

DOI: 10.18372/2310-5461.48.15128

УДК656.073.7, 656.078.12

О. О. Писарчук, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
orcid.org/0000-0001-5271-0248
e-mail:platinumpa2212@gmail.com;

Т. І. Конрад,
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0001-6283-1967
e-mail: konrad.t_i1@ukr.net

ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В МУЛЬТИМОДАЛЬНІЙ ТРАНСПОРТНІЙ МЕРЕЖІ

Вступ

Ресурсні обмеження у використанні кожного з видів транспорту, а саме шляхи сполучення та пункти взаємодії видів транспорту з можливістю пропуску певної кількості одиниць рухомого складу за одиницю часу, унеможливають здійснення перевезення від відправника до постачальника лише одним видом транспорту. За таких умов, доцільним є мультимодальне перевезення, що здійснюється двома та більше видами транспорту під відповідальністю оператора на основі єдиного договору про мультимодальне перевезення.

Обмеженість ресурсів видів транспорту в поєднанні з вимогами відносно безпеки (координації рухомого складу), оперативності (реагування на детерміновані та стохастичні зміни в системі), точності (дотримання режимності роботи, часових інтервалів, графіків, розкладів руху) та достовірності (визначення маршруту), що пред'являються до перевізного процесу ускладнюють вибір оптимального маршруту мультимодального перевезення, що здійснюється диспетчером (особою, що приймає остаточне рішення) за допомогою автоматизованих систем управління перевезеннями.

Аналіз автоматизованих систем управління перевезеннями взаємодіючих видів транспорту виявив відсутність єдиного підходу до визначення оптимального маршруту перевезення вантажів під час мультимодального перевезення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню інформаційної взаємодії видів транспорту присвячено праці М. В. Правдіна, В. Я. Негрей [1]; проектуванню систем підтримки прийняття рішень — праці Б. М. Герасимова,

М. М. Дивизинюка, І. Ю. Субача, [2]. Дослідження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та перспективних напрямів автоматизації виробничої діяльності наведено в працях О. В. Нестеренко, О. І. Савенко, О. О. Фаловського [3].

Модальність роботи видів транспорту досліджено в працях учених А. І. Воркута [4], А. Абрамова [5], В. Л. Подкопаєва; графіки руху поїздів, методологія формування раціональних схем перевезень наведено в працях Г. І. Нестеренко, М. А. Гусак, Н. О. Логвінової, Ю. А. Папахова.

Аналіз існуючих математичних методів розподілу транспортних потоків на основі імовірнісного аналізу, теорії розкладів та математичних методів вирішення транспортних (розподільчих) задач, показав, що у вирішенні завдання пошуку оптимального маршруту переважають однокритеріальні моделі, що не забезпечує вирішення комплексного завдання розподілу транспортних потоків та вибору оптимального маршруту доставки вантажів в мультимодальній транспортній мережі. Більш доцільними та необхідним є розв'язання задачі з використанням багатокритеріальних підходів. Методи розв'язку багатокритеріальних задач розглянуті в працях А. Н. Вороніна [6], Г. І. Анкудінова, Г. С. Антушева, Р. Л. Кіні, А. Д. Цвіркуна, В. В. Баранова, Ю. К. Зіатдінова [7], Т. Р. Брахмана [8].

Визначення диспетчером оптимального маршруту доставки з урахуванням наявних факторів, вимог та обмежень потребує ефективної обробки вхідної інформації та забезпечення високих вимог до вихідної інформації в автоматизованих системах управління перевезеннями, що можливо досягати шляхом удосконалення математичного та інформаційного забезпечення АСУ.

Саме тому, для підвищення ефективності управління транспортними потоками за показниками оперативності і достовірності вихідних рішень розробки потребує технологія автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі.

Технологія відрізняється формалізацією транспортної задачі в багатокритеріальній формі та вибором оптимального маршруту за інтегрованим показником ефективності графових структур. Технологія дозволяє підвищити ефективність управління транспортними потоками за показниками оперативності і достовірності вихідних рішень.

Мета роботи — розробка технології автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі

Постановка завдання дослідження

Завдання дослідження полягає у формалізації транспортної задачі в багатокритеріальній формі та вибором оптимального маршруту за інтегрованим показником ефективності графових структур, що дозволяє вирішити поставлену мету.

Технологія автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі

В основу технології автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі покладено методику багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення вантажів та методику оптимального розподілу обмежених ресурсів [9]. Технологія базується на використанні зумовлених рішень про оптимальний маршрут перевезень, отриманих, як результат синергетичного об'єднання інфологічної моделі факторів, показників і критеріїв оптимальності маршруту [10] і удосконаленої математичної моделі оптимального розподілу транспортних потоків [11].

Методика багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення вантажів в мультимодальній транспортній мережі призначена для реалізації завдання вибору оптимального маршруту доставки вантажів в мультимодальній транспортній мережі. Методика базується на поданні задачі в багатокритеріальній формі із застосуванням нелінійної схеми компромісів.

Критерії ефективності унітарного типу:

$$F_M = \begin{cases} F_1 \rightarrow extr; \\ F_2 \rightarrow extr; \\ F_3 \rightarrow extr; \\ F_n \rightarrow extr. \end{cases} \quad (1)$$

Категорії критеріїв: F_1 — тривалість доставки; F_2 — продуктивність рухомого складу; F_3 — спроможність транспортної мережі; F_n — економічна ефективність.

Критерії ефективності комбінаторного типу:

$$F_1 = \begin{cases} \alpha_1 \rightarrow extr, \alpha_2 \rightarrow extr, \dots, \\ \alpha_n \rightarrow extr, \end{cases} \quad (2)$$

$$F_2 = \begin{cases} \beta_1 \rightarrow extr, \beta_2 \rightarrow extr, \dots, \\ \beta_n \rightarrow extr, \end{cases} \quad (3)$$

$$F_3 = \begin{cases} \gamma_1 \rightarrow extr, \gamma_2 \rightarrow extr, \dots, \\ \gamma_n \rightarrow extr, \end{cases} \quad (4)$$

$$F_n = \begin{cases} \delta_1 \rightarrow extr, \delta_2 \rightarrow extr, \dots, \\ \delta_n \rightarrow extr. \end{cases} \quad (5)$$

Узагальнені критерії оптимальності:

$$F_{1i} = (1 - a_{1i0})^{-1} + (1 - a_{2i0})^{-1} + \dots + (1 - a_{ii0})^{-1} \rightarrow extr; \quad (6)$$

$$F_{2i} = (1 - \beta_{1i0})^{-1} + (1 - \beta_{2i0})^{-1} + \dots + (1 - \beta_{ii0})^{-1} \rightarrow extr; \quad (7)$$

$$F_{3i} = (1 - \gamma_{1i0})^{-1} + (1 - \gamma_{2i0})^{-1} + \dots + (1 - \gamma_{ii0})^{-1} \rightarrow extr; \quad (8)$$

$$F_{ni} = (1 - \delta_{1i0})^{-1} + (1 - \delta_{2i0})^{-1} + \dots + (1 - \delta_{ii0})^{-1} \rightarrow extr. \quad (9)$$

Інтегрована оцінка оптимальності маршруту:

$$F_i = (1 - F_{1i0})^{-1} + (1 - F_{2i0})^{-1} + (1 - F_{3i0})^{-1} + (1 - F_{ni0})^{-1} \rightarrow extr, \quad (10)$$

$$N_{opt} = i, \text{ якщо } F_M \rightarrow \min$$

$$F_0 = \frac{F}{\max F}, \quad (11)$$

$$\max F = \sum_{l=1}^k (1 - [\max F_l - \Delta])^{-1}.$$

Розроблена методика передбачає вибір оптимального маршруту за сформованою системою критеріїв унітарного (1) чи комбінаторного типу (2)–(5) за якими відповідно до технології вкладених згорток за нелінійною схемою компромісів формуються узагальнені (6)–(9) та інтегрований (10)–(11) критерії.

Методика дозволяє проводити вироблення рішення щодо оптимальності маршруту перевезення вантажів під час мультимодального перевезення та ранжувати маршрути за пріоритетом (табл. 1).

Таблиця 1

Фундаментальна шкала оцінок

Інтегрована оцінка ефективності F_{Mo}	Лінгвістична категорія ефективності	Ранг маршруту (пріоритет)
1,0 – 0,7	Висока	P ¹
0,7 – 0,5	Добра	...
0,5 – 0,4	Задовільна	...
0,4 – 0,2	Низька	...
0,2 і менше	Незадовільна	P ⁿ

Методика оптимального розподілу обмежених ресурсів призначена для користувачів (споживачів) транспортних послуг — вантажовідправників, пасажирів та передбачає реалізацію завдання виділення оптимального маршруту за пріоритетом обслуговування споживачів.

Методика базується на використанні багатокритеріальної оптимізаційної моделі, отриманої із застосуванням вкладених згорток за нелінійною схемою компромісів, що забезпечує врахування у розв’язку значної кількості критеріальних вимог, різномірність потреб споживачів (вантажовідправників, пасажирів) та обмеженість ресурсів (шляхів сполучення).

Постановка задачі.

Дано: $SP = \{SP_i\}$, $i = 1 \dots I$ — множина споживачів (вантажовідправників, пасажирів); $SP_i \subset \{Pot_{ij}\}$, $j = 1 \dots J$ — множина різномірних потреб споживачів; $PS = \{PS_k\}$, $k = 1 \dots K$ — множина постачальників з переліком різномірних обмежених запасів $PS_k \subset \{Zap_{km}\}$; $m = 1 \dots M$; кількість постачальників та їх ресурсів значно менша за кількість споживачів та переліку їх потреб.

Необхідно: здійснити розподіл обмежених запасів Zap_{km} постачальників PS_k за споживачами SP_i так, щоб задоволення їх потреб Pot_{ij} забезпечувало найкращу ефективність виконання цільових задач споживачами.

Розв’язок задачі оптимального розподілу обмежених ресурсів.

1. Формування таблиці ранжувань.

2. Формування системи частинних критеріїв за варійованим параметром n_i кількість постачальників, що виділяються для обслуговування потреб споживача при обмеженнях на загальну кількість постачальників N :

$$n_i, \sum_{i=1}^I n_i \leq N, \quad (12)$$

$$\begin{cases} P_1(n_1) \rightarrow \max, S_1(n_1) \rightarrow \min, \\ P_2(n_2) \rightarrow \max, S_2(n_2) \rightarrow \min, \dots, \\ P_i(n_i) \rightarrow \max, S_i(n_i) \rightarrow \min, \dots, \\ P_l(n_l) \rightarrow \max, S_l(n_l) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} P_i(n_i) &= P_0 + P_1 n_i + P_2 n_i^2 + \dots \\ S_i(n_i) &= S_0 + S_1 n_i + S_2 n_i^2 + \dots \end{aligned} \quad (14)$$

3. Розв’язок оптимізаційної задачі

3.1. Система узагальнених критеріїв віднесених до l груп важливості:

$$\begin{cases} \delta_1(n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1i}, \dots, n_{1l_1}) \rightarrow \min, \\ \delta_2(n_{21}, n_{22}, \dots, n_{2i}, \dots, n_{2l_2}) \rightarrow \min, \dots, \\ \delta_l(n_{l1}, n_{l2}, \dots, n_{li}, \dots, n_{ll_l}) \rightarrow \min, \dots, \\ \delta_L(n_{L1}, n_{L2}, \dots, n_{Li}, \dots, n_{LL_L}) \rightarrow \min, \\ S(n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1i}, \dots, n_{1l_1}, n_{21}, n_{22}, \dots, \\ \dots, n_{2i}, \dots, n_{2l_2}, \dots, n_{l1}, n_{l2}, \dots, n_{li}, \dots, n_{ll_l}, \\ \dots, n_{L1}, n_{L2}, \dots, n_{Li}, \dots, n_{LL_L}) \rightarrow \min, \end{cases} \quad (15)$$

$$\delta_l(n_{l1}, n_{l2}, \dots, n_{li}, \dots, n_{ll_l}) = \gamma_{0l1}(1 - \varphi_{0l1}(n_{l1}))^{-1} +$$

$$\gamma_{0l2}(1 - \varphi_{0l2}(n_{l2}))^{-1};$$

$$\gamma_{0li}(1 - \varphi_{0li}(n_{li}))^{-1} + \dots + \gamma_{0ll_l}(1 - \varphi_{0ll_l}(n_{ll_l}))^{-1} \quad \text{—}$$

критерії ефективності обслуговування споживачів l -ї групи важливості;

$$S(n_{11}, n_{12}, \dots, n_{li}) = \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \gamma_{0Sli}(1 - S_{0li}(n_{li}))^{-1} \rightarrow \min$$

— критерій узагальненої вартості (витрат) при задоволенні потреб споживачів $\gamma_{0ij}, \gamma_{0Sij}$ — вагові коефіцієнти.

3.2. Інтегрований критерій оптимальності розподілу обмежених ресурсів (оптимізаційна модель оптимального розподілу)

$$\begin{aligned} \Omega(n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1i}, \dots, n_{1l_1}, n_{21}, n_{22}, \dots, n_{2i}, \dots, n_{2l_2}, \dots, n_{l1}, n_{l2}, \dots, n_{li}, \dots, n_{ll_l}, \dots, \\ \dots, n_{L1}, n_{L2}, \dots, n_{Li}, \dots, n_{LL_L}) = G_{01}(1 - \delta_{01}(n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1i}, \dots, n_{1l_1}))^{-1} + \\ + G_{02}(1 - \delta_{02}(n_{21}, n_{22}, \dots, n_{2i}, \dots, n_{2l_2}))^{-1} + \dots \\ \dots + G_{0l}(1 - \delta_{0l}(n_{l1}, n_{l2}, \dots, n_{li}, \dots, n_{ll_l}))^{-1} + \\ + G_{0L}(1 - \delta_{0L}(n_{L1}, n_{L2}, \dots, n_{Li}, \dots, n_{LL_L}))^{-1} + \\ + F_0(1 - S(n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1i}, \dots, n_{1l_1}, n_{21}, n_{22}, \dots, n_{2i}, \dots, n_{2l_2}, \dots, n_{l1}, n_{l2}, \dots, \\ \dots, n_{li}, \dots, n_{ll_l}, \dots, n_{L1}, n_{L2}, \dots, n_{Li}, \dots, n_{LL_L}))^{-1} \rightarrow \min \end{aligned} \quad (16)$$

Розроблена методика передбачає:

1. Формування таблиці ранжування споживачів ресурсів за пріоритетом обслуговування;

2. Встановлення системи частинних критеріїв оптимальності (13) та їх опис в аналоговій формі (14) за даними таблиці ранжувань;

3. Послідовне формування узагальнених (15) та інтегрованого критерію оптимальності (16) і

пошук його екстремуму відносно варійованих параметрів з урахуванням пріоритету в обслуговуванні споживачів.

Реалізація технології передбачає використання програмно-апаратних комплексів взаємодіючих видів транспорту шляхом впровадження програмної системи багатокритеріального розподілу транспортних потоків.

Програмна система багатокритеріального розподілу транспортних потоків

Програмна система багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальній транспортній мережі належить до класу експертних систем спеціального призначення, підклас інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (СППР). СППР називають спеціалізовану програму, що забезпечує особу яка приймає рішення (ОПР) рекомендаціями і рішеннями в близькому до реального масштабу часу перебігу контрольованої ситуації на основі наявних бази даних, бази знань і зовнішніх даних, що змінюються. Основна властивість СППР полягає в оперативному отримання актуальних та своєчасних рішень за динамічно оновленими даними.

Встановлено основні вимоги до системи багатокритеріального розподілу транспортних потоків:

1. Забезпечення розрахункових операцій відповідно до розробленої математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальній транспортній мережі;

2. Проведення розрахунків в режимі реального часу;

3. Вихідні дані для розрахунків повинні бути своєчасно автоматизовано поповнюваними і оновленими в on-line режимі із достовірних джерел, що досягатиметься динамічними технологіями побудови і оновлення бази даних із зв'язком з глобальною мережею Internet;

4. Сформовані рішення мають носити як однокладний характер так і мати можливість тлумачення з формуванням певних рекомендацій і пояснень зрозумілою користувачеві термінологією.

Основні функції щодо автоматизованого формування маршруту розподілено між диспетчером, що приймає остаточне рішення про вибір маршруту (ОПР) та СППР таким чином.

Диспетчер:

Формування системи факторів, показників та критеріїв ефективності для бази даних програми;

- початкове введення і вибір даних для програми;

- оцінка та аналіз, інтерпретація отриманих результатів розрахунків;

- остаточне прийняття рішення про маршрут курсування рухомого складу.

СППР:

- приведення уведених ОПР даних до зрозумілою для електронно-обчислювальної машини форми;

- розрахункові операції з поданими даними у близькому до реального часу, оперативна актуалізація вихідних даних;

- зведення усіх розрахунків до єдиного результату — інтегрованої оцінки ефективності;

- надання ОПР отриманих результатів та їх тлумачення.

Структура програмної системи багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальній транспортній мережі містить такі блоки: база даних (БД), база знань (БЗ), алгоритм-диспетчер, обчислювальний алгоритм (ОА), блок навчання, система обміну інформацією та блок відображення інформації.

База даних (БД) містить числову (статистичну) інформацію для прийняття рішень. База знань (БЗ) акумулює лінгвістичну (мовою зрозумілою для людини) інформацію (знання) про поточну інформацію прийняття рішень з урахуванням знань про вміст бази даних та тлумачення результатів розрахунків. Сценарій спілкування з визначеними компонентами програми закладено в системі обміну інформацією (СОІ).

Обчислювальний алгоритм реалізує сукупність розрахункових операцій відповідно до сформованої математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальній транспортній мережі. Вихідні дані для розрахунку отримуються з БД, а тлумачення отриманих результатів у лінгвістичній формі здійснюється за вмістом БЗ. Інформація БЗ використовується також для отримання ОПР рекомендацій стосовно прийняття остаточного рішення чи розшифровки альтернативного рішення, що сформоване в СППР. ОА має виконувати вимоги реального часу проведення обчислень.

База даних містить поточну інформацію для розрахунків, а саме розрахункові значення часткових показників оптимальності маршруту для пунктів взаємодії та шляхів сполучення кожного етапу транспортування за видом транспорту, а саме:

- показники транспортної роботи (вантажобіг Pl , пасажиробіг Al , обсяг перевезення вантажів q_g , обсяг перевезення пасажирів q_p);

- показники матеріально-технічної бази (довжина мережі залізниць L_E , густина мережі шляхів сполучення d_S , вантажопідйомність вагону P_n);

– показники експлуатаційної роботи (середня дальність перевезення I_c , швидкість доставки v_d , динамічне навантаження вагону P_w , приведена вантажонапруженість W);

– показники економічної ефективності й фінансові (собівартість перевезення пасажирів C_p , собівартість перевезення вантажів C_v , продуктивність праці P_p , доходи D , витрати E , прибуток Y).

База даних має будуватись за клієнт-серверною технологією з інтерактивним зв'язком із інформаційними сайтами де міститься інформація необхідна для розрахунків в глобальній мережі Internet. Цим досягається динамічна актуалізація даних для розрахунків у реальному часі.

База знань містить інформацію у вигляді лінгвістичних директив про ефективність (оптимальність) маршруту за фундаментальною шкалою розподілу інтегрованої оцінки ефективності у відповідності до лінгвістичної категорії та визначення рангу (пріоритету) маршруту.

Також БЗ містить лінгвістичні правила щодо тлумачення результатів розрахунків та рекомендації

відповідно до проміжних результатів обчислень часткових показників ефективності та їх груп.

Алгоритм-диспетчер реалізує функції узгодження різних форм подання інформації, що циркулює у блоках СППР.

Блок навчання призначений для первинного наповнення БД, БЗ за тестовими прикладами, налаштування зв'язків внутрішнього і зовнішнього інформаційних полів.

Система обміну інформацією та блок відображення інформації слугують інтерфейсом програми СППР та користувача — ОПР і реалізують алгоритм спілкування людини з програмою.

Розміщення програмної системи багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальній транспортній мережі можливо реалізувати на автоматизованих системах керування взаємодіючих видів транспорту (рис. 1) з відповідною політикою розмежування доступу.

Підтвердження працездатності запропонованої технології проведено за допомогою розрахункового прикладу.



Рис. 1. Автоматизовані системи управління взаємодіючих видів транспорту під час мультимодального перевезення

Розрахунковий приклад визначення оптимального маршруту перевезення вантажів

Моделювання розподілу транспортних потоків залізничного рухомого складу здійснюється у перспективному напрямі вантажопотоків у внутрішньодержавному та міжнародному сполученні Південь–Захід. Основну частку вантажопотоку у Південно-Західному напрямку формують тран-

зитні вантажі, що прибувають у морські порти України з-за кордону. Їх доповнюють вантажі вироблені в Україні, що призначені для експорту у країни Європи.

Найбільш інтенсивне використання залізничних колій спільного користування спостерігається на ділянці Львів–Чоп.

Для побудови графу транспортної мережі було обрано вузлові станції Одеса-Застава 1, Тернопіль, Львів, Стрий, Батьово, Чоп, Ужгород діючого маршруту пасажирського потягу № 108Ш Одеса-Головна-Ужгород (через станцію Чоп) (рис. 2), що є показовим, оскільки перевезення на маршруті здійснюється коліями спільного користування вантажного і пасажирського рухомого складу, та доповнено вузловими залізничними станціями Західного регіону України з інтенсив-

ним рухом пасажирського та вантажного рухомого складу. Вузлові та прикордонні станції є вершинами графа. Всього вершин — 13. Характеристиками ребер графа є реальні відстані між вершинами, усього ребер 16, Загальна довжина ребер графа становить 1625 км (рис. 3).

Побудову маршрутів на графі транспортної мережі здійснено з вершини 13 (ст. Одеса-Застава 1) до вершини 1 (ст. Чоп). Усього побудовано 14 альтернативних маршрутів (рис. 4).



Рис. 2. Маршрут слідування пасажирського потягу № 108Ш

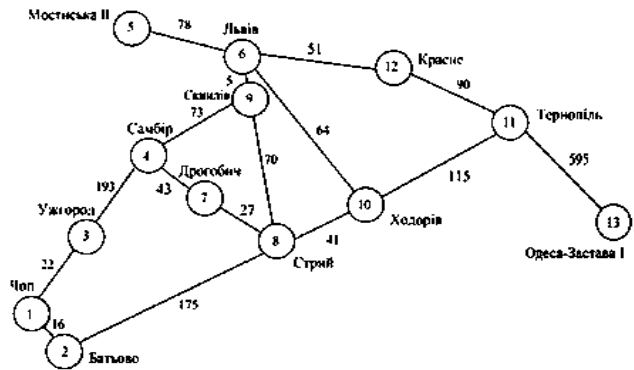


Рис. 3. Граф мультимодальної транспортної мережі

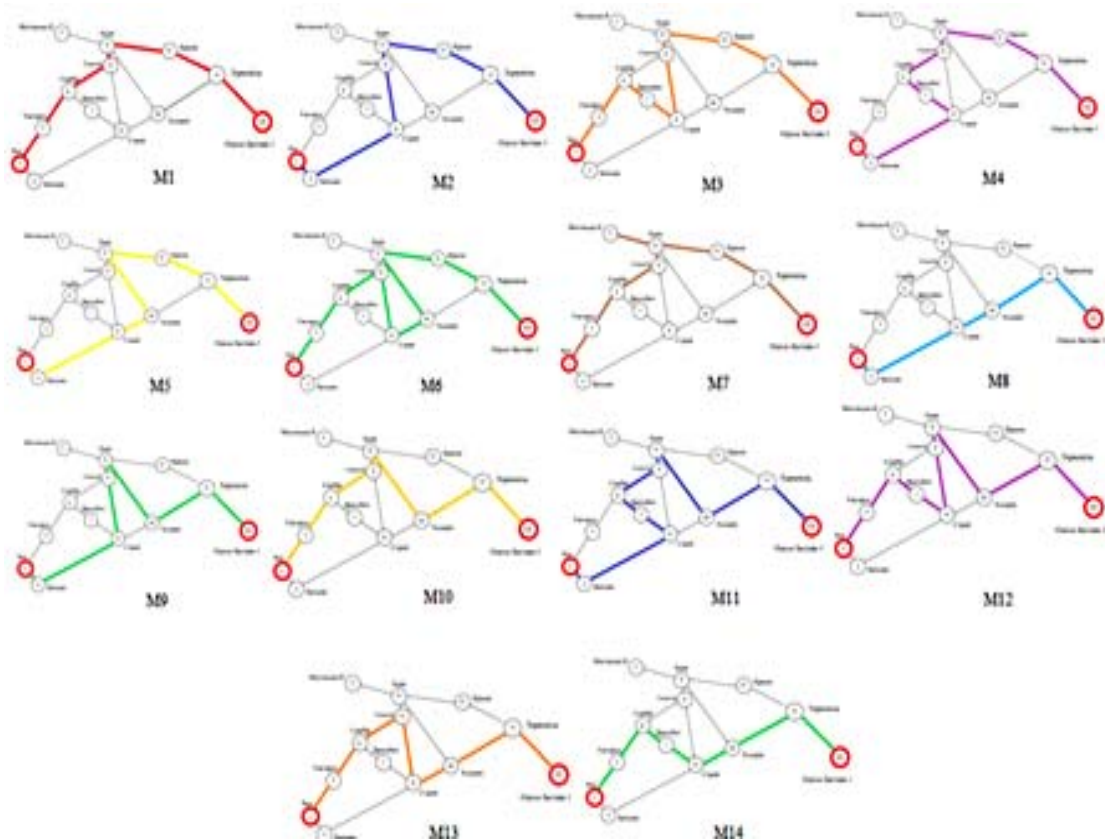


Рис. 4. Схеми конфігурацій альтернативних маршрутів

Розраховано часткові показники станцій прокладених маршрутів. Проведені розрахунки за виразами (1)–(9) та визначені показники інтегровано-

ваного критерію оптимальності (10) (табл. 2), показали, що вимога мінімізації виконується до інтегрованого показника маршруту M14, тому вва-

жається що маршрут M14 є оптималь $N_{opt} = M14$. Оптимальний маршрут перевезення зображено на рис. 5.

Таблиця 2

Розрахункові значення інтегрованого критерію оптимальності маршрутів M1 – M14

Маршрут	Критерій	F_{Mi}
M1		73,51650463
M2		79,71601133
M3		74,36313379
M4		80,5614058
M5		76,4197704
M6		74,41829595
M7		78,99883789
M8		75,22613278
M9		79,31042424
M10		73,36768255
M11		80,18445785
M12		74,19934119
M13		70,93301418
M14		70,50074282

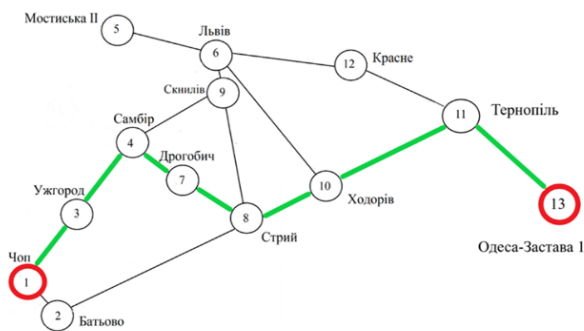


Рис. 5. Оптимальний маршрут доставки M14

Оцінювання достовірності вибору оптимального маршруту за виразом (11) дало наступне значення інтегрованої оцінки ефективності (табл. 3) та розподіл маршрутів за лінгвістичними категоріями (табл. 4).

Оскільки інтегрована оцінка ефективності маршруту M14 відноситься до лінгвістичної категорії «Висока» з пріоритетом P1, вважається, що оптимальність маршруту встановлено достовірно.

Таблиця 3

Розрахункові значення інтегрованої оцінки ефективності маршрутів M1 – M14

Маршрут	Критерій	F_{Mo}
M1		0,696200807
M2		0,642057336
M3		0,688274516
M4		0,635319721
M5		0,669751422
M6		0,687764336
M7		0,647886111
M8		0,680378586
M9		0,645340765
M10		0,69761301
M11		0,638306366
M12		0,689793859
M13		0,721557521
M14		0,725981711

Таблиця 4

Розподіл маршрутів за лінгвістичними категоріями

Інтегрована оцінка ефективності F_{Mo}	Лінгвістична категорія ефективності	Маршрут
1,0 – 0,7	Висока	M14, M13
0,7 – 0,5	Добра	M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12
0,5 – 0,4	Задовільна	–
0,4 – 0,2	Низька	–
0,2 і менше	Незадовільна	–

Висновки

Розроблено технологію автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі. Технологія базується на використанні зумовлених рішень про оптимальний маршрут перевезень, отриманих, як результат синергетичного об'єднання розробленої інфологічної моделі факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту і математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків.

Технологія відрізняється формалізацією транспортної задачі в багатокритеріальній формі та вибором оптимального маршруту за інтегрованим показником ефективності графових структур.

В основу технології автоматизованого управління транспортними потоками покладено методику багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення вантажів та методику оптимального розподілу обмежених ресурсів. Встановлено основні вимоги до функціонування та структуру системи багатокритеріального розподілу транспортних потоків. За допомогою розрахункового прикладу підтверджено працездатність запропонованої технології.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Правдин Н. В.**, Негрей В. Я. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах. Минск: Высшая школа, 1997. 289 с.
2. **Герасимов Б. М.**, Дивизинюк М. М., Субач И. Ю. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности: монография. Севастополь: Издат. центр СНИЯЭ и П, 2004. 320 с.
3. **Нестеренко О. В.**, Савенко О. І., Фаловський О. О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посібник / за ред. П. І. Бідюк. Київ, Національна академія управління, 2016. 118 с.
4. **Воркут А. И.** Грузовые автомобильные перевозки. 2-е изд., перераб. и доп. К. : Вища шк. Головное изд-во, 1986. 447с.
5. **Абрамов А. А.** Контейнерные перевозки на железнодорожном транспорте: учеб. пособие. М. : РГОТУПС, 2004. 332 с.
6. **Воронин А. Н.** Вложенные скалярные свертки векторного критерия. *Проблемы управления и информатики*. 2003. №5. С. 10–21.
7. **Воронин А. Н.**, Зиятдинов Ю. К., Харченко А. В., Осташевский В. В. Сложные технические и эргатические системы: метод использования. Харьков: Факт, 1997. 240 с.
8. **Брахман Т. Р.** Многокритериальность и выбор альтернатив в технике. М. : Радио и связь, 1984. 288 с.
9. **Писарчук О. О.**, Конрад Т. І., Маранов О. В., Воробей В. І., Коршунов М. Я., Пустовий М. К. Методика багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальній транспортній мережі. *Новітні технології*. 2018. Вип. 3(7). С 81–88.
10. **Писарчук О. О.**, Конрад Т. І., Мороз О. В., Стукач М. Д., Баланчук А. М. Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів залізничним рухомим складом. *Вісник інженерної академії*. 2019. №1. С. 148–156.
11. **etiana Konrad**. Mathematical Model of Multicriterial Distribution of Transport Flows in The Multimodal Transport Network. *International Journal "INFORMATION THEORIES & APPLICATIONS"* 2019.Vol. 26. Number 4. Printed in Bulgaria, pp.334-358. ISSN 1310-0513.

Писарчук О. О., Конрад Т. І.

ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В МУЛЬТИМОДАЛЬНІЙ ТРАНСПОРТНІЙ МЕРЕЖІ

В статті запропоновано технологію автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі. Технологія відрізняється формалізацією транспортної задачі в багатокритеріальній формі та є результатом синергетичного об'єднання інфологічної моделі факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту і математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків, що забезпечує виконання процедури вибору оптимального маршруту перевезення.

Технологія дозволяє підвищити ефективність управління транспортними потоками за показниками оперативності і достовірності вихідних рішень.

Ключові слова: мультимодальне перевезення; багатокритеріальна оптимізація; технологія; автоматизовані системи управління.

Pysarchuk O.O., Konrad T.I.

OPTIMIZATION OF A POLARIZER BASED ON A SQUARE WAVEGUIDE WITH IRISES

The article proposes the technology of automated traffic control in a multimodal transport network. The technology differs in the formalization of the transport problem in a multicriteria form and is the result of a synergistic combination of infographic model of factors, indicators, and criteria of route optimality and mathematical model of multicriteria distribution of traffic flows, which ensures the procedure of choosing the optimal route.

The technology of automated traffic flow management in a multimodal transport network is based on the method of multicriteria selection of the optimal route of cargo transportation and the method of the optimal distribution of limited resources.

The method of multicriteria selection of the optimal route of cargo transportation in a multimodal transport network is designed to implement the task of choosing the optimal route of cargo delivery in a multimodal transport network. The methodology is based on the presentation of the problem in a multicriteria form using a nonlinear scheme of compromises.

The method of the optimal distribution of limited resources is designed for users (consumers) of transport services - shippers, passengers and provides for the implementation of the task of allocating the optimal route on the priority of customer service. The methodology is based on the use of a multicriteria optimization model obtained using nested convolutions according to a nonlinear scheme of trade-offs, which ensures that a significant number of criteria requirements, diversity of consumer needs (shippers, passengers), and limited resources (routes) are taken into account.

The implementation of the technology involves the use of software and hardware complexes of interacting modes of transport through the introduction of a software system of multicriteria distribution of traffic flows. The structure of the software system of multicriteria distribution of traffic flows in a multimodal transport network contains the following blocks: database, knowledge base, algorithm-dispatcher, computational algorithm, training unit, information exchange system, and information display unit.

The technology allows increasing the efficiency of traffic flow management in terms of efficiency and reliability of initial solutions.

Keywords: Multimodal transportation, multicriterial optimization, technology; automated control systems.

Писарчук А.А., Конрад Т.И.

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ В МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

В статье предложена технология автоматизированного управления транспортными потоками в мультимодальной транспортной сети. Технология отличается формализацией транспортной задачи в многокритериальной форме и является результатом синергетического объединения инфологической модели факторов, показателей и критериев оптимальности маршрута и математической модели многокритериального распределения транспортных потоков, что обеспечивает выполнение процедуры выбора оптимального маршрута перевозки.

Технология позволяет повысить эффективность управления транспортными потоками по показателям оперативности и достоверности исходных решений.

Ключевые слова: мультимодальная перевозка; многокритериальная оптимизация; технология; автоматизированные системы управления.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2020 р.

Прийнято до друку 10.12.2020 р.