

Павленко О.І.

Український державний університет науки і технологій

Баркалова Н.О.

Український державний університет науки і технологій

ОПТИМІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ МАРШРУТІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ У ВАНТАЖНИХ АВТОПЕРЕВЕЗЕННЯХ

У статті розглядається проблема оптимізації транспортних процесів у логістичних ланцюгах, яка є однією з ключових у сучасній економіці та управлінні перевезеннями. Раціональна організація транспортних потоків забезпечує не лише зниження витрат підприємств, а й сприяє розвитку конкурентних переваг на ринку. Дослідження орієнтоване на пошук ефективних методів, що дозволяють мінімізувати витрати при організації вантажних перевезень, підвищити продуктивність транспортної діяльності та забезпечити стабільність логістичної системи. Для досягнення поставленої мети проаналізовано наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів, присвячені оптимізації логістичних маршрутів, систематизовано їх основні положення та окреслено сучасні тенденції у сфері транспортної логістики.

У дослідженні використано методи математичної статистики для оцінки ефективності різних варіантів оптимізації, а також методи техніко-економічних розрахунків для визначення рівня витрат і тарифів на перевезення. У прикладній частині роботи наведено приклади застосування методів дослідження операцій, зокрема методу найближчого сусіда та методу апроксимації Фогеля, які дозволили обґрунтовано визначити оптимальні маршрути перевезень і показати їх переваги порівняно з традиційними схемами організації транспортування. Отримані результати створюють наукову та економічну основу для формування сучасної системи перевезень, що відповідає вимогам ринку та забезпечує більш гнучке управління ресурсами. Особлива увага приділяється практичному значенню проведеного аналізу. Оптимізація логістичних схем автомобільних перевезень сприяє зменшенню частки транспортно-логістичної складової у кінцевій вартості продукції, що безпосередньо впливає на її доступність для споживачів. Це підвищує конкурентоспроможність вітчизняних товарів як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках, забезпечує більш ефективне використання транспортних засобів, скорочення часу доставки та підвищення якості обслуговування клієнтів. У ширшій перспективі результати дослідження сприятимуть зростанню економічної стійкості підприємств транспортної галузі, створенню нових можливостей для інвестицій у логістичну інфраструктуру та збільшенню надходжень до державного бюджету. Матеріали статті можуть бути використані підприємствами транспортно-експедиційної сфери, у навчальному процесі закладів вищої освіти, а також під час розроблення державних стратегій розвитку транспортної логістики в Україні.

Ключові слова: оптимізація транспортних процесів, логістичні маршрути, витрати на перевезення, метод найближчого сусіда, метод Фогеля.

Постановка проблеми. В умовах сьогоденних викликів невизначеності, дієве керування логістичними процесами є надзвичайно важливим для успіху підприємства на ринку. Удосконалення логістичних процесів дає змогу прискорити виконання процесів, покращити якість та продуктивність послуг, зменшити витрати, підвищити рівень задоволення клієнтів та забезпечити підприємству конкурентні ринкові переваги.

Виклики, що постали під впливом четвертої індустріальної революції для суб'єктів господарювання, можна вважати водночас можливостями для оптимізації багатьох бізнес-процесів та загрозами для бізнесу, що використовує традиційні підходи. Особливі виклики стоять перед сферою логістики та всіма учасниками ринку логістичних послуг. Найбільш суттєвою зміною є впровадження новітніх технологій [1, с. 13].

Методи оптимізації широко використовуються для вирішення таких проблем, як теорія оптимальних процесів та оптимальне регулювання. Без розвитку і застосування методів оптимізації управління логістичними процесами було б неможливим. Багато задач економічної кібернетики (мережеве планування, управління запасами, транспортом тощо), управління виробництвом (розподіл завдань, обробка деталей, конвеєрне виробництво) та оптимального програмування зводяться до задач транспорту та збуту. Інша група задач теорії оптимізації - це задачі оптимального проектування. Наприклад, проектування логістичної системи із заданими обмеженнями [1, с. 15].

Все це дає змогу стверджувати, що доцільно провести дослідження проблем ефективної організації автомобільних вантажоперевезень з оптимальним плануванням часу та забезпеченням мінімальної ціни перевезення вантажу. Оскільки оптимальний час і ціна транспортування вантажу знижують ризики його пошкодження та втрати. Водночас залишається актуальним завдання зменшення витрат під час автомобільних перевезень.

Постановка завдання. Метою роботи є розглянути можливості оптимізації автомобільних вантажних перевезень за допомогою методів найближчих сусідів да методу апроксимації Фогеля та обрати серед наведених шляхів оптимізації, той який на нашу думку є найбільш доцільним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях вітчизняних і зарубіжних дослідників значна увага приділяється вивченню стратегій удосконалення логістики та маркетингу продукції сільськогосподарських підприємств на основі кооперації. У країні до них належать П. Саблук, О. Шпикуляк, М. Малік та І. Баланюк. Проте в їхніх роботах не розглядаються детально сучасні підходи, що базуються на програмуванні.

Як показує аналіз, сучасні методи розв'язання проблеми дискретної оптимізації транспортних процесів, що відбуваються в логістичних системах, не є досконалими і не дають однозначного рішення. Особливо це стосується оптимізації транспортних маршрутів, яка є предметом багатьох наукових досліджень [2, с. 55], автори проводять огляд існуючих методів і моделей оцінки ефективності транспортних і різних видів логістичних операцій у ланцюзі поставок. Згідно з їхнім аналізом, на сьогодні не існує єдиного підходу, який би адекватно оцінював ефективність відповідних процесів [2, с. 55]; на відміну від [2, с. 55], в роботі [3, с. 10] автори провели детальний аналіз впливу різних методів оптиміза-

ції на розв'язання задач доставки вантажів в умовах невизначеності попиту. Крім того, в [3, с. 10] порівнюються кілька логістичних стратегій, що використовуються транспортними компаніями, і визначається найбільш ефективна з них з точки зору успіху.

Модель розв'язання багатоцільової задачі маршрутизації транспортних засобів в умовах обмеженого часу була запропонована в [4, с. 13]. Задача розв'язується за допомогою модифікованого генетичного алгоритму. Оптимальним рішенням тут є компроміс між вартістю перевезення вантажів та розміром автопарку, необхідного для обслуговування клієнтів. В роботі [5, с. 55] автори досліджують процес транспортування вантажів у мережевому представленні з метою вдосконалення існуючих методів визначення оптимальних характеристик транспортних мереж. Встановлено вплив показників структури мережі, напрямку руху та пропускної здатності транспортних комунікацій на визначення фактичної щільності руху на стаціонарній транспортній мережі.

У роботі [6, с. 450] запропоновано новий алгоритм, який може виконувати процедуру оптимізації, враховуючи пропускну здатність кожного ребра графа, одночасно розглядаючи всі шляхи між вершинами графа. Метод базується на представленні графа у вигляді електричної мережі, кожна ділянка якої має певний опір, що характеризує відповідну пропускну здатність. Також, на думку авторів [6, с. 450], запропонований метод може концентруватися переважно на обчисленнях проблемної області та областей з високорівневою структурою.

Це дозволяє більш ефективно використовувати обчислювальний час, не витрачаючи його на розв'язання несуттєвих задач, які потребують громіздких обчислень. Однак глибший аналіз методу [6, с. 456] показує, що тут розв'язання задачі дискретної оптимізації може бути зведене до розв'язання задачі лінійного алгоритму, пов'язаної з розв'язанням відповідних одночасних лінійних рівнянь певної розмірності. Тому, принаймні тут, пошук методів розв'язання систем рівнянь якомога більшої розмірності при заданих обчислювальних ресурсах залишається актуальним.

Наведений вище аналіз літератури показує, що на сьогоднішній день існує досить великий набір моделей і методів, які використовуються для побудови оптимальних маршрутів доставки вантажів. Однак більшість з них застосовуються для розв'язання дискретних задач оптимізації маршрутів в задачах транспортної логістики невеликої

розмірності і є статичним представленням транспортної мережі без урахування реальної динаміки транспортних потоків в РСМ. На противагу цьому, результати нашого аналізу показують перспективність використання методу самоорганізації мурашиних колоній, модифікованого згідно з [7, с. 51], для оптимізації маршрутів доставки вантажів в умовах нестационарної динаміки транспортних потоків високої щільності.

Аналіз наявних методів оптимізації логістичних маршрутів. Традиційні підходи до оптимізації маршрутів доставки вантажів базуються на мінімізації функції витрат на основі відстані. Нові підходи також використовують час як цільову функцію для мінімізації.

Економія транспортних витрат має велике значення як для логістичних компаній, так і для суспільства в цілому. Ключовим питанням у мінімізації транспортних витрат є те, як науково правильно вибрати та оцінити постачальників логістичних послуг. Оцінка транспортної ефективності є важливим фактором для розгляду постачальників логістичних послуг [8, с. 50].

Оцінка ефективності транспорту – це оцінка ефективності транспортної діяльності та процесів. Як правило, вона передбачає прийняття певної системи показників, дотримання певних процедур і використання якісних і кількісних методів для визначення загальної ефективності та результативності транспортної діяльності та процесів за певний період часу, таким чином виконуючи єдині критерії оцінки. Оцінка ефективності транспорту є важливим кроком для логістики та інших пов'язаних з нею бізнесів. Оцінюючи ефективність транспорту, логістичні компанії можуть оптимізувати процеси та покращити економічні вигоди [9, с. 54].

Оптимізація маршрутів передбачає використання спеціалізованих програмних засобів для створення оптимальних маршрутів для вантажних перевезень. Це програмний продукт для моделювання логістичних систем з урахуванням різних факторів, таких як:

- відстані;
- час у дорозі;
- завантаження транспортних засобів;
- дорожнє покриття і транспортна інфраструктура;
- кількість і розмір вантажів;
- дорожній рух і погодні умови.

Для вирішення проблеми організації раціональної взаємодії транспортних процесів з процесами виробництва, логістики і систем споживання,

а також взаємодії окремих видів транспорту необхідно розглядати загальну інтегровану транспортно-технологічну систему. Це гарантує вищу загальну ефективність порівняно з загальною ефективністю окремих частин.

Економічна ефективність транспортного процесу оцінюється за допомогою регіональних, інтегральних, натуральних та економічних показників, а також показників позатранспортних ефектів. Локальні критерії ефективності використовуються, коли порівнювані транспортні заходи відрізняються за одним показником [10, с. 1086].

Інтегровані показники ефективності використовуються, коли заходи, що впроваджуються, одночасно змінюють декілька характеристик транспортного процесу. Технічні параметри транспортного процесу часто використовуються як локальні або часткові показники ефективності [11, с. 25].

Більшість науковців використовують мінімум витрат як критерій оптимізації, хоча в деяких випадках пропонується також максимізація обсягу перевезень і прибутку. Однак в умовах мінливого попиту мінімізація витрат не дає загальної картини успішності системи [12, с. 335].

Розглянемо обрані методи оптимізації логістичних маршрутів.

Метод найближчого сусіда. Метод найближчого сусіда було обрано, оскільки він є одним з найпростіших варіантів для розрахунків в операційних дослідженнях. Процедури цього методу відносно часто використовуються на практиці саме тому, що вони не змінюються в процесі розрахунку і є простішими та чіткішими. Ще однією перевагою є те, що цей метод можна використовувати для пошуку оптимального рішення проблеми обігу за відносно короткий час. Зазвичай цей метод не обмежується кількістю розподільчих станцій. Однак добре відомо, що чим більший розмір транспортної задачі, тим складнішою стає процедура пошуку оптимального рішення. У наших розрахунках це ідеально підходить для матриць розміром від 7x7 до 26x26, оскільки ми намагаємося застосовувати розрахунки як до простіших розрахунків, так і до більш складних кругових задач [13, с. 425].

Метод апроксимації Фогеля. Метод апроксимації Фогеля займається пошуком оптимального рішення з урахуванням співвідношення індексів цін. Цей метод завжди порівнює два найнижчі індекси цін як у стовпці, так і в рядку. Ці відмінності використовуються для оцінки того, в якому ящику невдача заповнення найдешевшим варіан-

том мала б найгірший вплив на загальний результат [14, с. 78].

На першому етапі процедури апроксимаційного методу Фогеля розраховуються різниці двох найменших показників для кожного рядка та стовпця. Індивідуальні відмінності записуються у зовнішню частину таблиці. Для кожного рядка значення записується зліва після таблиці, а для кожного стовпця значення записується під таблицею. Тоді найбільша різниця вибирається з обчислених, і тепер вона позначає площу для наступної процедури розрахунку [15, с. 114].

Наступним кроком у вибраній області, тобто стовпці чи рядку, є пошук поля з найнижчою ставкою. Потім ця клітинка замінюється на найвище можливе значення. Максимальне значення залежить від обмежувальних умов, які зазвичай записуються в останньому стовпці та рядку сформованої матриці. У цій статті модифікована версія методу апроксимації Фогеля представляє основний використаний метод. Цей метод не враховує жодних обмежень щодо потужностей або цін. Метою розрахунку модифікованої версії цього методу є знаходження найкоротшої відстані, завдяки якій транспортна задача може бути закрита [16, с. 204].

Виклад основного матеріалу. Процедура обчислення методом найближчого сусіда спочатку вимагає формування матриці індивідуальних відстаней. Ці відстані завжди беруться від однієї розподільчої станції до іншої, тобто від одного споживача до іншого, з урахуванням усіх можливостей.

Відстані завжди вносяться в матрицю в обох напрямках згідно з наступними правилами, які наведені в табл. 1. Обидва напрямки необхідно враховувати, оскільки міста, що розглядаються, найімовірніше, пересуваються дорогами з одностороннім рухом, що суттєво обмежує операції та впливає на відстані між окремими пунктами [17, с. 45].

Таблиця 1

Правила матриці – метод найближчого сусіда

	V_1	V_2
V_1	0	Відстань від V_1 до V_2
V_2	Відстань від V_2 до V_1	0

При створенні матриці відстаней необхідно вибрати початкову точку. Для розрахунків у цій статті початковою точкою завжди є точка V_1 , яка є маркером обраного місця розташування підприємства.

Наступним кроком є пошук найближчого до цієї точки пункту дистрибуції. З точки V_x , до якої перемістився розрахунок, ми знову потрапляємо в рядок з такою ж міткою. Там, у рядку матриці, знову знаходимо найближчу ненульову відстань. Просування не відбувається, оскільки нульові відстані показуються тільки там, де знаходиться одна і та ж станція розвантаження.

Наступне правило полягає в тому, що всі станції повинні бути пройдені до повернення на початкову станцію. Ця процедура повторюється до тих пір, поки кожен стовпець і кожен рядок не досягне заданої точки рівно один раз. В результаті, кількість кілометрів, пройдених під час розв'язання задачі про переміщення, є сумою всіх вибраних відстаней. У цьому документі ці значення будуть виділені в таблиці блакитним кольором [18, с. 125].

Розрахунок кращих і ефективніших маршрутів починається за допомогою методу найближчого сусіда. Цей метод має чіткі правила, він не є надто складним і тому підходить для визначення перших пропозицій нових оптимізованих маршрутів. Загальна процедура розрахунку за методом найближчого сусіда наведена в теоретичній частині цієї статті в розділі «Методологія роботи», тому ми будемо мати справу лише з окремими маршрутами із заданими значеннями.

Першим кроком для розрахунку нового маршруту є формування матриці відстаней між окремими точками. У матриці окремі зупинки задані за допомогою їх міток V_x . Є така найкоротша дистанція, коли пробігається найменше кілометрів. Кожна комбінація двох місць надається зі значеннями в обох напрямках [19, с. 15].

Цей факт необхідний, тому що в центрах міст часто зустрічаються односторонні вулиці та інші обмеження, які необхідно враховувати. Для визначення індивідуальних відстаней використовувалася Інтернет-карта з планувальником маршрутів. Значення, записані в матрицю, виражаються в кілометрах (табл. 2).

У понеділок кількість розвантажень через станції найменша, відповідно матриця відстаней найменша, а розрахунок за методом найближчого сусіда найлегший з усіх маршрутів. Остаточний оптимізований маршрут виходить з точки V_1 і продовжується так: $V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7 \rightarrow V_6 \rightarrow V_1$. На цьому маршруті проїхано 60,3 кілометрів.

Першим кроком процедури в цій статті є коригування матриці відстані, яка була сформована в попередньому методі. Відбудеться зміна на головній діагоналі, де знаходяться 0s. Ці нульові зна-

Таблиця 2

Розрахунок за методом найближчого сусіда (день тижня – понеділок)

	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_1	10,6	11,6	22,2	24,5	29,1	26,0
	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	
V_2	1,1	11,9	14,2	18,9	15,8	
	V_4	V_5	V_6	V_7		
V_3	10,9	13,2	17,8	14,9		
	V_5	V_6	V_7			
V_4	4,1	7,8	4,9			
	V_6	V_7				
V_5	7,2	4,8				
	V_6					
V_7	4,3					

Таблиця 3

Побудова опорного плану (1 етап)

Замовники \ Відправники	30	10	15	Штрафи
25	4	2	5	$ 4 - 2 = 2$
30	6	3	1	$ 3 - 1 = 2$
Штрафи	$ 4 - 6 = 2$	$ 2 - 3 = 1$	$ 5 - 1 = 4$	

Таблиця 4

Побудова опорного плану (2 етап)

Замовники \ Відправники	30	10	15	Штрафи
25	4	2	5	$ 4 - 2 = 2$
30	6	3	15	$ 6 - 3 = 3$
Штрафи	$ 4 - 6 = 2$	$ 2 - 3 = 1$		

чення буде змінено на X. Оскільки немає обмежень щодо пропускної спроможності в заданих маршрутах розподілу, ми шукатимемо два найменших значення відстаней у кожному стовпці та рядку.

Для обчислення різниці використовуються два найменших значення. Потім ця різниця буде записана у зовнішню частину таблиці так само, як і у випадку стандартного методу. Кроки виконуються для всіх стовпців і рядків, і з обчислених різниць буде вибрано різницю найбільшого значення. У порівнянні зі стандартним методом апроксимації Фогеля, де тепер слідував би вибір найменшої швидкості та заповнення максимуму обмежувальними умовами, у вибраній області буде обрана комірка з найменшим значенням відстані. Ця процедура повторюється, поки не буде закрита вся транспортна проблема [20, с. 161].

Щоб побудувати опорний план, близький до оптимального, необхідно, наприклад, обчислити різницю між двома найменшими числами в кожному рядку і стовпчику (табл. 3).

Потім обирається той, що має найбільшу кількість (різницю) розрахованих штрафів. У випадку таблиці 1 це номер 4. Потім вибира-

ється рядок, що відповідає цій різниці, і з нього береться найменше число. Якщо найбільша різниця знаходиться в певному рядку, пошук здійснюється в цьому рядку. Якщо штрафи однакові, то до уваги беруться значення стовпців [21, с. 68]. Таким чином, після знаходження мінімального значення в рядку/стовпчику, що відповідає максимальному штрафу, на його місце вводиться максимальне значення вантажу відправлення (табл. 4).

Якщо замовник отримує очікувану кількість товару, цей рядок/стовпець виключається з побудови опорного плану. Розрахунок продовжується, але штраф має бути розрахований знову для нової матриці витрат [22, с. 101]. Цей процес повторюється до тих пір, поки всі товари не будуть розподілені (табл. 5, 6).

Коли залишиться один рядок/стовпчик (табл. 5), він заповнюється різницями того, що потрібно доставити:

$$30 - 10 - 15 = 5; 30 - 5 = 25.$$

В результаті всіх операцій буде отримано наступний опорний план.

Таблиця 5

Побудова опорного плану (3 етап)

	Замовники	30	10	15	Штрафи
Відправники	25	4	2	5	
	30	6	10	15	
Штрафи		$ 4 - 6 = 2$			

Таблиця 6

Опорний план за методом Фогеля

	Замовники	30	10	15
Відправники	25	25	0	0
	30	5	10	15

Сума витрат для даного плану становить:

$$S = 100 + 0 + 0 + 30 + 30 + 15 = 175,$$

де S – сума витрат.

У більшості випадків цей план є неоптимальним і слід застосовувати методи подальшої оптимізації транспортної задачі, але є випадки, коли метод Фогеля часто є оптимальним транспортним планом. У цьому прикладі (табл. 6) метод Фогеля застосовується до класичної матриці витрат.

Однак, щоб використати його для нечітких – потрібно модифікувати наступним чином:

1. Нечітка вартість: транспортні витрати виражаються у вигляді нечітких чисел (наприклад, трикутників або трапецій).

2. Розрахунок нечітких різниць витрат: для кожного рядка і стовпця розраховуються нечіткі різниці витрат, як і в класичному методі, але

з використанням операцій над нечіткими числами.

3. Відбір комірок за нечіткою вартістю: на основі визначених пріоритетів вибирається комірка з найменшою нечіткою вартістю;

4. Розподіл на основі нечіткості: товари розподіляються на основі нечітких значень попиту та пропозиції;

5. Коригування таблиці: застосовується нечітка корекція попиту та пропозиції [23, с. 189].

Метод Фогеля для нечітких витрат дозволяє ефективно впоратися з невизначеністю в задачі оптимізації транспортних витрат, зберігаючи при цьому переваги класичного підходу.

Висновки. В роботі досліджено методи оптимізації маршрутів для зменшення витрат при перевезенні вантажів автомобільним транспортом. Оптимізація логістичних шляхів у вантажних автоперевезеннях – це дієвий засіб для зменшення витрат та збільшення продуктивності перевезень. Завдяки застосуванню найновіших алгоритмів, систем моніторингу й інтеграції з іншими складовими логістики, можна досягти відчутних результатів у зниженні витрат палива та часу, а також поліпшенні екологічних показників. Щоб досягти потрібних результатів, було необхідно сформулювати достатню базу експертних знань, працюючи з літературою. Для оптимізації одного маршруту було використано метод найближчого сусіда, що спростило обчислення. За допомогою методу апроксимації Фогеля було змінено 3 з 5 маршрутів розподілу. Це означає, що метод апроксимації Фогеля виявився ефективнішим, ніж метод найближчого сусіда.

Список літератури:

1. Босняк М. Г. *Вантажні автомобільні перевезення*. Київ : ВД Слово, 2010. 408 с.
2. Lukinskiy V., Dobromirov V. Methods of evaluating transportation and logistics operations in supply chains. *Transport and Telecommunication*. 2016. Vol. 17. P. 55–59.
3. Balasescu S., Balasescu M. Optimization methods for supply chain activities. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series V: Economic Sciences*. 2014. Vol. 7(56). P. 9–16.
4. Qingyou Y., Zhang Q. The optimization of transportation costs in logistics enterprises with time-window constraints. *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2015. Vol. 2015. P. 10–15.
5. Prokudin G., Chupaylenko O., Dudnik O., Dudnik A., Omarov D. Improvement of the methods for determining optimal characteristics of transportation networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 6/3(84). P. 54–61.
6. Harvey H. S. The transportation problem and the Vogel approximation method. *Decision Sciences*. 1970. Vol. 1, Issue 3–4. P. 441–457.
7. Глазкова А. С. Індустріальнологістична інфраструктура як основа інноваційної модернізації економіки. *Економіка та управління національним господарством*. 2016. Вип. 2. С. 49–52.
8. Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. *Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Посібники*. URL: http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t2/zm2.html (дата звернення: 03.03.2025).
9. Charnes A., Cooper W. W. The stepping stone method of explaining linear programming calculations in transportation problems. *Management Science*. 1954. Vol. 1. P. 49–69.

10. Wang X., Chen Y., Zhang L. Construction of a system for evaluating the efficiency of transport of logistics companies. *Journal of Industrial Engineering and Management*. 2013. Vol. 6, no. 4. P. 1084–1104.
11. Бойченко М. В. Проблеми транспортної логістики вантажних перевезень в Україні. *Вісник економічної науки України*. 2018. № 2(35). С. 22–26.
12. Zhaoyuan W., Huanlai X., Tianrui L. A modified ant colony optimization algorithm for network coding resource minimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2016. Vol. 20(3). P. 325–342. DOI: 10.1109/TEVC.2015.2496839.
13. Danchuk V., Bakulich O., Svatko V. An Improvement in Ant Algorithm Method for Optimizing a Transport Route with Regard to Traffic Flow. *Procedia Engineering*, 2017. V. 187. P. 425–434.
14. Данчук В. Д., Сватко В. В. Оптимізація пошуку шляхів по графу в динамічній задачі комівояжера методом модифікованого мурашиного алгоритму. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2012. № 2. С. 78–86.
15. Воркут Т. *Системні методи керування, технологія та організація виробництва і експлуатації автомобілів : тенденції розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень в Україні*. 7-ме вид. Київ : НТУ, ТAU, 2010. 114 с.
16. Негода А., Русак Д. *Міжнародна логістика та глобальні ланцюги постачань : навчальний посібник у схемах*. Київ, 2023. 268 с.
17. Сокур І. М., Сокур Л. М., Герасимчук В. В. *Транспортна логістика : навч. посіб.* Київ : Центр навчальної літератури, 2019. 220 с.
18. Полякова О. М., Шраменко О. В. Сучасні тенденції розвитку транспортно-логістичної інфраструктури в Україні і світі. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2017. Вип. 58. С. 126–134. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vetp_2017_58_17.
19. Савицький Е. Вплив оптимізації логістичних процесів на ефективність комерційної діяльності підприємств. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 52. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-47>
20. Шатрова І. А., Демидова О. О., Матвієвський С. В. Алгоритм оптимального розв'язання ресурсної задачі з використанням методу потенціалів транспортної задачі лінійного програмування. *Наука та освіта : збірник праць XVI Міжнародної наукової конференції, 4–11 січня 2022 р., м. Хайдусобосло, Угорщина*. Хмельницький : Наука та освіта, 2022. С. 161–164.
21. Hanzl J., Bartuska L., Rozhanskaya E., Prusa P. Application of Floyd's algorithm on transport network of South Bohemian Region. *Communications: Scientific Letters of the University of Žilina*. 2016. Vol. 18(2). P. 68–71. ISSN 1335-4205.
22. Россолов О. До питання про критерій вибору раціональної схеми доставки вантажу. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2006. Т. 6, вип. 37. С. 101–102.
23. Stopka O., Černá L., Zitrický V. Methodology for measuring the customer satisfaction with the logistics services. *Nase More*. 2016. Vol. 63(3). P. 189–194. <https://doi.org/10.17818/NM/2016/SI21>.

Дата надходження статті: 25.11.2025

Дата прийняття статті: 15.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025