

УДК 656.13.58

**ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ЗМІШАНОГО МЕТОДУ
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
ВАНТАЖІВ**

Д-р техн. наук В. П. Сахно, кандидати техн. наук С. М. Шарай, В. М. Поляков,
асист. Д. О. Дехтяренко, магістр Д. А. Бабина

**THE THEORETICAL BASIS FOR USING THE MIXED METHOD OF MULTI-
CRITERIAL ANALYSIS FOR ROUTING OF CARGO TRANSPORTATION**

**D. Sc. (Tech.) V. Sakhno, PhD (Tech.) S. Sharai, PhD (Tech.) V. Poliakov,
assistant D. O. Dekhtiarenko, master D. A. Babyna**

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.188.2019.206196>

В статті розглядаються можливості вирішення завдання маршрутизації мультимодальних перевезень вантажів, які можуть виконуватись із залученням різних видів транспорту, за допомогою змішаного методу прийняття рішення на основі багатокритеріального аналізу з використанням штучних нейронних мереж. Формування маршруту доставки вантажу та визначення видів транспорту для виконання перевезень на ділянках прямування маршруту здійснюються з урахуванням критеріїв вибору та оцінювання, вага впливу яких визначається методом розмитих коефіцієнтів. За допомогою

програмного середовища MS Excel сформовано 3-шарову нейронну мережу для маршрутизації мультимодальних перевезень вантажів. На основі проведених розрахунків за сукупним ефектом декількох критеріїв оцінювання визначені види транспорту для виконання перевезень на ділянках маршруту доставки вантажу у міжнародному сполученні.

Ключові слова: маршрутизація перевезень, вид транспорту, критерій вибору, багатокритеріальний аналіз, змішаний метод, нейронна мережа.

The article deals with the possibilities of solving the problem of multimodal freight routing that can be performed with the involvement of different types of transport, using a mixed decision method based on multi-criteria analysis using artificial neural networks. The issues of planning, organizing and ensuring the implementation of the transport-technological process of cargo delivery in the international connection are connected with the solution of a number of tasks, among which the important place is occupied by the routing of transportations and the choice of efficient types of transport for their fulfillment. Their solution is aimed at the efficient use of the transport resources of the enterprise to fulfill orders for the transportation of goods while ensuring their quality and efficiency in terms of costs incurred. Carrying out transportation on the developed rational routes of cargo delivery increases the efficiency of vehicles of different types of transport, the efficiency of transport enterprises, reducing the logistical costs of all participants in the logistics chain of cargo delivery. Effective planning of the transportation process involves forecasting the receipt of requests for transportation, the volume of transportation in different customs modes, variants of routes of transportation and the use of type of transport for their implementation, etc., which can be implemented with the help of modern mathematical apparatus for the formation of artificial neural networks. Artificial neural networks can be used for form of cargo delivery routes and in the choice of types of transport, as they allow accurate forecasts, taking into account many factors that affect the transport process. Formation of the route of delivery of cargo and definition of types of transport for the performance of transportations on the sections of the route are carried out taking into account the selection and evaluation criteria, the weight of influence of which is determined by the method of blurred coefficients. Using the MS Excel software environment, a 3-layer neural network was formed to route multimodal cargo transportation. Based on the calculations made by the cumulative effect of several evaluation criteria, the types of transport for the transportation on the sections of the route of delivery of goods in international traffic were determined.

Keywords: transportation routing, type of transport, selection criterion, multi-criteria analysis, mixed method, neural network.

Вступ. Питання планування, організації та забезпечення виконання транспортно-технологічного процесу доставки вантажів у міжнародному сполученні пов'язані із вирішенням ряду завдань, серед яких важливе місце займають маршрутизація перевезень і вибір ефективних видів транспорту для їхнього виконання. Вирішення цих завдань спрямоване на ефективне використання транспортних ресурсів підприємства для виконання замовлень на перевезення вантажів при забезпеченні їхньої якості та

ефективності з точки зору понесених витрат. Виконання перевезень за розробленими раціональними маршрутами доставки вантажу підвищує ефективність використання рухомого складу, ефективність роботи підприємств транспорту, зменшуючи логістичні витрати всіх учасників логістичного ланцюга доставки вантажів. Ефективне планування виконання перевізного процесу передбачає прогнозування надходжень заявок на перевезення, обсягів перевезень в різних митних режимах, варіантів маршрутів

перевезення та використання видів транспорту для їхнього виконання тощо, яке можна реалізувати за допомогою сучасного математичного апарату формування штучних нейронних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи вирішення завдань організації та виконання процесу перевезення вантажів потребують удосконалення з урахуванням запитів і вимог, які висуваються замовниками транспортних послуг, факторів, які впливають на перевізний процес, що потребує від надавачів таких послуг використання сучасних математичних методів та програмних засобів. Для вирішення завдань маршрутизації використовують багатокритеріальний аналіз. При формуванні маршрутів доставки вантажів та виборі видів транспорту для виконання перевезень можуть бути застосовані штучні нейронні мережі [1-13]. Науковцями пропонується використання змішаного методу щодо прийняття рішень при визначенні критерію вибору й оцінювання його ваги на основі поєднання багатокритеріального аналізу та нейронної мережі [14-16].

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є формування маршруту доставки вантажу у міжнародному сполученні з вибором виду транспорту для виконання перевезень на різних ділянках маршруту за допомогою змішаного методу прийняття рішення на основі багатокритеріального аналізу з використанням штучних нейронних мереж.

Для досягнення сформованої мети потрібно вирішити такі завдання:

- сформувати критерії вибору для визначення виду транспорту, яким буде здійснюватись перевезення на відповідній ділянці маршруту, та параметри їх оцінювання;

- встановити ваги вхідних даних першого шару нейронної мережі шляхом використання методу розмитих коефіцієнтів;

- побудувати 3-шарову нейронну мережу для маршрутизації мультимодальних перевезень вантажів;

- сформувати маршрут доставки вантажу у міжнародному сполученні;

- визначити види транспорту для виконання перевезень вантажу на ділянках прямування маршруту.

Основна частина дослідження. З метою формування маршруту доставки вантажу та вибору виду транспорту для виконання перевезень вантажів з використанням мультимодальної транспортної мережі розглядаються критерії вибору, що включають критерії їх оцінювання, структура яких наведена на рис. 1 [14].

Згідно з рис. 1 на першому рівні виконується маршрутизація мультимодальних перевезень. На другому рівні розташовані фактори для вибору виду транспорту, які наведені у вигляді вартості, часу та якості перевезення, технічних характеристик транспортного засобу, якості надання транспортних послуг та впливу на економіку країни. Підфактори на третьому рівні подано у вигляді 15 критеріїв оцінювання.

Для визначення ваги впливу критеріїв вибору використовується метод розмитих коефіцієнтів [17-18], базуючись на експертних оцінках. Формування ваги вхідних даних першого шару нейронної мережі шляхом використання методу розмитих коефіцієнтів здійснюється за таким алгоритмом [17]:

- розроблення системи розрахунків розмитих коефіцієнтів;

- синтез отриманої системи з класичним методом переходу;

- формулювання підходів для здійснення остаточного ранжування.

Розмиті коефіцієнти – це зважені показники впливу згладжування переходу від бальної до рангової форми, тобто для m -кількості послідовностей з n -кількістю елементів вони відповідно складають

$$y_i^m = \frac{Z_i^m}{\sum_{i=1}^{n^m} Z_i^m}, \quad (1)$$

де y_i^m – розмитий коефіцієнт переходу від бальної до рангової форми для i -го елемента m -ї послідовності;

n^m – кількість елементів в m -й послідовності;

Z_i^m – зважена зворотна величина від бальної оцінки.



Рис. 1. Ієрархічна структура критеріїв вибору виду транспорту при маршрутизації мультимодальних перевезень

Для здійснення переходу необхідне виконання вимоги $n^m = const$, тобто кількість елементів у всіх послідовностях має бути величиною постійною. В разі

невиконання наданої вимоги потрібно вводити додаткові елементи з нульовим значенням. Зважена зворотна величина від бальної оцінки знаходиться за виразом

$$Z_i^m = \frac{\max_{i=1}^S (x_i)}{x_i}, \quad (2)$$

де x_i – бальна оцінка i -го елемента;

$\max_{i=1}^S (x_i)$ – максимальний бал по всіх елементах всіх m -послідовностей;

S – загальна кількість елементів у всіх послідовностях, $S = n^m \times m$.

Для здійснення синтезу отриманої системи з класичним методом переходу необхідно ввести однаковий для всіх послідовностей спеціальний додатковий коефіцієнт D :

$$D = \sum_{k=1}^n r_k, \quad (3)$$

де r_k – ранг елемента послідовності.

Для максимального елемента, коли $k=1$, значення $r_k = 1$, тобто $r_1=1$. Для наступного елемента, коли $k=2$, значення $r_k=2$, тобто $r_2=2$.

Остаточний перехід здійснюється з використанням залежності

$$R_i^m = D \times y_i^m, \quad (4)$$

де R_i^m – скоригований за допомогою розмитих коефіцієнтів ранг i -го елемента.

Для перевірки узгодженості критеріїв оцінювання використаємо коефіцієнт кореляції рангів Спірмена:

$$p = 1 - \frac{6 \times S(d^2)}{n^3 - n}, \quad (5)$$

де $S(d^2)$ – сума квадратів відхилення.

Для застосування методу розмитих коефіцієнтів сформовано вихідні дані коефіцієнтів критеріїв оцінювання, отриманих на основі експертних оцінок. З використанням виразів (1-4) виконано переведення результатів опитування з бального до рангового вигляду з застосуванням розмитих коефіцієнтів та без них і сформовано вихідні дані у ранговому вигляді. За виразом (5), розрахована узгодженість оцінок експертів за допомогою коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена, які показують динамічну зміну залежності між експертними оцінками для визначених пар експертів, у той час як коефіцієнти, розраховані без розмитих коефіцієнтів, такої динаміки не показують. Наведено вхідні дані для вхідного (першого) нейронного шару нейронної мережі з використанням отриманих коефіцієнтів, які враховують вагу впливу досліджуваних критеріїв оцінювання.

Вирішення завдання маршрутизації запропонованим змішаним методом для формування маршруту перевезення вантажу у міжнародному сполученні та вибору виду транспорту на відповідній ділянці маршруту відбувається шляхом дотримання такого положення: завдання багатокритеріального вибору функції $p = (X, f)$ з певною кількістю цільових функцій у випадку існування функції користі альтернатив $F(f(x))$ може бути апроксимована за допомогою 3-шарової нейронної мережі прямого поширення, яку «навчають» за допомогою методу зворотного поширення помилки (під навчанням мається на увазі підбір функціональної залежності, при якій дисперсія розкиду отриманих результатів буде мінімальною). В такому випадку нейронна мережа прямого поширення матиме один вихід та q - кількість входів і критеріїв оцінювання. При використанні нейронних мереж для вирішення завдання багатокритеріального вибору однорідний критерій методу зворотного поширення помилки є основою для побудови функції

користі $F(f(x))$. При вирішенні завдання багатокритеріального вибору шляхом використання нейронної мережі прямого поширення припускаємо, що вага нейронних зв'язків мережі є невід'ємною під час «навчання» даної мережі.

Використання математичного апарату формування штучних нейронних мереж знаходить своє застосування в різних напрямках вирішення завдань функціонування галузі транспорту. Основними сферами застосування нейронних мереж є апроксимація функцій, асоціативна пам'ять, стиснення даних, розпізнавання та класифікація, оптимізаційні задачі, керування складними процесами та прогнозування [4]. Одним з методів ефективного оперативного планування перевізного процесу є апарат штучних нейронних мереж [3]. Принцип роботи такої нейронної мережі базується на пошуку схожих параметрів процесу перевезень вантажів у міжнародному сполученні для формування відповідної тривалості виконання оборотного рейсу та використання виду транспорту при наявності інформації про замовників і виконавців перевезень, вид та обсяги вантажу, умови та вимоги до виконання перевезень. Одним з таких напрямів може стати прогнозування щодо формування варіантів маршрутів перевезення вантажу та вибору видів транспорту для їхнього виконання. При розробленні нейронної мережі для вирішення певного завдання слід розглянути декілька варіантів, що відрізняються, наприклад, кількістю нейронів у шарах, кількістю прихованих шарів тощо [5, 6]. Основними показниками, за якими можна виконати порівняння обраних нейронних мереж, можуть бути такі параметри, як мінімальна похибка, а також високий коефіцієнт кореляції між фактичними та розрахованими даними.

Розглянемо процес формування нейронної мережі з використанням змішаного методу прийняття рішення на основі багатокритеріального аналізу для

вирішення завдання маршрутизації мульти-модальних перевезень вантажів. Структура алгоритму модифікованої нейронної мережі для вирішення завдання багатокритеріального вибору наведена на рис. 2 [14].

Змішаний метод вирішення завдання багатокритеріального вибору складається із таких кроків:

1. Визначення набору альтернативних варіантів. За альтернативи приймаємо цілі, з якими порівнюється основна мета.

2. Визначення критеріїв оцінювання шляхом аналізу релевантної інформації та експертних оцінок для виключення неможливих та некоректних альтернативних варіантів.

3. Ідентифікація нейромережних вузлів «вхід-вихід», враховуючи обмеження теорії нечітких чисел. Кількість вузлів шару входу має дорівнювати кількості гармонізованих критеріїв оцінювання, а результат оцінювання повинен знаходитись у шарі виходу таким чином, щоб шар виходу нейронної мережі мав лише один результат.

4. Формування опитування з наданням ваги критеріям оцінювання. Причому попарне порівняння здійснюється за допомогою трикутного нечіткого числа з вершиною (або центром) m , шириною лівої сторони l та шириною правої сторони u , та яке визначається системою з трьох елементів (l, m, u) .

5. Надання ваги вхідним даним нейронної мережі, враховуючи обмеження теорії розмитих чисел.

Найпоширенішими функціями активації є сигмоїда або експонента (логістична функція). Лінійна функція використовується здебільшого в прихованому шарі, де відбувається безпосередній вибір за багатокритеріальним критерієм за умов нестрогої регулярності (стабільності): функція неперервна, обмежена, опукла та монотонно зростаюча. Незалежно від того, потрапить «тренування» нейронної мережі у локальний мінімум чи максимум, введені особою, що приймає рішення, вхідна вага критеріїв оцінювання впливатиме на час «тренування».



Рис. 2. Структура алгоритму модифікованої нейронної мережі для вирішення завдання багатокритеріального вибору

Таким чином, якщо вихідна вага критеріїв оцінювання занадто велика – сигмоїда досягне свого екстремуму з найменш можливою похідною, тоді похідні вхідних даних дорівнюватимуть нулю і процес «тренування» припиниться. Для досягнення максимальної збіжності нейронної мережі в процесі «тренування» пропонується використання методу

нечітких чисел для розрахунку ваги критеріїв оцінювання з подальшим використанням результату розрахунків як вхідних даних для нейронної мережі.

Трикутне нечітке число M_{ij} , $(i, j = 1, 2, \dots, n)$ виражає попарне порівняння i -го та j -го критеріїв оцінювання. Відповідно до теорії нечітких

чисел, комплексний ранг нечіткого числа i -го критерію оцінювання (S_i) визначається за формулою

$$S_i = \sum_{j=1}^n M_{ij} \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1}. \quad (6)$$

Величина S_i використовується для визначення рангу критеріїв оцінювання. $S_1 = (l_1, m_1, u_1)$ та $S_2 = (l_2, m_2, u_2)$. Ймовірність того, що $S_1 \geq S_2$ позначається як $V(S_1 \geq S_2)$ та визначається за формулою

$$V(S_1 \geq S_2) = 1, \text{ коли } m_1 \succ m_2,$$

$$V(S_1 \geq S_2) = \begin{cases} \frac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)}, l_2 \leq u_1, & \text{коли } m_1 \leq m_2. \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases} \quad (7)$$

Якщо A_i описує i -й критерій оцінювання, тоді вага i -го критерію

оцінювання нечіткого числа $w'(A_i)$ визначається за формулою

$$w'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) (k = 1, 2, \dots, n, k \neq i). \quad (8)$$

Наведена нижче функція використовується для приведення до вигляду $w'(A_i) (i = 1, 2, \dots, n)$:

$$w(A_i) = \frac{w'(A_i)}{\sum_{j=1}^n w'(A_j)} (i = 1, 2, \dots, n). \quad (9)$$

6. Збір отриманої статистичної інформації. Для оцінювання за кількісним критерієм відбувається збір офіційних публікацій та проводиться дослідження. Для оцінювання за якісним критерієм проводиться опитування з метою визначення цінності альтернативних варіантів, отриманих при зборі інформації для кількісного критерію, за методом оцінювання (де 1 – дуже погано, 2 – погано, 3 – середньо, 4 – добре, 5 – дуже добре).

7. Упорядкування матриці вхідних даних для «навчання» нейронної мережі та тестування.

Отримані результати мають бути безкінечно малими величинами для того, аби:

- забезпечити сходження та пропорційність критеріїв оцінювання різних методів, які застосовуються;
- виключити випадки, коли використання багатокритеріального аналізу з нейромережною матрицею вхідних даних призводить до ситуацій, коли ефективність критеріїв меншої цінності більша, ніж ефективність пріоритетних критеріїв;
- досягнути максимальної гнучкості й ефективності сигмоїдної функції як функції активації з обмеженням вхідних даних від нуля до одиниці $[0, 1]$.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq q} (x_{ij})}; \quad (10)$$

$$r_{ij} = \frac{\min_{1 \leq i \leq q} (x_{ij})}{x_{ij}};$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq q} (x_{ij})}{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq q} (x_{ij})}, \text{ коли } r_{ij} \in \left[\min_{1 \leq i \leq q} (x_{ij}), x_{ij} \right]; \quad (11)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_{1 \leq i \leq q} (x_{ij}) - x_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq q} (x_{ij}) - x_{ij}}, \text{ коли } r_{ij} \in \left[x_{ij}, \max_{1 \leq i \leq q} (x_{ij}) \right]. \quad (12)$$

Залежно від критеріїв оцінювання використовують такі методи стандартизації вихідних даних: для критерію ефективності - вираз (10) з метою забезпечення максимальної ефективності; для критерію витрат – вираз (11) з метою забезпечення мінімальних грошових витрат; для критерію достовірності вихідних даних – вираз (12) з метою забезпечення максимальної достовірності отриманих результатів.

8. Упорядкування матриці вхідних даних для «навчання» нейронної мережі. Якщо матриця вхідних статистичних даних є достатньою, гнучкою та піддається усередненню, тоді використання нейронної

мережі дозволить отримати максимально достовірний результат із мінімальною імовірністю помилки, що свідчатиме про те, що підібрана функціональна залежність є придатною до використання виходячи із заданих вхідних даних. Проте, в загальному випадку, можлива лише скінченна дискретна множина альтернативних варіантів вирішення завдання багатокритеріального вибору. Для досягнення максимальної ефективності використання нейронної мережі рекомендується використання таких попарних вхідних даних, які задовольняють встановлені обмеження $F(f(x)) > F(f(y))$ [14].

$$r^+ = \{r_1^+, r_2^+, \dots, r_q^+\} r_j^+ = \max_{i=1, \dots, p} r_{ij}; \quad (13)$$

$$r^- = \{r_1^-, r_2^-, \dots, r_q^-\} r_j^- = \min_{i=1, \dots, p} r_{ij}; \quad (14)$$

$$r^* = \{r_1^*, r_2^*, \dots, r_m^*\} = \left\{ \frac{r_1^+ + r_1^-}{2}, \frac{r_2^+ + r_2^-}{2}, \dots, \frac{r_q^+ + r_q^-}{2} \right\}. \quad (15)$$

Припустимо, що найкращий варіант вирішення багатокритеріального завдання вибору має критерії оцінювання відповідно з найбільшим і найменшим пріоритетом, тому, застосовуючи принципи концепції TOPSIS [14-16] (англ. The Technique for

Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) – один із методів теорії багатокритеріального вибору, який базується на тому, що найкраща альтернатива, яка може бути обрана, розташована геометрично ближче до позитивного можливого варіанта

вибору (альтернативи) та далі від негативного можливого варіанта вибору (альтернативи), пропонується використання виразів (13) і (14) для визначення найбільш ефективного та найменш ефективного критеріїв оцінювання відповідно r^+ та r^- . Із застосуванням виразів (12) і (13) за допомогою арифметичного середнього було визначено залежність (15) для розрахунку середнього значення r^* . Для забезпечення монотонного збільшення функції пар вхідних-вихідних значень при «навчанні» нейронної мережі рекомендується багаторазове використання виразів (12-14).

9. «Навчання» нейронної мережі та тестування її узагальнюючих можливостей:

а) поділ даних (статистичних та отриманих результатів) на два набори випадковим способом для утворення «навчального» і тестового наборів;

б) вибір структури нейронної мережі та встановлення параметрів «тренування»:

- визначення кількості шарів нейронної мережі;

- визначення кількості вхідних і вихідних вузлів (визначається виходячи з практичних міркувань);

- вибір початкової ваги критеріїв оцінювання;

- встановлення швидкості навчання та стохастичного градієнта (ітеративний метод оптимізації градієнтного спуску за допомогою стохастичного наближення. Застосовується для прискорення пошуку цільової функції шляхом використання обмеженого за розміром тренувального набору, який вибирається випадково при кожній ітерації), максимальної величини похибки та максимального періоду навчання;

в) при досягненні максимальної величини похибки або максимального періоду навчання процес «навчання» нейронної мережі зупиняється;

г) перші три кроки повторюються для різних конфігурацій нейронної мережі з різними навчальними параметрами для

вибору найкращої її структури. Для досягнення максимального ефекту рекомендується задавати вагу критеріям оцінювання у вигляді невід'ємних значень;

д) отримані результати оцінювання використовуються для оцінювання апроксимуючої здатності нейронної мережі.

10. Формування моделі/конфігурації нейронної мережі для вирішення завдання багатокритеріального вибору.

Розглянемо, як приклад, вирішення завдання маршрутизації мультимодальних перевезень вантажів, що можуть виконуватись із залученням різних видів транспорту (залізничного, автомобільного, авіаційного) з використанням нейронної мережі у напрямку Україна-Латвія, на транспортній мережі, яка включає такі транспортні вузли: м. Київ, м. Бориспіль, м. Рига, м. Лимбажи, для якого були задані такі параметри нейронної мережі:

- конфігурація мережі: три шари нейронів (один вхідний шар, один вихідний шар та один прихований шар);

- функція активації прихованого шару: сигмоїдна крива;

- кількість нейронів: у вхідному шарі – 6, у прихованому шарі – 6, у вихідному шарі – 6;

- алгоритм «навчання» нейронної мережі: метод зворотного поширення помилки;

- швидкість навчання: епоха – 100 ітерацій;

- максимальна середньоквадратична похибка отриманих даних: 0,25.

Проведені відповідно до поданого алгоритму дій операції щодо побудови нейронної мережі дали можливість сформулювати модель 3-шарової нейронної мережі, яка була використана для маршрутизації мультимодальних перевезень вантажів у міжнародному сполученні.

В результаті вирішення завдань для досягнення поставленої мети, а саме формування маршруту доставки вантажу у міжнародному сполученні з вибором виду

транспорту для виконання перевезень на різних ділянках маршруту за допомогою змішаного методу прийняття рішення на основі багатокритеріального аналізу з використанням штучних нейронних мереж, було визначено 6 груп критеріїв вибору та 15 критеріїв оцінювання, вага впливу яких визначалася за допомогою методу розмитих коефіцієнтів. На даній транспортній мережі було визначено 56 можливих варіантів комбінацій видів транспорту для виконання перевезень вантажу на відповідних ділянках маршруту. Використовуючи програмне середовище MSExcel, було створено 3-шарову нейронну мережу для маршрутизації мультимодальних перевезень вантажів на оборотному рейсі м. Київ (Україна) – м. Лимбажи (Латвія) – м. Київ (Україна). Розрахована середньоквадратична похибка становила 0,034 %, що значно менше за задане значення максимальної

середньоквадратичної похибки отриманих даних. Результатом розрахунків нейронної мережі стала комбінація таких видів транспорту для виконання перевезень: залізничний, автомобільний, авіаційний.

Висновки. Розглянуто питання формування маршруту доставки вантажу у міжнародному сполученні з вибором виду транспорту для виконання перевезень на різних ділянках маршруту за допомогою змішаного методу прийняття рішення на основі багатокритеріального аналізу з використанням штучних нейронних мереж. За допомогою програмного середовища MSExcel сформовано 3-шарову нейронну мережу для маршрутизації мультимодальних перевезень вантажів. На основі проведених розрахунків за сукупним ефектом декількох критеріїв оцінювання визначено види транспорту для виконання перевезень на ділянках маршруту доставки вантажу у міжнародному сполученні.

Список використаних джерел

1. Дорохов О. В. Маршрутизація перевезень фармацевтичної продукції на основі нейромережного підходу: Зб. наук. праць Харківського університету повітряних сил. 2009. Вип. 1. С. 153–156.
2. Дорохов О. В. Методика багатокритеріального вибору автобусів для міжміських перевезень та її комп'ютерна реалізація. Вестник ХНАДУ. 2008. Вып. 42. С. 117–120.
3. Bavarian B. Introduction to Neural Networks for intelligent Control. Control Systems Magazine, IEEE. 1988. № 6(2). P. 3–7. URL: https://www.academia.edu/27779746/Introduction_to_neural_networks_for_intelligent_control (last access: 13.10.2019).
4. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. Москва, 2006. 1104 с.
5. Руденко О. Г., Бодянский С. В. Штучні нейронні мережі: навч. посібник. Харків, 2006. 404 с.
6. Новотарський М. А., Нестеренко Б. Б. Штучні нейронні мережі: обчислення. Праці Інституту математики НАН України. Київ, 2004. Т. 50. 408 с. URL: http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Biblioteka_trudy/ShtuchnNejronMeregNester2004.pdf (дата звернення: 13.10.2019).
7. Вернигора Р. В., Сльнікова Л. О. Можливості використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні поїзної роботи залізничних напрямків. Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. 2014. Вип. 7. С. 15–19.
8. Бодянский Е. В., Руденко О. Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения : монография. Харьков, 2004. 369 с.
9. Филиппенко О. И., Филиппенко И. Г. Биологические, искусственные и нейроавтоматные сети – сравнительный анализ. Ч. 2. Искусственные нейронные сети. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2005. № 3/2(15). С. 87–93.

10. Доценко Ю. В. Розробка математичної моделі оптимального використання технічних засобів залізниці на основі теорії нейронних мереж. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2005. № 6/2(18). С. 37–39.
11. Лаврухин А. В. Формирование интеллектуальной модели функционирования железнодорожной станции при выполнении поездной работы. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. 2015. № 1(55). С. 43–53.
12. Бережна Н. Г. та ін. Проблеми транспортно-логістичного забезпечення в аграрній галузі: монографія. Харків: Міськдрук, 2019. 180 с.
13. Колесников К. В., Карапетян А. Р., Никулин О. Г. Использование нейросетевых моделей для определения оптимального маршрута в сетях с адаптивной маршрутизацией пакетов данных. Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. трудов. Темат. вып.: Новые решения в современных технологиях. Харьков, 2013. № 56(1029). С. 50–55.
14. Qu L., Chen Y. (2008) A Hybrid MCDM Method for Route Selection of Multimodal Transportation Network. In: Sun F., Zhang J., Tan Y., Cao J., Yu W. (eds) *Advances in Neural Networks - ISSN 2008*. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 5263. Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-540-87732-5_42.
15. Estivill-Castro, Vladimir (20 June 2002). Why so many clustering algorithms – A Position Paper. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter* 4(1): 65–75. doi:10.1145/568574.568575.
16. Jain, Murty, Flynn. Data clustering: a review. *ACM Comput. Surv.* 31(3). 1999.
17. Нагорний Є. В., Андросенко В. В. Розмиті коефіцієнти як засіб підвищення точності ранжування показників якості роботи експедиційних підприємств. Вісник КДПУ. 2006. Вип. 2(37). Ч. 1. С. 55–59.
18. Самородов В. Б., Андросенко В. В. Розмиті коефіцієнти як засіб підвищення точності ранжування показників якості роботи експедиційних підприємств. Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник. АДІ «ДонНТУ». Горлівка, 2009. № 2(9). С. 132–140.

Сахно Володимир Прохорович, д-р техн. наук, професор кафедри автомобілів Національного транспортного університету. Тел. (067) 665-53-44. E-mail: svp_40@ukr.net.

Шарай Світлана Михайлівна, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету. Тел. (067) 783-31-80. E-mail: Svetasharai@gmail.com.

Поляков Віктор Михайлович, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автомобілів Національного транспортного університету. Тел. (067) 386-14-68. E-mail: poljakov_2006@ukr.net.

Дехтяренко Дарина Олександрівна, асистент кафедри менеджменту Національного транспортного університету. Тел. (067) 733-73-74. E-mail: rinada1980@gmail.com.

Бабина Діана Анатоліївна, магістр, група МП-2-1 Національного транспортного університету.

Sakhno Volodymyr, D. Sc. (Tech.), Professor, Department of Automobile, National Transport University. Tel. (067) 665-53-44. E-mail: svp_40@ukr.net.

Sharai Svitlana, PhD (Tech.), Associate Professor, Professor of Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University. Tel. (067) 783-31-80. E-mail: Svetasharai@gmail.com.

Poliakov Victor, PhD (Tech.), Associate Professor, Professor of Department of Automobile, National Transport University. Tel. (067) 386-14-68. E-mail: poljakov_2006@ukr.net.

Daryna Dekhtiarenko, Assistant, Department of 61 anagement, National Transport University. Tel. (067) 733-73-74. E-mail: rinada1980@gmail.com.

Babyna Diana, Master, Group MP-2-1, National Transport University.

Статтю прийнято 15.11.2019 р.