

Гандзюк М.О.

*Луцький національний технічний університет***ПОШУК ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ У ГЕТЕРОГЕННИХ ДИНАМІЧНИХ
АВТОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ**

Завдання підвищення ефективності вантажних автомобільних перевезень особливої актуальності набуває в сучасних економічних умовах, що визначаються як динамічно нестабільні та з високою часткою невизначеності в інформаційних ситуаціях прогнозування розвитку галузі. Ключовим елементом в організації транспортного процесу вантажних автомобільних перевезень є маршрутизація руху рухомого складу як сукупність процедур вибору оптимальних характеристик маршруту руху, що визначають ефективність їх організації при оперативному плануванні перевезень.

Завдання маршрутизації стає особливо актуальним при багатоваріантності і багатоаспектності розподілу вантажних потоків в умовах, що динамічно змінюються. У цьому випадку завдання оптимальної маршрутизації може бути вирішене лише на основі розробки спеціалізованого математичного апарату - аналітичного інструменту прийняття ефективних рішень.

Тому можна стверджувати, що затребуване практикою завдання оптимізації процесів маршрутизації в динамічно змінюваному середовищі є таким, що потребує системного вирішення у динамічно змінних умовах оперативного планування автомобільних вантажних перевезень. Це дозволить системно, з урахуванням критеріїв та факторів, що динамічно змінюються, керувати комерційною експлуатацією рухомого складу вантажних автотransпортних підприємств.

Ключові слова: оперативне планування, гетерогенна динамічна транспортна система (ГДТС), вантажні автомобільні перевезення (ВАП), маршрутизація, багатокритеріальна оптимізація, інтелектуальні транспортні системи, математичне моделювання, метод DEA (Data Envelopment Analysis), ефективність, інформаційна невизначеність, цифрові алгоритми управління.

ВСТУП

Вирішення проблеми ефективної організації процесу вантажних автомобільних перевезень (ВАП) є одним із пріоритетних завдань, затверджених у Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року [1]. Незважаючи на високу питому вагу автомобільного транспорту (АТ) у транспортній системі України, рівень застосовуваних технологічних процесів та методів організації ВАП значно поступається іншим видам транспорту. Більшою мірою проявляється відставання у рівні застосовуваних технологічних процесів у порівнянні з розвиненими країнами Європи та США, що негативно позначається як на об'ємних, так і на економічних показниках ефективності ВАП.

Завдання підвищення ефективності ВАП особливої актуальності набуває в сучасних економічних умовах, що визначаються як динамічно нестабільні та з високою часткою невизначеності в інформаційних ситуаціях прогнозування розвитку галузі. Ключовим елементом в організації транспортного процесу ВАП є маршрутизація руху рухомого складу (РС) як сукупність процедур з вибору оптимальних характеристик шляху, що визначають ефективність організації маршрутів при оперативному плануванні ВАП.

В даний час процеси оперативно-виробничого планування вантажних автомобільних перевезень відбуваються в умовах, коли результативні показники ВАП можуть змінюватися в процесі однієї їздки автомобіля через зміни в інформаційному середовищі взаємовідносин «споживач-перевізник». В даних умовах виникає необхідність підвищення ефективності маршрутизації, що полягає у можливості зміни схеми маршруту в «онлайн» режимі із застосуванням керуючих алгоритмів, перетворених у цифрові формати.

Саме тому пошук оптимальних рішень у неоднорідних динамічних автотransпортних системах при оперативно-виробничому плануванні перевезень вантажів з урахуванням декількох критеріїв ефективності є досить актуальним завданням.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Будь-які процеси оптимізації роботи транспортно-логістичних систем ускладнюються характерними особливостями об'єкта управління - транспортного потоку, що має такі властивості як стохастичність, нестационарність, інерційність, відсутність взаємопов'язаності елементів та наявність нестійкості зв'язків. Транспортна наука постійно шукала нових технологічних прийомів ефективного управління таким нестабільним об'єктом. Системи управління транспортно-логістичними системами розвивалися від моделей жорсткого локального однопрограминого регулювання до автоматизованих

систем управління. В даний час декларується необхідність застосування принципів штучного інтелекту, тобто перетворення транспортно-логістичних систем в інтелектуальні транспортні системи, що використовують алгоритми самонавчання та системи на основі моделей обробки великих баз даних та нейромережових технологій [2].

Цей підхід набув широкого поширення за кордоном, але вимагає змін як у структурі управління вантажними автомобільними перевезеннями, так і у способах їх організації. Наприклад у США наземна транспортна інфраструктура історично управлялася різними організаціями зі своїми специфічними цілями і завданнями. Управлінські структури мали різні розміри та зони відповідальності [3]. Вже в середині 1990-х рр. минулого століття були розроблені національні стандарти для окремих систем управління магістралями та суміжним системам. Прийнятий у 1991 р. конгресом США документ Intermodal Surface Transportation Efficiency Act (ISTEA) був основою розвитку наземного транспорту в усіх його аспектах. З 1998 р. структура систем керування транспортом у США підпорядковується документу Transportation Equity Act for the 21st Century (TEA-21), в якому визначено функціональний поділ за специфічними секторами: інтелектуальні АТС (Intelligent Vehicle Initiative), міська інфраструктура (Metropolit), позаміська інфраструктура (Rural Infrastructure), комерційний транспорт (Commercial Vehicle Infrastructure).

Питання інтеграції цих всіх систем у єдине управління набув розвитку у зв'язку зі зростанням можливостей застосування обчислювальної техніки та засобів комунікації для створення цифрових сервісів управління рухом всіх видів транспорту [4] та [5]. З кожним роком цей напрямок поєднання бізнесу та технологічних можливостей отримує все більший розвиток [6], [7] та [8]. У 2006 р. було розроблено "Посібник зі скоординованої експлуатації автострад і магістралей" (Coordinated Freeway And Arterial Operations Handbook) [9].

Основним принципом управління в даному документі є формування «коридорів» або ділянок магістралей з високим ступенем передбачуваності та надійності параметрів переміщення транспортних засобів по деяких територіях. При формуванні процедур інтегрованого управління «коридорами» реалізується загальносистемний підхід (загальна теорія систем) з наступною їх трансформацією в процедури управління, характерні для складних систем (теорія складних систем).

В даний час у процесах розробки інтелектуальних транспортних систем в США визначилася тенденція переходу до «активного управління» (Active Traffic Management) [10], [11] і [12], що передбачає математичне моделювання параметрів впливу на транспортний потік окремих автотранспортних засобів і на основі сукупних оцінок прогнозування параметрів транспортного потоку в цілому [13]. Цей підхід вимагає при координації керуючих дій створити єдину інформаційно-комунікаційну мережу, кожен елемент якої повинен співвідносити свої дії із загальною концепцією управління.

Таким чином, поняття «одиниця управління» переноситься з усього транспортного потоку на окремих об'єкт (окрема партія вантажу, окремих транспортний засіб, окремих пасажир).

Дана інтеграція об'єктів інтелектуальної транспортної системи містить велику кількість видів і типів зв'язків [14]. Процес управління в інтелектуальній транспортній системі вимагає створення єдиної системи управління інформаційними потоками та розробки об'єктно-орієнтованих моделей управління у транспортній мережі, що формують оптимальні траєкторії переміщення окремих об'єктів. Таким чином, необхідно розробляти алгоритми управління, засновані на аналітичних моделях і алгоритми теорії інформаційної взаємодії, які здатні підтримувати необхідну ємність і цілісність взаємодії між об'єктами інтелектуальної транспортної системи.

Для розв'язання цього завдання необхідна розробка математичних моделей розв'язання багатокритеріальних завдань, які можна використати у ГДТС, що дозволять оперувати великими базами даних за умов невизначеності навколишнього середовища.

Рішення будь-якої оптимізаційної задачі, спрямованої на визначення оптимального варіанта дій у системі, зазвичай, починають із вибору критерію чи критеріїв ефективності. Це важливий етап, оскільки неправильний вибір параметрів ефективності може призвести до прийняття абсолютно необ'єктивних, а отже, неефективних рішень у ГДТС. Однак на практиці при вирішенні системних завдань в умовах багатокритеріальності, як правило, роблять принципову помилку, реалізуючи компромісний підхід: багатокритеріальні інформаційні ситуації штучно зводять до однокритеріальних.

У результаті, коли багатокритеріальна задача зводиться до однокритеріальної і оптимізація процесів управління в ГДТС ведеться за єдиним критерієм, рішення можуть виявитися прийнятними, але не бути оптимальними.

Важливою роботою в галузі розвитку теорії складних систем (ТСС) вважається дослідження Hiroki Sayama [15], згідно з яким ТСС об'єднує цілий науковий напрямок, у тому числі і загальну теорію систем (ЗТС) і є більш загальною відповідно до класичних підходів системного аналізу. Структура ТСС показана на рисунку 1 [15].



Рисунок 1 - Структура теорії складних систем (ТСС)

ГДТС, будучи складною системою, належить до класу динамічних систем. Теорія динамічних систем (ГДТС) сьогодні займає особливе місце у ТСС, виходячи з її визначення. ГДТС - це система, стан якої визначається набором законів цілеспрямованої зміни параметрів системи [16]. На рисунку 2 наведено структуру складних систем, ознаки яких наявні у ГДТС.



Рисунок 2 - Орієнтовна структура складних систем

Як будь-яка складна система ГДТС потребує вміння обробки «великих масивів даних», що визначається наявністю великого обсягу самих оброблюваних даних.

Тому при формуванні моделі та методів оптимізації в ГДТС необхідно:

- формалізувати складність ГДТС, спираючись на інформаційні стани системи;
- вибрати критерії подільності ГДТС, які враховують гетерогенність елементів системи;
- розробити інструменти управління та оптимізації функціонування в ГДТС з урахуванням потенційних можливостей існуючих методів теорії прийняття рішень;
- розробити аналітичну модель та алгоритм для визначення оптимальних маршрутів при оперативно-виробничому плануванні перевезень на основі інтеграції в задачу динамічного програмування результатів вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації при виборі керуючої дії для кожного дискретного стану ГДТС.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є пошук оптимальних рішень у неоднорідних динамічних автотранспортних системах при оперативно-виробничому плануванні перевезень вантажів з урахуванням декількох критеріїв ефективності.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Активне впровадження інформаційно-комутативних (цифрових) технологій в сучасну практику

проектування транспортно-логістичних систем вимагає розвитку теоретичних основ формування оптимізаційних математичних моделей і програмного забезпечення на їх основі, що дозволяє визначати всі компоненти та їх ефективність у складних гетерогених динамічних транспортних системах. При цьому необхідні аналітичні інструменти для обробки більших обсягів даних: аналітичні аналоги нейронних мереж, алгоритми штучного інтелекту та ін.

Так як гетерогена динамічна транспортна система є складною системою, що визначається великою сукупністю формалізованих показників (баз даних), то для пошуку ефективних рішень необхідно враховувати велику кількість критеріїв, як обов'язкових ознак ефективності. Отримання достовірних рішень у багатокритеріальних інформаційних ситуаціях завжди викликає труднощі, що носять об'єктивний характер.

Сучасні математичні моделі пошуку ефективних рішень у гетерогених динамічних транспортних системах штучно зводять багатокритеріальні інформаційні ситуації до однокритеріальних. Цей підхід має важливий недолік - отримане рішення може бути прийнятним, але з необ'єктивним результатом. Тому необхідна розробка математичних моделей розв'язання багатокритеріальних задач у гетерогених динамічних транспортних системах, що дозволяють оперувати великими базами даних за умов невизначеності.

Важливою умовою, що висувається до методів розв'язання завдань у гетерогених динамічних транспортних системах, є необхідність працювати з великою кількістю «вхідних параметрів». Розглянемо можливість обробки «великих баз даних» з допомогою методів, побудованих на на моделях теорії прийняття рішень. Прикладом цього підходу може бути широко використовуваний метод вимірювання формальної ефективності або аналізу середовища функціонування - Data Envelopment Analysis (DEA), заснований на побудові межі ефективності [17, 18]. Цей метод було запропоновано 1978 року американськими вченими A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes [19], які у свою чергу спиралися на ідеї M.J. Farrell. Цей метод застосовується для визначення ефективності в соціально-організаційних системах для однорідних об'єктів. Сутність методу полягає у визначенні розбіжності між відношенням результатів та виробничих можливостей досліджуваного об'єкта. Межі виробничих можливостей, як правило, невідомі а їх визначення виконується або за допомогою методу DEA, або на підставі емпіричних даних, включених у вибірку дослідження [20].

Межі виробничих можливостей показують альтернативне (максимально можливе рішення) за наявних ресурсів досліджуваної системи. Метод DEA сьогодні активно вдосконалюється та розвивається. Він може застосовуватися в різних сферах діяльності і спрямований на підвищення ефективності їх систем функціонування, а значить на дослідження можливостей складних систем.

Цей метод має низку незаперечних переваг. Він дозволяє:

- 1) одночасно обробляти досить багато «вхідних» і «вихідних» параметрів, кожен з яких може визначатися в різних одиницях виміру;
- 2) враховувати вплив середовища на аналізовану складну систему, тобто змінні фактори, зокрема зовнішнього середовища;
- 3) не вимагає апріорного визначення коефіцієнтів відносної важливості або вагових коефіцієнтів для змінних показників, що є «вхідними» та «вихідними» параметрами в задачах оптимізації;
- 4) не накладати обмеження на функціональну форму залежностей між «вхідними» та «вихідними» параметрами;
- 5) при необхідності враховувати переваги або пріоритет, що стосуються значущості тих чи інших «вхідних» або «вихідних» параметрів;
- 6) проводити конкретну оцінку необхідних змін «вхідних» або «вихідних» параметрів, які дозволять наблизити неефективні об'єкти дослідження до певної межі ефективності;
- 7) формувати Парето-оптимальну множину, яка відповідає ефективному стану об'єкта;
- 8) концентруватись на виявленні "best practice" за допомогою об'єктивних аналітичних методів теорії прийняття рішень, а не на суб'єктивних прогностичних тенденціях "трендах", які отримуються при застосуванні методів регресійного або кореляційного аналізу.

Важливою властивістю методу DEA є можливість визначення множини Парето або множини ефективних планів.

Недоліком методу DEA є процедура визначення меж виробничих можливостей об'єкта системи на підставі емпіричних даних. Розв'язання цієї задачі лежить у галузі математичного прогнозування можливих максимально ефективних рішень. Як правило, це завдання є багатокритеріальною нелінійною багатовимірною задачею оптимізації, що вирішується наступним чином:

- вводиться параметр логарифмічної надійності

$$P = \ln(P); (1)$$

- визначається критерій оптимальності у лінійній формі

$$P_{cp} \frac{\sum_l (\sum_{\mu_l} P_k + \sum_{\mu_l} P_{ij})}{\ln \sum_{ij} r_{ij}} = \sum_l \beta_l x_l, \quad (2)$$

де β_l - константи, що визначають структуру системи.

Для вирішення багатокритеріальної задачі в умовах стохастичної невизначеності будується лінійна залежність критеріїв оптимізації

$$J_j(x) = K_1 C(x) - K_2 P_{cp}(x) - K_3 P_3(x), \quad (3)$$

де K_1, K_2, K_3 - вагові коефіцієнти.

Для вирішення багатокритеріальної задачі в умовах стохастичної невизначеності при вирішенні завдань, пов'язаних з неточною інформацією, можливе застосування методів лінійного програмування на основі методу районування за принципом дотримання ієрархічного співвідношення ймовірностей можливих станів зовнішнього середовища (СЗС).

Для цього сформуємо матрицю ефективностей можливих дій при різних станах зовнішнього середовища, що характеризується трьома основними поняттями:

m - число дій;

n - кількість критеріїв;

E_{ij} - ефективність i -ої дії для j -го критерію, $i = \overline{1, m} \quad j = \overline{1, n}$.

При вирішенні практичних завдань, що виникають у процесі управління автомобільним транспортом, в основному використовуються наступні критерії ефективності:

- 1) максимум перевезеного обсягу вантажу;
- 2) максимум виконаної транспортної роботи;
- 3) максимум прибутку, отриманого від перевезення вантажу;
- 4) мінімум витрат, пов'язаних із виконанням перевезень;
- 5) мінімум використаних на перевезеннях автомобілів;
- 6) максимум середнього коефіцієнта використання пробігу;
- 7) мінімум простою автомобілів в ремонті;
- 8) мінімум втрат транспортної роботи у процесі ВАП;
- 9) мінімум витрат часу на виконання перевезень та ін.

Кожен з перерахованих критеріїв має певні переваги і може бути застосований на автомобільному транспорті. Наприклад, у ряді робіт для змінно-добового планування як критерій ефективності пропонується або мінімум витрат транспортної організації на здійснення перевезень, або мінімум витрат часу на виконання заданого обсягу перевезень.

Матриця ефективностей при різних СЗС має вигляд:

$$\|E_{ij}\| = \begin{pmatrix} E_{11} & E_{12} & \dots & E_{1n} \\ E_{21} & E_{22} & \dots & E_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{m1} & E_{m2} & \dots & E_{mn} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Розподіл коефіцієнтів відносної важливості (КВВ) для окремих критеріїв визначається обмеженням:

$$0 \leq k_j \leq 1, \quad j = \overline{1, n}, \quad \sum_{j=1}^n k_j = 1, \quad (5)$$

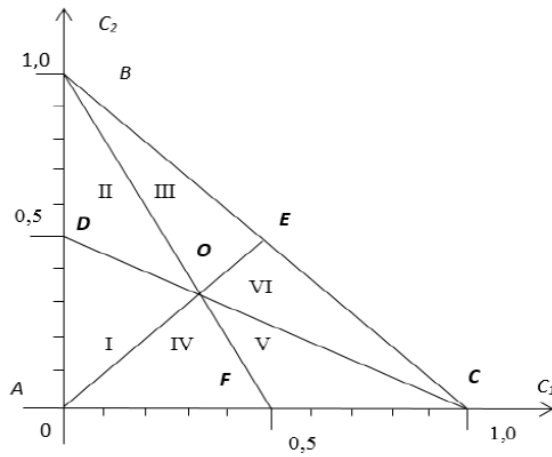
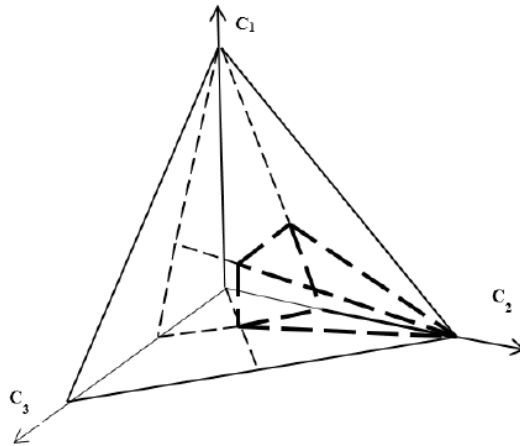
чи

$$\sum_{j=1}^{n-1} k_j = 1. \quad (6)$$

Нехай значення КВВ підпорядковуються послідовності:

$$k \geq k_2 \geq \dots \geq k_j \geq \dots \geq k_{n-1} \geq k_n. \quad (7)$$

При $n = 3$ поле розподілів КВВ - прямокутний трикутник з одиничними катетами (рисунок 3), а при $n=4$ (рисунок 4) кількість підмножин, кожній з яких відповідає своє співвідношення КВВ, дорівнює $P_4=4!=24$.

Рисунок 3 - Поле розподілів - $k_j \in C$, $P_3=3!=6$ Рисунок 4 - Поле розподілів - $k_j \in C$, $P_4=4!=24$

Згідно з рисунком 3 сформуємо таблиці 1 та 2.

Таблиця 1 - Рівняння сторін та медіан трикутника ABC

Відрізки	Рівняння відрізків
AB	$k_2+k_3=1; k_1=0$
AC	$k_1+k_3=1; k_2=0$
BC	$k_1+k_2=1; k_3=0$
AE	$k_1=k_2; k_1+k_2+k_3=1$
BF	$k_1=k_3; k_1+k_2+k_3=1$
CD	$k_2=k_3; k_1+k_2+k_3=1$

Таблиця 2 - Геометричне поле розподілу КВВ - k_j

Підмножина	Трикутник	Співвідношення КВВ
I	AOD	$k_1 < k_2 < k_3$
II	DOB	$k_1 < k_3 < k_2$
III	BOE	$k_3 < k_1 < k_2$
IV	EOC	$k_3 < k_2 < k_1$
V	COF	$k_2 < k_3 < k_1$
VI	FOA	$k_2 < k_1 < k_3$

З таблиці 2 видно, що це можливі рішення для системи

$$0 \leq k_j \leq 1; \quad k_3 \leq k_2 \leq k_1 \quad (8)$$

знаходяться у підмножині IV.

Цей підхід дозволяє сформулювати алгоритм пошуку максимального ефективного (оптимального) рішення:

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n E_{ij} k_j \rightarrow \max \\ \sum_{j=1}^n k_j = 1, 0 \leq k \leq 1, k_j \geq k_{j+1}, j = \overline{1, n-1} \end{cases}, \quad (9)$$

де

$$k_j = \begin{cases} \frac{1}{c}, \text{ якщо } j = c \\ \frac{\lambda}{c}, \text{ якщо } j < c, \text{ де } \lambda = \frac{n-1}{n}, \\ \frac{1-\lambda}{n-c}, \text{ якщо } j > c \end{cases}, \quad (9)$$

де індекс (с) визначається як $E_{cj} = \max E_{ij}$.

Інтеграція в єдину аналітичну платформу задачі динамічного програмування та розглянутого вище методу районування за принципом ієрархічного співвідношення між ймовірностями дозволить:

- визначати формальну ефективність у ГДТС;
- виконувати обробку великих обсягів даних ГДТС;
- виконувати аналіз середовища функціонування ГДТС із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту з необмеженою кількістю критеріїв чи чинників ефективності.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі обґрунтовано, що підвищення ефективності вантажних автомобільних перевезень є вкрай актуальним завданням у сучасних умовах нестабільності економіки та невизначеності прогнозних сценаріїв розвитку транспортної галузі. Гетерогенні динамічні автотранспортні системи характеризуються складною структурою, стохастичністю, нестационарністю та великою кількістю взаємозалежних параметрів, що ускладнює прийняття ефективних рішень у процесі перевезень.

Визначено потребу у переході до інтелектуальних транспортних систем, які базуються на алгоритмах штучного інтелекту, самонавчанні та роботі з великими обсягами даних, що дозволяє адаптувати маршрутизацію в режимі реального часу.

Запропоновано поєднання методів динамічного програмування та Data Envelopment Analysis (DEA) для багатокритеріального аналізу ефективності. Це дозволяє уникнути спрощень, пов'язаних із редукцією багатокритеріальної задачі до однокритеріальної.

Детально розглянуто підхід до розподілу коефіцієнтів відносної важливості критеріїв (КВВ) та формалізація поля розподілу можливих рішень у вигляді геометричних множин, що дозволяє системно обирати Парето-оптимальні варіанти дій.

ВИСНОВОК

Встановлено, що ГДТС має всі обов'язкові ознаки, характерні для будь-якої складної системи, такі як велика кількість зв'язків та елементів, які відносяться до складних за всіма критеріями ЗТС (загальної теорії систем) і ТСС (теорії складних систем). Дана система вимагає вміння обробки «великих масивів даних», що визначаються наявністю великого обсягу оброблюваних даних, тому при формуванні моделі та методів оптимізації маршрутів у ГДТС необхідно:

- формалізувати складність ГДТС, спираючись на інформаційні стани системи, які, у свою чергу, визначаються можливими внутрішніми та зовнішніми збуреннями;
- визначити критерії подільності ГДТС, які передбачають гетерогенність елементів системи;
- розробити інструменти управління та оптимізації функціонування в ГДТС з урахуванням потенційних можливостей існуючих методів теорії прийняття рішень.

Визначено, що застосування методів теорії прийняття рішень (метод районування) дозволяє вирішити поставлені завдання. При цьому:

- вдається уникнути недоліків евристичних методів одержання інформації з урахуванням думки фахівців-експертів при визначенні вагових коефіцієнтів показників (ВКП);
- процедура отримання ВКП повністю формалізована, а отже, легко реалізується у ПЗ.

Доведено, що необхідним інструментом маршрутизації перевезень є інтеграція задачі динамічного програмування та розглянутого методу районування за принципом ієрархічного співвідношення між ймовірностями в єдину аналітичну платформу, що дозволить:

- визначати формальну ефективність у ГДТС;
- виконувати обробку великих обсягів даних ГДТС;

- виконувати аналіз середовища функціонування ГДТС із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту з необмеженою кількістю критеріїв чи чинників ефективності.

Запропонований підхід дозволяє формувати цілісну аналітичну платформу для прийняття ефективних рішень у сфері вантажних автомобільних перевезень, що охоплює всі аспекти - від стратегічного планування до оперативного реагування.

Для створення методики визначення оптимальних маршрутів у умовах оперативного планування автомобільних вантажних перевезень, що динамічно змінюються, в подальшому повинна бути виконана розробка оптимізаційної аналітичної моделі об'єктно-орієнтованого управління та алгоритмів на її основі:

- алгоритм та ПЗ вирішення задачі динамічного програмування, що реалізують принцип Беллмана, що дозволяють визначати оптимальну траєкторію (маршрут) переміщення вантажу в ГДТС;
- алгоритм та ПЗ вирішення задачі визначення Парето-оптимальних варіантів дій у разі багатокритеріальності у досліджуваній ГДТС;
- інтеграція розроблених алгоритмів та ПЗ у єдиний програмний комплекс.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Схвалено постановою Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1550.
2. US Public Law 105-178 Transportation Equity Act for the 21st Century (TEA-21), 1998.
3. History of Intelligent Transportation Systems // U.S. department of transportation, report FHWA-JPO-16-329, 2016.
4. Нефедова Я.И., Мнацаканян М. С. Моделирование ситуационных систем транспортных потоков в условиях влияния факторов неопределенности // V International Scientific Conferens. II International Symposium of Young Researchers. - Katowice: Silesian University of Technology, 2013. - С. 493-501.
5. ITMS Operational Test of Advanced Traffic Management and Traveler Information Systems in the Twin Cities Metropolitan Area // Minnesota Department of Transportation, 1992.
6. Ma J. An efficiency-Equity Solution to The Integrated Transportation Corridor Control Design Problem // University of California, 2008.
7. Integration of Off-ramp and Arterial Signal Controls to Minimize the Recurrent Congestion on the I-495 Capital Beltway // Department of Civil and Environmental Engineering University of Maryland, 2010.
8. Coordination of Freeway Ramp Meters and Arterial Traffic Signals Field Operational Test // Institute of Transportation Studies, California PATH Program, 2013.
9. Coordinated Freeway and Arterial Operations Handbook // FHWA, 2006.
10. Highway Traffic Operations and Freeway Management: State-of-the-Practice // U.S. department of transportation, report FHWA-OP-03-076, 2013.
11. Synthesis of Active Traffic Management Experiences in Europe and the United States // FHWA, 2010.
12. Active Traffic Management for Arterials // National Cooperative Highway Research Program, 2013.
13. Inter-jurisdictional Coordination for Traffic Management in "Large City Technical Exchange and Assistance Program" // New York University, 2000.
14. Баран, О. І., & Андрашко, Ю. В. (2024). Динамічні моделі оптимізації транспортних потоків. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Математика і інформатика», 45(2), С. 139-152.
15. Hiroki Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. - Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. - 498p.
16. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія / В. Д. Мигаль. Х.: Майдан, 2018. 262 с.
17. Cooper, W. W. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software / W. W. Cooper, L. M. Seiford, K. Tone. - Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. - 318 p.
18. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application / A. Charnes, W. W. Cooper, A. Y. Lewin, L. M. Seiford. - Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994. - 513 pp.
19. Charnes, A. Measuring the Efficiency of Decision-Making Units / A. Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes // European Journal of Operational Research. – 1978. – Vol. 2. – P. 429–444.
20. Grossi, G. National Tourism Policy/ G. Grossi, A. Scappini//Analytical Frameworkfor the Evaluation of Efficiency and Effectiveness: The Case of Itali University della SvizzeraItaliana 2010. P. 85.

REFERENCES

1. National transport strategy of Ukraine for the period up to 2030. Approved by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated December 27, 2024 No. 1550.
2. US Public Law 105-178 Transportation Equity Act for the 21st Century (TEA-21), 1998.
3. History of Intelligent Transportation Systems // U.S. department of transportation, report FHWA-JPO-16-329, 2016.
4. Nefedova Ya.I., Mnatsakanyan M. S. Modeling of city-logistic systems of transport flows under the influence of uncertainty factors // V International Scientific Conferens. II International Symposium of Young Researchers. - Katowice: Silesian University of Technology, 2013. - P. 493-501.
5. ITMS Operational Test of Advanced Traffic Management and Traveler Information Systems in the Twin Cities Metropolitan Area // Minnesota Department of Transportation, 1992.
6. Ma J. An efficiency-Equity Solution to The Integrated Transportation Corridor Control Design Problem // University of California, 2008
7. Integration of Off-ramp and Arterial Signal Controls to Minimize the Recurrent Congestion on the I-495 Capital Beltway // Department of Civil and Environmental Engineering University of Maryland, 2010.
8. Coordination of Freeway Ramp Meters and Arterial Traffic Signals Field Operational Test // Institute of Transportation Studies, California PATH Program, 2013
9. Coordinated Freeway and Arterial Operations Handbook // FHWA, 2006
10. Highway Traffic Operations and Freeway Management: State-of-the-Practice // U.S. department of transportation, report FHWA-OP-03-076, 2013
11. Synthesis of Active Traffic Management Experiences in Europe and the United States // FHWA, 2010.
12. Active Traffic Management for Arterials // National Cooperative Highway Research Program, 2013.
13. Inter-jurisdictional Coordination for Traffic Management in "Large City Technical Exchange and Assistance Program" // New York University, 2000.
14. Baran, O. I., & Andrashko, Yu. V. (2024). Dynamic models of optimization of transport flows. Scientific Bulletin of Uzhgorod University. Series "Mathematics and Informatics", 45(2), 139-152.
15. Hiroki Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. — Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015. - 498p.
16. Mygal V. D. Intelligent systems in technical operation of cars: monograph / V. D. Mygal. Kh.: Maidan, 2018. 262 p.
17. Cooper, W. W. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software / W. W. Cooper, L. M. Seiford, K. Tone. - Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. - 318 p.
18. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application / A. Charnes, W. W. Cooper, A. Y. Lewin, L. M. Seiford. - Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994. - 513 pp.
19. Charnes, A. Measuring the Efficiency of Decision-Making Units / A. Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes // European Journal of Operational Research. – 1978. – Vol. 2. – P. 429–444.
20. Grossi, G. National Tourism Policy/ G. Grossi, A. Scappini//Analytical Frameworkfor the Evaluation of Efficiency and Effectiveness: The Case of Itali University della SvizzeraItaliana 2010. P.85.

M. Handziuk Search for optimal solutions in heterogeneous dynamic road transport systems.

The task of increasing the efficiency of road freight transportation is of particular relevance in modern economic conditions, which are defined as dynamically unstable and with a high degree of uncertainty in information situations of forecasting the development of the industry. A key element in the organization of the transport process of road freight transportation is the routing of rolling stock as a set of procedures for selecting the optimal characteristics of the route of movement, which determine the effectiveness of their organization in operational planning of transportation.

The routing task becomes especially relevant when the distribution of cargo flows is multivariate and multifaceted in dynamically changing conditions. In this case, the task of optimal routing can be solved only on the basis of the development of a specialized mathematical apparatus - an analytical tool for making effective decisions.

Therefore, it can be argued that the problem of optimizing routing processes in a dynamically changing environment, which is in demand in practice, is one that requires a systematic solution in dynamically changing conditions of operational planning of road freight transportation. This will allow for a systematic management of commercial operation of rolling stock of freight transport enterprises, taking into account dynamically changing criteria and factors.

Keywords: operational planning, heterogeneous dynamic transport system (HDTs), freight road transportation (FRT), routing, multi-criteria optimization, intelligent transport systems, mathematical modeling, DEA (Data Envelopment Analysis) method, efficiency, information uncertainty, digital control algorithms.

ГАНДЗЮК Микола Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-3552-4256>.

Mykola HANDZIUK, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-3552-4256>.

DOI 10.36910/automash.v1i24.1721