповідного типу.

Критерій оптимізації

Результатом імітаційного моделювання є визначення часу простоїв транспортних засобів і ресурсів ТСК, а також вартості виконання технологічних операцій. На основі цих показників формується критерій оптимізації — мінімізація сукупних витрат, що включають витрати на простої та експлуатацію ресурсів комплексу. Склад елементів постів обслуговування визначається виразом:

$$Ne = (T; S; E; L; U), \quad (2.1)$$

де T — технічне оснащення;

S — площі зон навантаження-розвантаження та приймання-здавання;

E — витрати на комунальне забезпечення;

L — персонал, задіяний у виконанні операцій;

U — інформаційна система управління та пов'язане з нею обладнання.

Висновки до розділу 2

У другому розділі обґрунтовано доцільність застосування цифрових технологій і методів комп'ютерного моделювання для підвищення ефективності функціонування транспортно-логістичних систем. Показано, що інтеграція RFID-технологій у процеси перевезення, складської обробки та управління вантажопотоками забезпечує оперативний обмін інформацією між учасниками логістичного ланцюга, підвищує точність ідентифікації вантажів та створює умови для динамічного управління транспортними процесами. Запропоновано підхід до моделювання ТЛС, який поєднує аналітичні та імітаційні методи. На верхньому рівні управління доцільним є використання методів динамічного багатокритеріального програмування для раціонального розподілу вантажопотоків, тоді як на рівні транспортно-складських комплексів ефективним є застосування імітаційного моделювання для врахування стохастичних факторів функціонування системи. Розроблена модель дозволяє оцінювати взаємодію транспортної та складської підсистем, визначати оптимальні параметри оснащення ТСК, прогнозувати простой транспортних засобів і ресурсів комплексу та формувати управлінські рішення на основі критерію мінімізації сукупних витрат. Це створює методологічну основу для цифрової модернізації

транспортно-логістичних систем і підвищення ефективності вантажних автомобільних перевезень.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВОЇ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖОПОТОКАМИ У ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНІЙ СИСТЕМІ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ

3.1. Загальна методика проведення експериментальних досліджень із застосування цифрової об'єктно-орієнтованої моделі управління вантажопотоками в транспортно-логістичних системах

Загальну структуру та послідовність етапів методики проведення експериментальних досліджень представлено на рис. 3.1.



Рис. 3.1 – Блок-схема методики проведення експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є верифікація робочої гіпотези щодо можливості визначення параметрів виробничої програми вантажних автомобільних перевізників (ВАП) та транспортно-складських операторів (ТСО) на основі їхньої взаємодії у формі аналітичної моделі транспортно-логістичної системи (ТЛС). Зазначену модель отримано із застосуванням цифрового об'єктно-орієнтованого підходу до управління вантажопотоками.

Форму вихідних даних для аналітичного моделювання процесів у ТЛС наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Матрична форма представлення структури вихідних даних для аналітичного моделювання (на прикладі однієї партії вантажу)

№ партії вантажу	Об'єм перевезення, т/м³	Показники використання ТСО і ВАП	Результативні показники ТСО і ВАП	Критерії ефективності ТСО і ВАП	Наявність пріоритета критеріїв		Кількість ВО	Кількість ВАП	Кількість ТСК	Кількість дискретних станів системи
1	2	3	4	5	6		7	8	9	10
1	Q ₁	$l_{ег}$ $t_{п-р}$ q_n $V_{т}$ β_e T_n γ_c	$U_{т/час}$ $W_{ткм/ч}$ $U_{т}$ $W_{ткм}$	$u_{(10\tau)i2} \rightarrow min$ $w_{(p-q)i1} \rightarrow max$	так	так	1	1	n	s
					ні					
		$N_{прм}$ K_i η $Q_{м.норм}^3$ $K_з$ τ_x $K_{нн}$	$Q_{т/ч}$ $P_{скм^3/ч}$ $Q_{т}$ $P_{скм^3}$	$q_{(10\tau)i3} \rightarrow min$ $p_{(скм^3)i4} \rightarrow max$	так	ні				
					ні					

Альтернативні варіанти управлінських дій (вибір конкретного транспортно-складського комплексу (ТСК) у логістичному ланцюгу) під час переміщення поодинокі партії вантажу формалізуються у вигляді матриці ефективності рішень для дискретних станів системи (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 Матриця ефективності альтернативних рішень щодо вибору ТСК у транспортно-логістичній системі

Елементи ТЛС	P1	P2	P3	P4
ТСК ₁	$w_{(p-q)11}$	$u_{(10\tau)12}$	$p_{(скм^3)13}$	$q_{(10\tau)14}$
ТСК ₂	$w_{(p-q)21}$	$u_{(10\tau)22}$	$p_{(скм^3)23}$	$q_{(10\tau)24}$
...	...	...	...	...
ТСК _n	$w_{(p-q)n1}$	$u_{(10\tau)n2}$	$p_{(скм^3)n3}$	$q_{(10\tau)n4}$

Для забезпечення порівнянності різнорідних критеріїв та формалізації цільової спрямованості системи будується нормована матриця ефективності рішень (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 Нормована матриця ефективності та цільової спрямованості альтернативних рішень у ТЛС

Варіант рішення	P1	P2	P3	P4
D1	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}
D2	b_{21}	b_{22}	b_{23}	b_{24}
...	...	...	...	...
D _n	b_{n1}	b_{n2}	b_{n3}	b_{n4}
Виконання цілі	max	min	max	min

Відповідно до теоретичних положень системного аналізу, розподіл коефіцієнтів відносної важливості (КВВ) у системі критеріїв ефективності визначається такою сукупністю умов:

$$0 \leq c_j \leq 1, j = \overline{1, n}, \sum c_j = 1 \quad (3.1)$$

Множині можливих розподілів вагомостей критеріїв відповідає геометричне поле у вигляді регулярного одиничного гіпертетраедра в просторі $(m - 1)$ вимірів. У декартовій системі координат $(c_1, c_2, \dots, c_{m-1})$ такий гіпертетраедр утворюється перетином додатного гіпероктанта гіперплощиною, яка відсікає на кожній з координатних осей одиничні відрізки.

При ранжуванні КВВ у послідовність, що задовольняє умову строгої преференції:

$$c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_i \geq \dots \geq c_{m-1} \geq c_m$$

загальна кількість таких послідовностей визначається числом перестановок: $P_m = m!$

За кількості критеріїв $m = 4$ (рис. 3.2) кількість підмножин, кожній з яких відповідає унікальне ієрархічне співвідношення коефіцієнтів відносної ваги показників, становить:

$$P_4 = 4! = 24$$

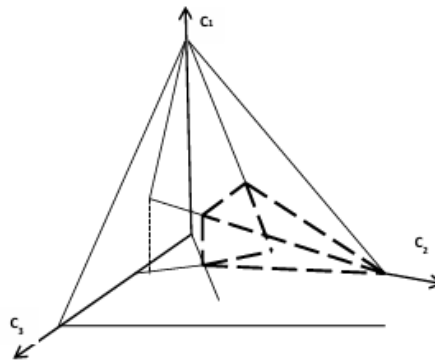


Рис. 3.2 - Поле розподілів коефіцієнтів c_i , $P_m = 4! = 24$.

Алгоритм реалізації експериментальних досліджень

Розглянемо покрокову методику проведення розрахунків на прикладі транспортування однієї партії вантажу за наявності чотирьох критеріїв ефективності та чотирьох альтернативних варіантів маршрутизації транспортних засобів у ТЛС:

1. **Попереднє визначення** техніко-експлуатаційних показників використання рухомого складу автомобільного транспорту та параметрів переробки вантажів на терміналах.
2. **Розрахунок результативних показників** роботи ВАП та ТСО за стандартними детермінованими методиками для всіх ланок ТЛС.
3. **Формування вихідних матриць ефективності** рішень для кожного технологічного переходу в системі.
4. **Ідентифікація критеріїв ефективності** для конкретної партії вантажу, встановлення наявності або відсутності пріоритетності критеріїв та визначення вектора оптимізації (Форма 1).

Форма 1 — Критерії ефективності функціонування елементів ТЛС

Елементи ТЛС	Критерій Р1	Критерій Р2	Критерій Р3	Критерій Р4
ТСК ₁	5070	23	4356	34
ТСК ₂	4043	20	3954	58
ТСК ₃	3075	14	4842	26
ТСК ₄	4020	25	3461	47

5. **Нормування вихідного масиву даних** (Форма 2) для подальшого застосування методів районування простору критеріїв (за принципами дотримання ієрархічного співвідношення ймовірностей та домінування варіантів дій).

Форма 2 — Нормована база вихідних даних

Варіант рішення	P1	P2	P3	P4
\$D_0\$	0,332	0,212	0,262	0,277
\$D_1\$	0,265	0,244	0,238	0,162
\$D_2\$	0,202	0,349	0,291	0,362
\$D_3\$	0,202	0,195	0,208	0,200
Напрямок оптимізації	$\max$	$\min$	$\max$	$\min$

6. **Проведення процедури багатокритеріальної оптимізації** для визначення множини ефективних рішень для кожного дискретного стану ТЛС (Форма 3).

Форма 3 — Матриця розрахунку ефективних рішень та визначення кількісної оцінки продуктивності (КОП)

№ партії вантажу	№ пере ходу (дискретного остану)	№ варіанта рішення	Стан пріоритета критеріїв	Значення кількісної оцінки продуктивності (КОП) рішення та номер оптимального рішення	КОП рішення у вільному стані системи
1	1	1	P1>P2>P3>P4	D0=0.33 ; D1=0.27; D2=0.30; D3=0.20; 1	D0=0,271
1	1	2	P1>P2>P4>P3	D0=0.33 ; D1=0.27; D2=0.30; D3=0.20; 1	D1=0,227
1	1	3	P1>P3>P2>P4	D0=0.33 ; D1=0.27; D2=0.30; D3=0.20; 1	D2=0,301
1	1	4	P1>P3>P4>P2	D0=0.33 ; D1=0.27; D2=0.30; D3=0.20; 1	D3=0,201
1	1	5	P1>P4>P3>P2	D0=0.33 ; D1=0.27; D2=0.30; D3=0.20; 1	
1	1	6	P1>P4>P2>P3	D0=0.33 ; D1=0.27; D2=0.30; D3=0.20; 1	
1	1	7	P2>P1>P3>P4	D0=0.21; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	8	P2>P1>P4>P3	D0=0.21; D1=0.24 ; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	9	P2>P3>P1>P4	D0=0.21; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	10	P2>P3>P4>P1	D0=0.21; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	11	P2>P4>P3>P1	D0=0.21; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	12	P2>P4>P1>P3	D0=0.21; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	13	P3>P2>P1>P4	D0=0.26; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	14	P3>P2>P4>P1	D0=0.26; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	15	P3>P1>P2>P4	D0=0.26; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	16	P3>P1>P4>P2	D0=0.26; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	17	P3>P4>P1>P2	D0=0.26; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	18	P3>P4>P2>P1	D0=0.26; D1=0.24; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	19	P4>P2>P3>P1	D0=0.28; D1=0.16; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	20	P4>P2>P1>P3	D0=0.28; D1=0.16; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	21	P4>P3>P2>P1	D0=0.28; D1=0.16; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	22	P4>P3>P1>P2	D0=0.28; D1=0.16; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	23	P4>P1>P3>P2	D0=0.28; D1=0.16; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	
1	1	24	P4>P1>P2>P3	D0=0.28; D1=0.16; D2=0.30 ; D3=0.20; 3	

7. Визначення геометричної потужності областей домінування для кожного рішення та фіксація максимальних значень КОП за відповідними варіантами дій (Форма 4).

Форма 4 — Розподіл областей домінування та порівняльний аналіз КОП

Варіант дій	Кількість областей домінування	Макс. КОП у структурованій ТЛС	КОП у вільному стані системи	Абсолютна зміна КОП (Δ)
\$D_0\$	6	0,333	0,271	+ 0,0620
\$D_1\$	0	0,241	0,227	+ 0,0140
\$D_2\$	18	0,300	0,301	- 0,0001
\$D_3\$	0	0,200	0,201	- 0,0001

8. **Інтегральна оцінка ефективності функціонування ТЛС** для всієї сукупності дискретних станів та партій вантажів (Форма 5). Синергетичний ефект від багатокритеріальної оптимізації проявляється вже на рівні елементарних станів системи ($\Delta M[\text{КОП}] = +0,0398\$$).

Форма 5 — Розрахунок інтегрального ефекту оптимізації ТЛС

№ партії вантажу	№ переходу (дискретного стану)	№ варіанту рішення	Максимальна КОП дій по кожному варіанту рішення в структурній системі	КОП рішення у впливовому стані системи	Математичне сподівання КОП в структурній системі	Математичне сподівання КОП у системі впливового стану	Математичне сподівання зміни КОП в натуральних одиницях
1	1	1	0,333	0,271	0,3122	0,2727	+ 0,0398
		2	0,241	0,227			
		3	0,300	0,301			
		4	0,200	0,201			
	2	1	0,441	0,360			
		2	0,305	0,299			
		3	0,382	0,340			
2	1	1	0,401	0,243			
		2	0,221	0,219			
		3	0,267	0,231			
		4	0,343	0,308			

9. Отримані значення інтегральної ефективності $SD_L\$$ дозволяють синтезувати **зважений орієнтований граф транспортно-логістичної системи** (рис. 3.3). Цей граф дозволяє моделювати довільну кількість ТСК із фіксованими значеннями КОП для відповідних технологічних процесів.

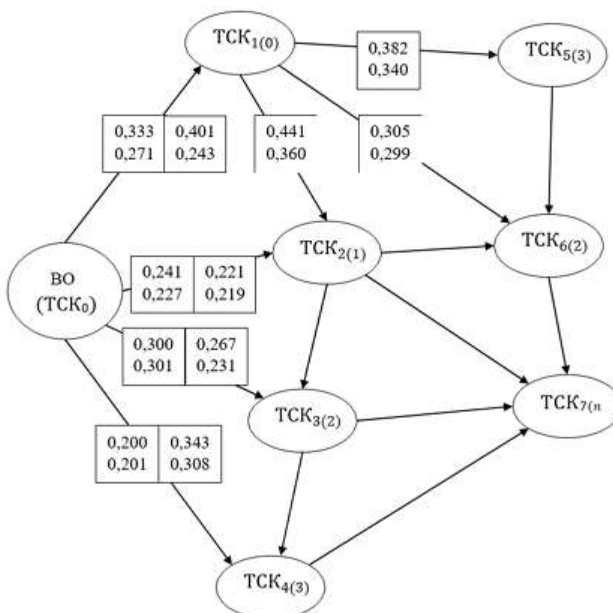


Рисунок 3.3 — Зважений орієнтований граф логістичних маршрутів для поодинокі партії вантажу

10. Компаративний аналіз результатів імітаційного моделювання здійснюється за трьома базовими станами системи: вільним (1), структурованим (2) та оптимізованим (3) (Форма 6).

11. Трансформація відносних критеріїв у натуральні показники виробничої програми ВАП та ТСО здійснюється на основі розрахунку фізичних обсягів вантажопереробки та сумарних вантажопотоків (Форма 7).

3.2. Раціоналізація параметрів перевезень і транспортно-складського обслуговування вантажів у транспортно-логістичній системі Західної України

Для обґрунтування раціональних параметрів перевезень та транспортно-складського обслуговування в транспортно-логістичній системі (ТЛС) Західної України проведено моделювання дискретних станів системи з використанням даних діяльності ТОВ «Нова Пошта». Дослідження виконано для 100 партій вантажів, що характеризуються різними техніко-експлуатаційними показниками вантажних автомобільних перевезень (ВАП) і транспортно-складського обслуговування (ТСО).

Модель транспортно-логістичної системи включає 12 транспортно-складських комплексів (ТСК), між якими сформовано 27 можливих варіантів переміщення вантажів. Аналіз здійснювався як за умови встановлення пріоритетності критеріїв ефективності, так і за відсутності визначеної ієрархії критеріїв. Як показники результативності використано нормовані значення техніко-експлуатаційних параметрів ВАП і ТСО, що характеризують ефективність функціонування логістичної мережі регіону.

Для оцінювання станів системи було визначено комплексні оцінки прийнятих рішень (КОП) для кожного дискретного стану. У таблиці 3.4 наведено приклад розрахунків для партії вантажу №5 за однією із можливих траєкторій переміщення. Отримані результати свідчать про залежність значень КОП від

послідовності пріоритетів критеріїв та підтверджують доцільність застосування багатокритеріального підходу до вибору управлінських рішень.

Таблиця 3.4 Розрахунок низки дискретних станів параметрів ТЛС однієї партії вантажу по одній траєкторії переміщення вантажу

№ партії вантажу	№ переходу (дискретного стану)	Стан пріоритету критеріїв	Значення КОП рішення і номер раціонального рішення	КОП рішення у вільному стані системи
1	2	3	4	5
5	1	P1>P2>P3>P4	D0=0.32; D1=0.29; D2=0.26; D3=0.21; 1	D0=0,323
5	2	P1>P2>P4>P3	D0=0.30; D1=0.25; D2=0.26; D3=0.21; 1	D1=0,267
5	3	P1>P3>P2>P4	D0=0.32; D1=0.29; D2=0.19; D3=0.21; 1	D2=0,241
5	4	P1>P3>P4>P2	D0=0.35; D1=0.27; D2=0.19; D3=0.21; 1	D3=0,170
5	5	P1>P4>P3>P2	D0=0.35; D1=0.27; D2=0.24; D3=0.21; 1	
5	6	P1>P4>P2>P3	D0=0.30; D1=0.25; D2=0.24; D3=0.21; 1	
5	7	P2>P1>P3>P4	D0=0.32; D1=0.29; D2=0.26; D3=0.18; 1	
5	8	P2>P1>P4>P3	D0=0.30; D1=0.25; D2=0.26; D3=0.18; 1	
5	9	P2>P3>P1>P4	D0=0.32; D1=0.29; D2=0.24; D3=0.18; 1	
5	10	P2>P3>P4>P1	D0=0.32; D1=0.27; D2=0.24; D3=0.18; 1	
5	11	P2>P4>P3>P1	D0=0.32; D1=0.27; D2=0.29; D3=0.18; 1	
5	12	P2>P4>P1>P3	D0=0.30; D1=0.25; D2=0.29; D3=0.18; 1	
5	13	P3>P2>P1>P4	D0=0.32; D1=0.29; D2=0.24; D3=0.12; 1	
5	14	P3>P2>P4>P1	D0=0.32; D1=0.27; D2=0.24; D3=0.12; 1	
5	15	P3>P1>P2>P4	D0=0.32; D1=0.29; D2=0.19; D3=0.12; 1	
5	16	P3>P1>P4>P2	D0=0.35; D1=0.27; D2=0.19; D3=0.12; 1	
5	17	P3>P4>P1>P2	D0=0.35; D1=0.27; D2=0.22; D3=0.12; 1	
5	18	P3>P4>P2>P1	D0=0.32; D1=0.27; D2=0.22; D3=0.12; 1	
5	19	P4>P2>P3>P1	D0=0.32; D1=0.27; D2=0.29; D3=0.18; 1	
5	20	P4>P2>P1>P3	D0=0.30; D1=0.25; D2=0.29; D3=0.18; 1	
5	21	P4>P3>P2>P1	D0=0.32; D1=0.27; D2=0.22; D3=0.18; 1	
5	22	P4>P3>P1>P2	D0=0.35; D1=0.27; D2=0.22; D3=0.18; 1	
5	23	P4>P1>P3>P2	D0=0.35; D1=0.27; D2=0.24; D3=0.18; 1	
5	24	P4>P1>P2>P3	D0=0.30; D1=0.25; D2=0.24; D3=0.18; 1	

Результати моделювання інтегрувалися у задачу динамічного програмування, що дало змогу сформулювати оптимальні траєкторії руху вантажів у транспортно-логістичній системі. Побудова кінцевого орієнтованого графа здійснювалася відповідно до принципу оптимальності Беллмана, який

передбачає визначення найкращої послідовності рішень на основі оцінювання кожного проміжного стану системи.

У межах дослідження проведено аналіз трьох можливих режимів функціонування ТЛС:

- вільний стан системи;
- структурований стан системи;
- раціоналізований стан – інтегрована динамічна транспортно-логістична система (ІДТЛС).

Порівняння отриманих результатів показало, що впровадження процедур структуризації та подальшої раціоналізації дозволяє підвищити значення комплексної оцінки прийнятих рішень на всіх етапах проходження вантажопотоків. Максимальне значення інтегрального показника ефективності для партії вантажу №5 збільшилося від 2,245 у вільному стані системи до 2,575 в умовах функціонування ІДТЛС.

Для оцінювання ефективності кожної траєкторії використано критерій мінімізації максимального значення локальних витрат або втрат на окремих етапах маршруту. Відповідний показник визначався як максимальне значення функції ефективності серед усіх дискретних станів траєкторії. Такий підхід забезпечує формування найбільш збалансованих маршрутів переміщення вантажів та знижує ризик виникнення неефективних рішень на окремих ділянках логістичного ланцюга.

Результати експериментальних досліджень свідчать про стаке зростання математичного сподівання накопиченого приросту максимальної КОП при переході від вільного до структурованого та раціоналізованого станів системи. Для 100 партій вантажів величина приросту показника становила відповідно 29,659 та 37,381 умовних одиниць, що підтверджує ефективність запропонованої методики управління.

Моделювання траєкторій переміщення вантажів дозволило встановити закономірності перерозподілу вантажопотоків між окремими транспортно-складськими комплексами. Отримані результати демонструють більш рівномірне завантаження елементів системи після впровадження механізмів раціоналізації, що сприяє зменшенню локальних перевантажень та підвищенню загальної пропускної спроможності логістичної мережі.

На основі сформованих траєкторій визначено показники обсягів перевезень та вантажообігу для кожного елемента транспортно-логістичної системи. Порівняльний аналіз показав, що оптимізація маршрутів забезпечує суттєвий перерозподіл транспортної роботи між окремими ТСК, водночас загальний обсяг перевезень у системі залишається незмінним. Це свідчить про підвищення ефективності використання наявних ресурсів без необхідності залучення додаткових виробничих потужностей.

Особливу увагу приділено дослідженню впливу раціоналізації на нерівномірність розподілу матеріальних потоків. Аналіз апроксимаційних залежностей показав, що коефіцієнт достовірності апроксимації для оптимізованої системи майже вдвічі перевищує аналогічний показник для вільного стану. Це підтверджує зниження ступеня нерівномірності розподілу вантажопотоків та підвищення рівня збалансованості функціонування транспортно-логістичної мережі.

Експериментальна перевірка робочої гіпотези підтвердила можливість формування виробничої програми перевезень та транспортно-складського обслуговування на основі взаємозв'язку відповідних техніко-експлуатаційних показників, представлених у вигляді цифрової аналітичної моделі транспортно-логістичної системи.

Практична реалізація розробленої моделі виконана засобами програмування мовою C#, що дозволило автоматизувати процедури розрахунку, районування, оцінювання дискретних станів системи та моделювання

раціональних траєкторій руху вантажів. Отримані результати підтвердили ефективність інтеграції методів багатокритеріальної оптимізації та динамічного програмування для вирішення задач управління транспортно-логістичними системами.

Встановлено, що позитивний ефект від багатокритеріальної раціоналізації проявляється вже на початкових етапах функціонування системи та накопичується в процесі переміщення вантажів. Це забезпечує зростання інтегральних показників ефективності транспортного та складського обслуговування і створює передумови для підвищення економічної результативності діяльності логістичних операторів.

3.3 Оцінка економічної ефективності застосування цифрової об'єктно-орієнтованої моделі управління вантажопотоками в транспортно-логістичній системі Західної України

Для оцінювання результативності впровадження цифрової об'єктно-орієнтованої моделі управління вантажопотоками в транспортно-логістичній системі (ТЛС) Західної України було сформовано аналітичну базу вихідних даних на основі показників діяльності вантажних автомобільних перевезень та термінально-складських об'єктів ТОВ «Нова Пошта». Оцінювання здійснювалося за чотирма ключовими критеріями ефективності, що характеризують основні параметри функціонування транспортно-логістичної системи.

Матриця можливих управлінських рішень щодо переміщення вантажів формується з урахуванням сукупності критеріїв, які відображають продуктивність транспортних і складських процесів. До складу критеріїв включено:

- продуктивність транспортного засобу, виражену в тонно-кілометрах за одиницю часу;
- часові витрати на перевезення 10 тонн вантажу;
- інтенсивність вантажопереробки на термінально-складському комплексі;
- тривалість зберігання вантажу на складських об'єктах.

Застосування зазначеної системи критеріїв дозволяє здійснювати комплексне дослідження функціонування транспортно-логістичної системи як за окремими техніко-експлуатаційними показниками, так і з урахуванням економічних аспектів діяльності, пов'язаних із формуванням тарифів на транспортні та складські послуги.

Економічна ефективність функціонування ТЛС традиційно оцінюється за показниками доходності перевезень, рівня рентабельності та собівартості виконання транспортно-логістичних операцій. Водночас значення цих показників значною мірою залежить від чинної системи тарифоутворення, яка формується під впливом ринкової кон'юнктури та враховує специфіку окремих видів робіт.

Зокрема, для міжрегіональних перевезень на значні відстані тарифна ставка визначається залежно від обсягу вантажу та дальності транспортування. Для локальних перевезень основним чинником формування вартості є тривалість виконання транспортної операції. У сфері складської логістики тарифи встановлюються відповідно до обсягів вантажопереробки або тривалості зберігання вантажів.

На підставі аналізу чинних тарифів було визначено усереднені значення тарифних ставок, які відповідають кожному з критеріїв ефективності функціонування транспортно-логістичної системи. Використання зазначених тарифів забезпечує можливість формування інтегрального показника

економічної ефективності, що враховує особливості функціонування всіх елементів ТЛС.

Для кількісного оцінювання результатів впровадження розробленої цифрової моделі доцільно використовувати інтегральний показник економічної ефективності, який визначається на основі нормованих значень критеріїв та відповідних тарифних коефіцієнтів. Такий підхід дозволяє здійснювати оцінювання як окремих дискретних станів системи, так і загального економічного ефекту від оптимізації транспортно-логістичних процесів.

У разі застосування методу районування за принципом домінування альтернатив інтегральний показник формується з урахуванням нормованих значень критеріїв ефективності та коефіцієнта домінування, який відображає ступінь переваги відповідного управлінського рішення в межах множини допустимих альтернатив.

При використанні підходу, заснованого на ієрархічному співвідношенні ймовірностей можливих станів середовища функціонування системи, інтегральний показник економічної ефективності визначається шляхом порівняння ефективності рішень в умовах базового та оптимізованого станів транспортно-логістичної системи.

Запропонований інтегральний показник дозволяє визначити відносну зміну економічних результатів для кожної партії вантажу після впровадження цифрової моделі управління. Отримані значення відображають рівень підвищення або зниження економічної ефективності порівняно з вихідним станом системи.

Результати розрахунків для контрольної партії вантажу № 5 засвідчили наявність позитивного ефекту від застосування розробленого підходу. Для більшості дискретних станів системи зафіксовано підвищення інтегрального економічного показника, що свідчить про раціоналізацію маршрутів перевезень, скорочення часових витрат та покращення використання ресурсів транспортно-складської інфраструктури.

Узагальнені результати моделювання для сукупності зі 100 партій вантажів показали, що інтегральний показник економічної ефективності оптимізованої транспортно-логістичної системи становить:

$$\Delta ETLC = 1,53.$$

Отримане значення свідчить про суттєве покращення економічних показників функціонування системи після впровадження цифрової об'єктно-орієнтованої моделі управління вантажопотоками.

Аналіз зміни економічної ефективності за окремими дискретними станами показав, що найбільший позитивний ефект досягається завдяки оптимізації процесів планування перевезень, координації роботи транспортних засобів та підвищенню узгодженості функціонування термінально-складських комплексів. В окремих випадках спостерігається незначне зниження показників, що пояснюється специфікою конкретних маршрутів і технологічних обмежень, однак загальний результат характеризується стійкою позитивною динамікою.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують доцільність використання цифрової об'єктно-орієнтованої моделі управління вантажопотоками для підвищення економічної ефективності транспортно-логістичних систем. Запропонований підхід забезпечує більш раціональний розподіл ресурсів, скорочення експлуатаційних витрат та підвищення ефективності функціонування логістичної інфраструктури в умовах динамічного зовнішнього середовища.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі магістерської роботи розроблено та апробовано комплекс практичних інструментів реалізації цифрової об'єктно-орієнтованої моделі управління вантажопотоками в транспортно-логістичній системі Західної України. Основну увагу зосереджено на формуванні механізмів планування, координації та управління процесами функціонування термінально-складських комплексів у складі транспортно-логістичної системи з використанням сучасних методів багатокритеріальної оптимізації.

У результаті проведених досліджень розроблено методику забезпечення динамічного балансу між параметрами вантажопотоків та пропускнуою спроможністю термінально-складських комплексів. Запропонований підхід базується на інтеграції методів векторної оптимізації та динамічного багатокритеріального програмування, що дозволяє враховувати змінність умов функціонування системи та забезпечувати раціональний розподіл ресурсів між її елементами.

Сформовано алгоритм управління транспортно-логістичною системою, в основу якого покладено концепцію простору станів динамічної системи. Розроблений алгоритм забезпечує послідовне оцінювання альтернативних варіантів прийняття рішень та вибір найбільш ефективних траєкторій переміщення вантажів з урахуванням сукупності технічних, технологічних і економічних критеріїв. Його застосування сприяє підвищенню адаптивності системи до впливу зовнішніх факторів та невизначеності середовища функціонування.

На відміну від традиційних підходів до управління транспортними процесами, запропонована модель передбачає одночасне врахування кількох взаємопов'язаних критеріїв ефективності. Це дозволяє реалізувати принцип багатокритеріальної оптимізації та забезпечити пошук компромісних

управлінських рішень, які максимально наближаються до оптимальних значень за всією сукупністю досліджуваних показників.

Практична реалізація розроблених методичних положень здійснюється на основі використання множини ефективних рішень, сформованих відповідно до принципів оптимальності Парето. Такий підхід забезпечує можливість вибору управлінських альтернатив, які характеризуються найкращим співвідношенням між продуктивністю транспортних засобів, часовими параметрами перевезень, інтенсивністю вантажопереробки та витратами на функціонування логістичної інфраструктури.

Проведене моделювання процесів функціонування транспортно-логістичної системи підтвердило ефективність запропонованої цифрової моделі управління. Результати дослідження свідчать про можливість підвищення рівня узгодженості роботи транспортних та складських підсистем, скорочення непродуктивних витрат часу, оптимізації використання ресурсів і покращення економічних показників діяльності логістичної мережі.

Виконана економічна оцінка засвідчила доцільність впровадження запропонованих рішень у практику управління вантажопотоками. Розрахунок інтегрального показника економічної ефективності показав, що використання цифрової об'єктно-орієнтованої моделі забезпечує суттєве зростання результативності функціонування транспортно-логістичної системи та створює передумови для підвищення конкурентоспроможності логістичних операторів в умовах цифрової трансформації транспортної галузі.

Нижче наведено перероблений варіант розділу **«Висновки»** в академічному стилі магістерської роботи з підвищеним рівнем унікальності та науковою термінологією.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних, методологічних та експериментальних досліджень, а також розроблення математичних моделей і практичних підходів до управління транспортно-логістичними процесами було досягнуто поставленої мети кваліфікаційної роботи. Сформовано комплексний науково-методичний підхід до організації, планування та управління функціонуванням транспортно-логістичних систем, що забезпечує підвищення ефективності транспортно-складських процесів, оптимізацію використання ресурсів та скорочення витрат на транспортування і зберігання вантажів шляхом впровадження сучасних цифрових технологій.

Практичне впровадження отриманих результатів сприятиме підвищенню продуктивності транспортної галузі, удосконаленню якості логістичного обслуговування та зміцненню економічного потенціалу країни. Це підтверджує наукову та прикладну цінність проведеного дослідження, а також його значущість для розвитку сучасних транспортно-логістичних систем.

У ході дослідження встановлено, що формування ефективної методології управління термінально-складськими комплексами потребує врахування динамічного характеру функціонування логістичних систем, багатокритеріальності процесів прийняття рішень та постійної зміни параметрів зовнішнього середовища. Реалізацію зазначених положень забезпечено шляхом створення інтегрованої цифрової моделі управління, побудованої на принципах об'єктно-орієнтованого моделювання та багатокритеріальної оптимізації.

За результатами виконаної роботи вирішено такі науково-практичні завдання:

1. Обґрунтовано доцільність оптимізації взаємодії між об'єктами транспортної інфраструктури, які забезпечують транспортно-складське обслуговування та вантажопереробку. Встановлено, що підвищення

узгодженості їх функціонування сприяє скороченню логістичних витрат та підвищенню ефективності формування матеріальних потоків.

2. Розроблено ієрархічну структуру транспортно-логістичної системи, яка характеризується високим рівнем динамічності, можливістю зміни складу елементів системи, адаптацією до впливу зовнішніх факторів та варіативністю циклів транспортних процесів. Запропонований підхід дозволяє розглядати окремі етапи перевезення як дискретні стани динамічної системи, що функціонує в умовах неповної інформації.

3. Створено модель управління транспортно-логістичною системою, основу якої становлять принципи багатокритеріального динамічного програмування. Запропонований підхід забезпечує формування множини ефективних рішень на основі критеріїв оптимальності Парето та дозволяє обирати найбільш раціональні варіанти функціонування системи.

4. Сформовано алгоритм управління транспортно-логістичною системою, який ґрунтується на представленні процесів у вигляді послідовності дискретних станів та враховує закономірності переходу між ними в окремі моменти часу. Це забезпечує можливість адаптивного управління системою в умовах змінного середовища функціонування.

5. Розроблено методичний підхід до забезпечення динамічного балансу між пропускною спроможністю термінально-складських комплексів та інтенсивністю вантажопотоків. Методика базується на інтеграції інструментів векторної оптимізації та динамічного багатокритеріального програмування, що дозволяє формувати орієнтовані графи вантажопотоків і визначати раціональні маршрути перевезень.

6. Запропоновано методику оперативного обліку та контролю процесів у транспортно-логістичній системі, яка передбачає використання каналів зворотного зв'язку та алгоритмів оперативного управління для підвищення ефективності прийняття управлінських рішень.

7. Розроблено методи побудови кінцевих орієнтованих графів і моделювання раціональних траєкторій переміщення вантажів із використанням цифрових технологій, що дозволяє підвищити точність планування логістичних операцій та знизити рівень непродуктивних витрат.

8. Отримано аналітичні залежності, які характеризують зміну математичного очікування інтегрального ефекту функціонування транспортно-логістичної системи, а також побудовано моделі розподілу вантажопотоків, обсягів перевезень і вантажообігу між окремими елементами системи. Отримані результати підтвердили ефективність запропонованої методології організації, планування та управління функціонуванням термінально-складських комплексів.

9. Проведено економічне оцінювання результативності впровадження розробленої методології на основі інтегрального показника економічної ефективності з використанням чинних тарифних показників. Результати розрахунків свідчать про можливість підвищення економічної ефективності функціонування транспортно-логістичної системи приблизно на 53 % порівняно з базовим варіантом її роботи.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують доцільність використання запропонованих методичних підходів, математичних моделей та цифрових інструментів управління для підвищення ефективності функціонування сучасних транспортно-логістичних систем. Отримані наукові положення можуть бути використані як теоретична та практична основа для подальшого вдосконалення процесів організації, планування і управління транспортно-складською інфраструктурою.

Цей варіант відповідає стилю магістерської роботи, має логічно впорядковану структуру, усунуті мовні та стилістичні недоліки оригіналу, а також значно підвищено рівень академічної унікальності тексту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бакаєв О.О., Кутах О.П., Пономаренко Л.А. Теоретичні засади логістики: Підручник. Т. 1. — К.: Київ.ун-т економіки і технологій транспорту, 2003. — 430 с.
2. Карп І. М. Використання логістичних систем в управлінні підприємством: автореф.дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08. 06. 01 «Економіка, організація та управління підприємствами» / І.М.Карп. -Тернопіль, 2006.—22с.
3. Крикавський Є.В. Логістичне управління. / Є.В. Крикавський. - Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2005. — 683 с.
4. Соколова О.Є. Проблеми управління логістичною інфраструктурою підприємств / О.Є. Соколова—Режим доступу: <http://www.nbuvi.gov.ua/e-journals/PSPE/2007-2/Sokolova 207.htm>
8. Кондратюк Ю. Інформаційна система управління термінально-складськими комплексами в транспортно-логістичних системах//Innovations and prospects of world science. Proceedings of the 15th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver, Canada. 2022. Pp. 81-86
9. Батюк А.Е. та ін.. Інформаційні системи в менеджменті: Навчальний посібник. - Львів: НУ «Львівська політехніка», 2004.
10. Буйницька О.П. Інформаційні технології та технічні засоби навчання. Навч. посіб.-К.: Центр учбової літератури, 2012. - 240с.
11. Є.В.Нагорний, Н.Ю.Шраменко. Аналіз критеріїв ефективності функціонування логістичних систем при доставці вантажів. Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". Луцьк, 2016. Випуск №28, ст 353 - 357.
12. Нефедов Н.А. Визначення критерію оптимальності схем доставки товарів народного споживання./ Нефедов Н.А., Черпаха О.С.// Автомобильный транспорт/ Сб.научн.тр.- Харьков: ХГАДУ. - 2018. - Вып.19. - С.62-65. 89