

УДК 656.073.7

О. І. ХАРЧЕНКО<sup>1\*</sup>, О. М. САКАЛЬ<sup>2\*</sup>, А. С. КАРАПИШ<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 734-27-43, ел. пошта o.i.kharchenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-2068-0640

<sup>2\*</sup> Магістр, каф. «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 515-50-58

<sup>3\*</sup> Аспірант, каф. «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 640-96-78

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ РУХОМОГО СКЛАДУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ

**Мета.** Транспортні витрати збільшують вартість продукту на третину, а в деяких випадках доставка вантажу збільшує вартість товару на величину еквівалентну вартості самого товару. Тому, зменшення частки транспортних витрат є пріоритетним завданням значної кількості підприємств. Одним із способів досягання мети щодо зменшення транспортних витрат є ефективне використання та розподіл рухомого складу. Метою даної статті є дослідження питання оптимізації розподілу рухомого складу при перевезеннях вантажів автомобільним транспортом та розробка математичної моделі для вирішення задачі оптимального розподілу транспортних засобів, яка враховує реальні потреби вантажовласників та можливості автотранспортних підприємств при розподілі транспортних засобів по лініям перевезень. **Методика.** Задачею дослідження є ефективне використання рухомого складу для доставки вантажу між вантажовідправниками та вантажоодержувачами у повному обсязі за критерієм ефективності – мінімум сумарної вантажопідйомності рухомого складу. Об'єктом моделювання є процес розподілу транспортних засобів. Для розв'язання такого типу задачі було використано метод оптимізаційного моделювання, який дозволяє оптимально закріпити одержувачів вантажу за вантажовідправниками. **Результати.** У статті наведена математична модель задачі оптимального розподілу транспортних засобів, яка вирішує задачу сформульовану наступним чином: за заданими напрямками доставки вантажу та об'ємами перевезень по ним та певної кількості автомобілів різних типів, необхідно розподілити рухомий склад для забезпечення доставки вантажу кожному клієнту у повному обсязі та найбільш ефективно. **Наукова новизна.** Наукова новизна полягає у розробці математичної моделі, яка дозволяє вирішувати задачу оптимального розподілу рухомого складу у випадку недостатньої кількості автомобілів через збільшення кількості транспортних засобів (якщо є можливість до збільшення кількості рухомого складу для виконання заданого об'єму перевезень) або зменшення об'єму перевезень (коли відсутня можливість до збільшення кількості рухомого складу з врахуванням рівноцінності клієнтів щодо недовозу вантажу). **Практична значимість.** Практична значимість роботи полягає в тому, що розроблена математична модель дозволяє враховувати реальні потреби вантажовласників та можливості автотранспортних підприємств при розподілі транспортних засобів по лініям перевезень. На базі створених моделей можуть бути розроблені алгоритми для вирішення задач оптимального розподілу транспортних засобів, кожен із яких може бути запрограмований та реалізований за допомогою обчислювальної техніки та використовуватися для практичних розрахунків.

*Ключові слова:* розподіл рухомого складу, математична модель, лінійне програмування, автомобільний транспорт.

### Вступ та постановка задачі

Транспортна галузь займає провідне місце в економіці країни. Головні позиції у транспортному секторі займають залізничний та автомобільний транспорт. Кожен з цих видів транспорту відіграє особливу роль та має певні переваги, тому вдосконалення функціонування кожного з них є важливою задачею перед державою для посилення економічних позицій [1].

Транспортування рухомим складом автомобільного транспорту включено до багатьох етапів виробництва будь-якого продукту.

Наприклад, перевезення сировини у місце виготовлення продукту, а далі доставка готової продукції у місце продажу даної продукції. Тому, крім собівартості виготовлення товару, вартість транспортування також має значний вплив на кінцеву вартість кожного продукту. У більшості випадків транспортні витрати складають третину всіх витрат, а в деяких випадках доставка вантажу збільшує вартість товару на величину еквівалентну вартості самого товару. Отже, зменшення частки транспортних витрат є пріоритетним завданням значної кількості підприємств.

Одним із способів досягання мети щодо зменшення транспортних витрат є ефективно використання та розподіл рухомого складу. Тож, задача оптимального розподілу рухомого складу є досить актуальною на сьогодні.

Також, аналіз останніх наукових публікацій у галузі оптимізації транспортного процесу показав, що проблема оптимізації транспортного процесу є не вичерпною та не втрачає своєї актуальності.

На початку дослідження був проведений аналіз літературних джерел [2-7] щодо технологічних параметрів, що найчастіше обиралися в якості критеріїв оптимізації. Даний аналіз дозволив зробити висновок, що єдиного універсального критерію оцінки ефективності експлуатації транспортних засобів не існує. Отже, вибір критерію необхідно проводити виходячи з умов перевезень і завдань, які необхідно вирішувати.

Вивчаючи роботи різних авторів було помічено, що оптимізація процесу транспортування проводиться по складовим процесу та різними методами моделювання. Так, наприклад, автори [8,9] у своїх роботах розглядають проблеми оптимізації маршрутизації та переміщення вантажопотоків. Оптимізацію вони проводять використовуючи аналітичні методи моделювання, описуючи об'єкт моделювання за допомогою детермінованих величин. У роботі [10] виконується моделювання транспортно-складської системи за допомогою теорії транспортного обслуговування, а в роботі [11] використовується метод на основі нечіткої логіки для моделювання логістичних транспортних систем. Отже, для моделювання задач оптимізації транспортних процесів існує значна кількість методів моделювання.

Крім того, аналіз літературних джерел допоміг виокремити основні напрямки оптимізації транспортних процесів:

- через вирішування задач маршрутизації [12-14];
- через розподіл транспортних потужностей [15-17];
- через оптимізацію ресурсів вантажних комплексів [18].

На базі проаналізованого матеріалу було виконано постановку задачі, що дало напрямок для подальшої розробки математичної моделі оптимального розподілу рухомого складу.

Таким чином, задачею дослідження є ефективно використання рухомого складу для доставки вантажу між вантажовідправниками та вантажоодержувачами у повному обсязі.

Критерієм ефективності є мінімум сумарної вантажопідйомності рухомого складу.

Об'єктом моделювання є процес розподілу транспортних засобів.

Математична модель будується за заданими лініями перевезень та об'ємами перевезень по цим лініям.

Для транспортування вантажу є парк автомобілів, що характеризується кількістю, спеціалізацією та вантажопідйомністю транспортних засобів.

Для розв'язання такого типу задачі будемо використовувати метод оптимізаційного моделювання, який дозволяє оптимально закріпити одержувачів вантажу за вантажовідправниками.

### Основна частина

Для подальшої роботи введемо наступні позначення:

$n$  – кількість вантажоодержувачів або клієнтів;

$Q_j$  – об'єм перевезень на  $j$ -й лінії ( $j=1,2,\dots,n$ );

$m$  – кількість типів автомобілів, що використовуються під час перевезення вантажу;

$a_i$  – кількість автомобілів  $i$ -ого типу ( $i=1,2,\dots,m$ );

$q_i$  – вантажопідйомність автомобіля  $i$ -ого типу;

$w_{ij}$  – продуктивність одиниці рухомого складу  $i$ -ого типу на  $j$ -й лінії (у  $j$ -ого клієнта);

$x_{ij}$  – кількість автомобілів  $i$ -ого типу, що працюють на  $j$ -й лінії.

В математичній формі умова задачі, що розглядається, можна записати наступним чином: скласти план використання автомобілів

$X = \{x_{ij}\}$  за умов:

- кожному вантажоодержувачу вантаж має бути доставлено у повному обсязі:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} = Q_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

- кількість використаних при перевезення автомобілів кожного типу не може перевищувати наявну кількість:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

- змінні не можуть бути від'ємними:

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Для того щоб вирішувати задачу та шукати оптимальне рішення необхідно встановити ознаку, за якою будуть порівнюватися варіанти під час моделювання. Тобто обрати критерій ефективності. Даний критерій є досить важливим, у зв'язку з тим, що від нього залежить ефект рішення задачі.

Критерієм ефективності є мінімум сумарної вантажопідйомності рухомого складу, що використовується під час перевезення. Отже, задача про розподіл рухомого складу по лініям перевезень сформулюється наступним чином.

Необхідно мінімізувати сумарну вантажопідйомність автомобілів:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_i \cdot x_{ij} \quad (4)$$

за умов

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} = Q_j, j = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i = 1, 2, \dots, m; \quad (6)$$

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Задача (4) – (7) відноситься до розподільчих задач лінійного програмування, в деяких джерелах її називають узагальненою транспортною задачею.

Якщо детально розглянути сформульовану задачу, то можна помітити що у випадку недостатньої кількості автомобілів для виконання заданого об'єму перевезень, система (5) – (7) не вирішується, тобто не має жодного припустимого значення. У такому випадку можливі два варіанти вирішення задачі:

- 1) збільшення кількості транспортних засобів;
- 2) зменшення об'єму перевезень.

Звісно, що прийняття будь-якого рішення з цих двох призводить до додаткових складнощів у організаційних процесах та вимагає обґрунтувань. Але на практиці використовують як перший так і другий варіант.

Тож, розглянемо обидва варіанти та формалізуємо процес прийняття рішення по кожному з них.

### 1. Рішення задачі через збільшення транспортних засобів

Для виконання потрібного об'єму перевезень недостатньо наявного парку рухомого складу,

але є можливість збільшити його. На перший погляд задачу визначення рухомого складу, що є достатнім для заданого перевезення, можна сформулювати як систему (8):

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_i \cdot x_{ij} &\rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &= Q_j, j = 1, 2, \dots, n; \\ x_{ij} &\geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (8)$$

Формально рішення задачі (8) дозволяє визначити рухомий склад, який здатен перевезти заданий об'єм вантажу з мінімальною сумарною вантажопідйомністю. Але, якщо бути уважним, то можна помітити, що такий підхід правомірний тільки за умови повної відсутності рухомого складу. У випадку часткової нестачі рухомого складу рішення задачі (8) може привести до рекомендації не використовувати на заданих перевезеннях окремі одиниці транспортних засобів, а замість цього придбати нові автомобілі. Для уникнення такої проблеми, у задачу (8) включимо умову про придбання нових автомобілів тільки після використання всіх наявних:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq a_i, i = 1, 2, \dots, m.$$

Таким чином, задача, що розглядається, набуває наступного вигляду:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_i \cdot x_{ij} &\rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &= Q_j, j = 1, 2, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &\geq a_i, i = 1, 2, \dots, m; \\ x_{ij} &\geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (9)$$

У моделі (9) рухомий склад, що визначається кількісно по кожному типу автомобілів обмежено тільки величиною наявного автопарку. Іноді доцільно обмежити і кількість автомобілів, що можуть бути придбані, тоді задача набуває вигляду:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m q_i \cdot x_{ij} &\rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &= Q_j, j=1,2,\dots,n; \\ b_i &\geq \sum_{i=1}^n x_{ij} \geq a_i, i=1,2,\dots,m; \\ x_{ij} &\geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n. \end{aligned} \quad (10)$$

Отже, якщо є можливість до збільшення кількості рухомого складу для виконання заданого об'єму перевезень та необхідність кількісно та якісно обґрунтувати це збільшення, можна використовувати моделі (9) або (10).

## 2. Рішення задачі через зменшення об'єму перевезень

Для виконання потрібного об'єму перевезень, недостатньо наявного рухомого складу і відсутня можливість збільшити його кількість. У такому випадку можемо говорити про розумне зниження обсягів перевезень. При цьому є декілька варіантів постановки задачі.

За першим варіантом, вважаємо, що всі клієнти рівноцінні, тобто неможливо віддати перевагу жодному вантажоодержувачу.

Через  $\Delta_j$  обсяг вантажу, що було не доведено  $j$ -му вантажоодержувачу. Цей недовіз визначаємо як різниця між запланованим та фактичним об'ємом перевезення, тобто:

$$\Delta_j = Q_j - \sum_{i=1}^m w_{ij} \cdot x_{ij}, j=1,2,\dots,n. \quad (11)$$

Тоді, задачу оптимального розподілу транспортних засобів можна сформулювати як:

$$\max_j \Delta_j \rightarrow \min; \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1,2,\dots,m; \quad (13)$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n. \quad (14)$$

Критерій (12) зобов'язує так розподілити наявний рухомий склад, щоб максимальна з величин запланованого недовозу вантажу кожному вантажоодержувачу була б мінімальною.

Якщо недовіз вантажу кожному клієнту відобразити у відносних одиницях, тоді вираз (11) набуває вигляду:

$$\alpha_j = \frac{\Delta_j}{Q_j}, j=1,2,\dots,n,$$

а задача розподілу рухомого складу:

$$\max_j \alpha_j \rightarrow \min; \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1,2,\dots,m; \quad (16)$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n. \quad (17)$$

Критерій (15) вимагає розподілити так наявний парк рухомого складу, щоб максимальна величина запланованого недовозу вантажу кожному клієнту, що виражена у відносних одиницях, була мінімальною.

Крім того, у якості показника ефективності розподілу рухомого складу можна прийняти мінімум сумарного недовозу всім вантажоодержувачам, тобто  $\sum_{j=1}^n \Delta_j \rightarrow \min$ .

Якщо перетворити цей вираз з врахуванням (11), отримаємо ще один критерій та нову модель задачі:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} \rightarrow \max \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &\leq Q_j, j=1,2,\dots,n; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &\leq a_i, i=1,2,\dots,m; \end{aligned} \quad (19)$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n.$$

Підсумовуючи, можна сказати, у випадку коли всі клієнти рівноцінні і не можна віддати перевагу жодному з них, тоді розподіл транспортних засобів можна проводити по одному з трьох критеріїв: (12), (15) або (18). Кожен з них має свої переваги та застосовується в залежності від поставленої мети та умов перевезень. Критерій (12) та (15) доцільно використовувати у ситуаціях, коли бажано недовіз вантажу кожному вантажоодержувачу зробити майже однаковим. Проте, сумарний об'єм вантажу перевезень не буде максимальним. Критерій (18) доцільно застосовувати тоді, коли потрібно перевезти максимальний сумарний об'єм вантажу та відсутня необхідність зрівнювати величину недовозу кожному клієнту.

У випадку, коли клієнти не рівноцінні, необхідно кожному клієнту поставити коефіцієнт відносної важливості (цінності)  $c_j (j=1, 2, \dots, n)$ , що визначає у відносних одиницях шкоду, що наноситься  $j$ -ому клієнту під час недовозу йому 1 тони вантажу. Тоді критерій розподілу рухомого складу записується наступним чином

$$\sum_{j=1}^n c_j \cdot \Delta_j \rightarrow \min,$$

а з врахуванням формули (11)

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_j \cdot x_{ij} \cdot w_{ij} \rightarrow \max,$$

та модель задачі набуває вигляду: або мінімізувати вираз:

$$\sum_{j=1}^n c_j \cdot \Delta_j \quad (20)$$

за умов

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &\leq Q_j, j=1, 2, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &\leq a_i, i=1, 2, \dots, m; \\ x_{ij} &\geq 0, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (21)$$

або максимізувати вираз

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_j \cdot x_{ij} \cdot w_{ij} \quad (22)$$

за тих же умов. Критерій (20) означає сумарну шкоду у відносних одиницях, що наноситься всім  $n$  клієнтам з причини недовозу їм необхідних обсягів вантажу. Рішення задач (20), (21) та (21), (22) дозволяє мінімізувати цю шкоду.

Якщо деяким клієнтам необхідно виконати заданий об'єм повністю, а іншим можливий недовіз, при чому з точки зору шкоди від цього клієнти рівноцінні. Тоді за аналогією вищезазначені математичні моделі розподілу рухомого складу формулюються наступним чином:

- при мінімізації максимальної з величин недовозу вантажу кожному клієнту в абсолютних одиницях:

$$\max_{j \in J_2} \Delta_j \rightarrow \min;$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} = Q_j, j \in J_1; \quad (23)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1, 2, \dots, m;$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$$

- при мінімізації максимальної з величин недовозу вантажу кожному клієнту, що виражена у відносних одиницях:

$$\max_{j \in J_2} \alpha_j \rightarrow \min;$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} = Q_j, j \in J_1; \quad (24)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1, 2, \dots, m;$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n.$$

- при мінімізації об'єму перевезень:

$$\sum_{j \in J_2} \sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} \rightarrow \max$$

$$\sum_{i=1}^m x_i \cdot w_{ij} = Q_j, j \in J_1;$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} \leq Q_j, j \in J_2; \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1, 2, \dots, m;$$

$$x_{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n.$$

Множина  $J_1$  включає в себе номери  $j$  тих клієнтів, вантаж яким має бути доставлено у повному обсязі, а множина  $J_2$  – номери клієнтів, що залишилися, вантаж яким може бути не доставлено повністю або частково.

Припустимо, що одним клієнтам необхідно доставити вантаж повністю, а іншим можливий недовіз, при чому по втратах від невиконання перевезень останні нерівноцінні. Тоді математична модель задачі розподілу рухомого складу формулюється так:

$$\sum_{j \in J_2} \sum_{i=1}^m c_j \cdot x_{ij} \cdot w_{ij} \rightarrow \max \quad (26)$$

за умов

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &= Q_j, j \in J_1; \\
\sum_{i=1}^m x_{ij} \cdot w_{ij} &\leq Q_j, j \in J_2; \\
\sum_{i=1}^n x_{ij} &\leq a_i, i = 1, 2, \dots, m; \\
x_{ij} &\geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n /
\end{aligned}
\tag{27}$$

Таким чином, у даному дослідженні були сформульовані різні математичні моделі задач оптимального розподілу рухомого складу, в залежності від конкретних умов перевезень.

### Висновки

У даній статті наведена математична модель задач оптимального розподілу транспортних засобів, яка сформульована наступним чином: за заданими напрямками доставки вантажу та об'ємами перевезень по ним та певної кількості автомобілів різних типів, необхідно розподілити рухомий склад для забезпечення доставки вантажу кожному клієнту у повному обсязі та найбільш ефективно.

Для того щоб вирішити цю задачу було встановлено ознаку, за якою порівнювалися варіанти під час моделювання. Тобто був обраний критерій ефективності – мінімум сумарної вантажопідйомності рухомого складу, що використовується під час перевезення.

При детальному розгляді сформульованої задачі, було помічено, що у випадку недостатньої кількості автомобілів для виконання заданого об'єму перевезень, система не має жодного припустимого значення. У такому випадку були розглянуті два варіанти вирішення задачі:

- збільшення кількості транспортних засобів;
- зменшення об'єму перевезень.

Тому було розроблено математичну модель оптимального розподілу транспортних засобів, якщо є можливість до збільшення кількості рухомого складу для виконання заданого об'єму перевезень, яка допомагає кількісно та якісно обґрунтувати це збільшення.

Для другого випадку, коли відсутня можливість до збільшення кількості рухомого складу, були розроблені моделі щодо зменшення об'єму перевезень. У моделях враховувалася рівноцінність клієнтів щодо недовозу вантажу.

На базі створених моделей можуть бути розроблені алгоритми для вирішення задач оптимального розподілу транспортних засобів, кожен із

яких може бути запрограмований та реалізований за допомогою обчислювальної техніки та використовуватися для практичних розрахунків.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Скукис А. Е. Оптимизационные задачи в транспортной логистике. *Теорія оптимальних рішень*. 2015. № 2015. С. 106-113.
2. Hennessy B. Utveckling priser kombinerade transporter företag. *Sverige*. 2004. P. 58–67.
3. Некрасов А. Г., Міротін Л. Б., Меланіч Е. В. Управління ланцюгами постачань у транспортному комплексі : К : Лінія, 2012. 192 с.
4. Перебийніс В. І. Транспортно-логістичні системи підприємств: формування та функціонування : Полтава : РВВ ПУСКУ, 2005. 238 с.
5. Калиниченко А. П. Повышение эффективности совместной работы грузовых автомобилей и погрузочно-разгрузочных средств : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.20 : ХНАДУ, Харьков, 2003. 19 с.
6. Рогач С. М. та ін. Економіка і підприємництво, менеджмент. Київ : Компрінт, 2015. 320 с.
7. Лукинський В. С., Плетньова Н. Г. Проблеми формування прикладної теорії логістики та управління ланцюгами поставок. Київ : Ліра, 2011. 206 с.
8. Eksioglu B., Vural A. V., Reisman A. The vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*. 2009. No. 4. P. 1472–1483.
9. Dabia S., Ropke S., Van Woensel T. Branch and cut and price for the time dependent vehicle routing problem with time windows. *Transportation Science*. 2010. No. 11. P. 56–62.
10. Кічкіна О.І. Моделювання поведінки транспортно-складської системи. *Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля*. Луганськ : СУНУ, 2012. № 6(177). С. 312–314.
11. Дудукалов Ю.В. Применение методов нечеткого моделирования для оптимизации транспортных систем. *Вісн. СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт* : Севастополь, 2011. С. 61–64.
12. Алькема В.Г. Маршрутизації доставки вантажів автомобільним транспортом. *Збірник наукових праць НТУ*. 2011. С. 108-113. URL: [www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/cgiirbis\\_64](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/cgiirbis_64) (дата звернення: 09.10.2023)
13. Бідняк М.Н., Мороз О. В. Оперативне управління перевезеннями вантажів малими партіями. Проблеми інформації та управління. *Зб. Наук. пр.* К : НАУ, ДДАТУ, 2013. вип. 7. С. 68-72
14. Нагорний Є.В., Левтеров А. І., Дорохов О.В. Ефективна реалізація інтерфейсу користувача при розробці інформаційних систем транспортного обслуговування. *Автомоб. трансп.: Зб. наук. пр.* : Харків, 2013. Вип. 12. С. 11-14
15. Бекетов О.Ю., Наумов В. С. Розрахунок раціональної структури парку рухомого складу. *Вісник ХНАДУ* : 2003. №22. С.65 - 68.
16. Панов С.А. Удосконалення перевезень на автомобільному транспорті : К. : Освіта, 2012. 153 с

17. Нагорний Є. В., Андросенко В. В. Методика вибору споживачем центру транспортного сервісу при нечіткому представленні переваг на множині альтернатив. *Автомобільний транспорт*. 2004. №14 С.72-74.

18. Забара С. С., Дехтярук М. Т. Розробка автоматизованої системи оптимізації роботи

перевантажувального комплексу. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. №1/3 (73). С. 8-14

Надійшла до редколегії 08.11.2023.

Прийнята до друку 22.11.2023.

O. KHARCHENKO, O. SAKAL, A. KARAPYSH

## OPTIMIZATION OF THE DISTRIBUTION OF ROLLING STOCK DURING THE TRANSPORTATION OF GOODS BY ROAD TRANSPORT

**Purpose.** Transport costs increase the cost of a product by one third, and in some cases, the delivery of cargo increases the cost of goods by an amount equivalent to the cost of the goods themselves. Therefore, reducing the share of transport costs is a priority for many businesses. One of the ways to achieve the goal of reducing transport costs is through the efficient use and distribution of rolling stock. A purpose is the research and development of a mathematical model for solving the problem of optimal distribution of vehicles, which takes into consideration the real necessities of cargo owners and possibilities of trucking companies at distribution of vehicles to the lines of transportations. **Methodology.** The research task is the efficient use of rolling stock for the delivery of goods between shippers and consignees in full according to the efficiency criterion – the minimum total carrying capacity of rolling stock. The object of modelling is the process of vehicle distribution. To solve this type of problem, the optimisation modelling method was used, which allows for the optimal assignment of consignees to shippers. **Findings.** This article provides the mathematical model of task of optimal distribution of vehicles, which solves the problem formulated as follows: according to the given direction of cargo delivery and volume of transportation along them and the determined number of trucks of different types, need to distribute the vehicles for ensure of delivery of cargo to each customer in full volumes and most effectively. **Originality.** Mathematical model allows to solve the problem of optimal distribution of vehicles in case of insufficient number of trucks in two different ways. In case of a possibility to the increasing of number of vehicles for performing of a given volume of transportations – due to the increasing of amount of vehicles. If there is no possibility to the increase of number of vehicles – due to reduction of volume transportations considering an equivalence of customers in case of under delivery of cargo. **Practical value.** Practical value is that a mathematical model allows takes into consideration the real necessities of cargo owners and possibilities of trucking companies at distribution of vehicles to the lines of transportations. On the basis of the created models there can be developed algorithms for the solving of tasks of optimal distribution of vehicles, each of that can be programed and realized by means of the computer technology and used for practical calculations.

*Keywords:* distribution of vehicles, mathematical model, linear programming, road transport.