

УДК [656.025+656.027]:51

О.С. Крашенінін, О.О. Шапатіна

Український державний університет залізничного транспорту,  
Харків, площа Фейєрбаха 7, 61050

**ВИБІР ВИДУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
НА ОСНОВІ ПОЛОЖЕНЬ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН**

O.S. Krashenin, O.O. Shapatina

Ukrainian state university of railway transport,  
Kharkiv, Feuerbach square 7, 61050

**THE CHOICE OF TRANSPORTATION SERVICES  
ON THE BASIS OF FUZZY SETS THEORY**

У статті розглянутий підхід щодо вибору виду транспортного забезпечення із застосуванням положень теорії нечітких множин, що передбачає на першому етапі провести попередні розрахунки на основі оцінок експертів.

Пошук оптимального рішення виконано за допомогою побудови матриць парних порівнянь та уточнено з урахуванням вагової цінності, при цьому оптимальним є варіант з максимальним значенням функції приналежності.

**Ключові слова:** види транспортного забезпечення, теорія нечітких множин.

В статье рассмотрен подход к выбору вида транспортного обеспечения с применением положений теории нечетких множеств, предусматривающий на первом этапе проведение предварительных расчетов на основе оценок экспертов.

© Крашенінін О.С., Шапатіна О.О., 2016

Поиск оптимального решения выполнен с помощью построения матриц парных сравнений и уточнен с учетом весовой ценности, при этом оптимальным является вариант с максимальным значением функции принадлежности.

**Ключевые слова:** виды транспортного обеспечения, теория нечетких множеств.

In the present context the efficiency of rail transport is only supported at the expense of freight traffic, which makes it difficult to compete with other modes of transport in people transportation.

As the international experience shows, the railway transport has significant reserves and prospects for attracting customers to the railway services. That reserve is the development of high-speed rolling stock, which fits into a modern transport infrastructure.

Today a high-speed railways is a perspective direction of development of transport. In order to implement high-speed passenger trains in Ukraine was completed a complex of necessary measures. It includes improved state programs, the procurement and test of new rolling stock.

Research in our country, aimed at a comprehensive study of the concept of integrated development of high-speed railways, show the relevance of these tasks.

Thus, the purpose of this paper is to provide a methodological approach to the choice of transport provision on the basis of fuzzy sets theory, that requires at the first stage to carry out preliminary calculations based on the expert judgment and make them more accurate according to the weight values.

**Keywords:** types of transportation, fuzzy sets theory.

**Постановка проблеми.** Залізничний транспорт забезпечує масові перевезення вантажів і населення на протязі багатьох років. Нажаль, зараз ефективність перевезень підтримується лише за рахунок вантажних перевезень, що робить складним в умовах сучасних реалій конкурування з іншими видами транспорту по перевезенню населення.

Разом з цим закордонний досвід показує, що залізничний транспорт має значні резерви і перспективи в справі залучення клієнтів до послуг залізниць [1]. Таким резервом є розвиток швидкісного рухомого складу, який органічно вписується в сучасну інфраструктуру перевезень.

Досвід освоєння швидкісного рухомого складу показав, що його практичне впровадження передумовлює реалізацію багатьох задач: розміщення експлуатаційних депо, стратегія і тактика його утримання, взаємодія з іншими видами транспорту як єдиної інфраструктури перевезень [2; 3].

Для залізниць України ці задачі поки не являються актуальними через слабкий розвиток швидкісного руху, але з часом ці задачі треба як концептуально, так і практично вирішувати. Це стосується в тому числі і визначення пріоритетів в розвитку транспортних засобів [4; 5].

**Огляд останніх досліджень та публікацій.** Сучасний розвиток швидкісного рухомого складу базується на наукових і практичних досягненнях, що знайшли своє відображення в створенні системи їх експлуатації і утримання.

Аналіз інформації в наукових виданнях показує, що, по-перше, швидкісний рухомий склад повинен бути конкурентоспроможним і доступним для користування. А це, в свою чергу, стосується визначення межі ефективності його використання, що передбачає розумну взаємодію з іншими видами транспорту [3; 6; 7].

Дослідження в нашій країні направлені на всебічне обґрунтування концепції комплексного розвитку швидкісного руху залізниць показують актуальність цих завдань [1; 2; 6-8].

**Завдання дослідження.** Мета статті полягає в створенні методичного підходу щодо вибору транспортного забезпечення на основі положень теорії нечітких множин і передбачає на першому етапі провести попередні розрахунки на основі експертних оцінок і уточнення їх з урахуванням вагової цінності [9-14].

**Основний матеріал дослідження.** Розглянемо випадок, коли приймається однакова важливість критеріїв. Нехай є множина з  $k$  альтернатив  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ .

Тоді для критерію  $C$  може бути розглянута нечітка множина

$$C = \left\{ \mu_c(a_1)/a_1, \mu_c(a_2)/a_2, \dots, \mu_c(a_m)/a_m \right\}, \quad (1)$$

де  $\mu_c(a_1)$  - оцінка альтернативи  $a_1$  за критерієм  $C$  характеризує ступінь відповідності альтернативи поняттю, що визначається критерієм  $C(\mu_c(a_1) = \overline{0,1})$ .

Якщо є  $n$  критеріїв:  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , то кращою вважається альтернатива, яка задовольняє і критерієм  $C_1$  і  $C_2$  і  $\dots$ ,  $C_n$ . Тоді правило для вибору найкращої альтернативи може бути записано у вигляді перетину відповідних нечітких множин

$$D = C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_n. \quad (2)$$

Операції перетину нечітких множин відповідає операція  $\min$ , що виконується над їх функціями приналежності. У якості кращої обирається альтернатива  $a^*$ , що має найбільше значення функції приналежності.

Розглянемо методику вибору виду транспортного забезпечення (транспортного засобу) на підставі наступних вимог:

- $k_1$  – швидкість руху по ділянці;
- $k_2$  – частота відправлень з пункту відправлення;
- $k_3$  – забезпечення надійності (дотримання графіка руху);
- $k_4$  – можливість забезпечення перевезення на різні відстані;
- $k_5$  – час в дорозі;
- $k_6$  – вартість перевезення.

Таблиця 1

Оцінювання видів транспорту за даними експертів

Види транспорту	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$
$a_1$ – залізничний	3	4	3	2	3	2
$a_2$ – залізничний швидкісний	1	2	1	3	2	3
$a_3$ – автомобільний	2	2	2	4	2	4
$a_4$ – повітряний	1	3	1	3	1	4

За даними експертів для чотирьох видів транспорту  $a_i$ ,  $i = \overline{1,4}$ ; в табл. 1 приведені оцінки, що представлені таким чином:

- 1 – вища оцінка (1);
- 2 – добра оцінка (0,85);
- 3 – достатньо добра (0,75);
- 4 – задовільна (0,65);
- 5 – майже задовільна (0,6).

В результаті цих оцінок отримані наступні дані, що характеризують ступінь приналежності критеріїв виду транспортного забезпечення.

$$k_1 = \left\{ 0,75/a_1, 1,0/a_2, 0,85/a_3, 0,75/a_4 \right\};$$

$$k_2 = \left\{ 0,65/a_1, 0,85/a_2, 0,85/a_3, 0,75/a_4 \right\};$$

$$k_3 = \left\{ 0,75/a_1, 1,0/a_2, 0,85/a_3, 0,85/a_4 \right\};$$

$$k_4 = \left\{ 0,85/a_1, 0,75/a_2, 0,65/a_3, 0,75/a_4 \right\};$$

$$k_5 = \left\{ 0,75/a_1, 0,85/a_2, 0,85/a_3, 0,75/a_4 \right\};$$

$$k_6 = \left\{ 0,85/a_1, 0,75/a_2, 0,65/a_3, 0,65/a_4 \right\}.$$

Існує декілька правил вибору. Згідно з одним з них спочатку знаходять відповідні мінімальні значення, з яких потім обирають максимальне, і воно вказує на результат.

$$D = \max \{ \min (0,75; 0,65; 0,75; 0,85; 0,75; 0,85) ;$$

$$\min (1,0; 0,85; 1,0; 0,75; 0,85; 0,75) ;$$

$$\min (0,85; 0,85; 0,85; 0,65; 0,85; 0,65) ;$$

$$\min (0,75; 0,75; 0,85; 0,75; 0,75; 0,65) \} =$$

$$= \max (0,65; 0,75; 0,65; 0,65).$$

Таким чином, найкращим з точки зору транспортного забезпечення є швидкісний залізничний транспорт

$$a_2 = (1; 0,85; 1; 0,75; 0,85; 0,75).$$

Розглядаємо метод побудови функцій приналежності, заснований на обробці матриці оцінок, що відбивають думку експерта про відносну приналежність елементів множини або ступеню виразності в них властивості, що формалізується множиною.

Нехай  $X = \{x\}$  – безліч із  $n$  елементів. Нечітка підмножина  $S$  множини  $X$  є сукупність пар виду

$$S = \{ \mu_S(x)/(x) \}, x \in X, \quad (3)$$

де  $\mu_S(x)$  – ступінь приналежності елемента  $x$  множині  $S$ . Якщо функція приналежності  $\mu(x)$  відповідає значенню 0 або 1, то

множина  $S$  стає звичайною. Зажадаємо, щоб для всіх елементів множини  $S$  виконувалася рівність

$$\sum_{i=1}^n \mu_S(x_i) = 1. \quad (4)$$

Ступінь приналежності елементів множини будемо визначати за допомогою парних відповідностей. При цьому використовуються оцінки, що наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Шкала для визначення матриці суджень

Оцінка важливості	Якісна оцінка	Примітки
1	Однакова значимість	По даному критерію співвідношення мають однакову вагу
3	Слабка перевага	Представлення про перевагу однієї альтернативи перед іншою мало-переконлива
5	Сильна (або суттєва) перевага	Маються надійні докази суттєвої переваги однієї альтернативи
7	Переконлива перевага	Існує переконливе свідчення на користь однієї альтернативи
9	Абсолютна перевага	Свідчення на користь переваги однієї альтернативи над іншою
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між сусідніми оцінками	Використовується, коли необхідні компроміси

Оцінку елемента  $x_i$  в порівнянні з елементом  $x_j$  з погляду властивості  $S$  позначимо через  $a_{ij}$ . Для забезпечення погодженості приймемо  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ . Оцінки  $a_{ij}$  складають матрицю  $A = \|a_{ij}\|$ . Знайдемо  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  – власний вектор матриці  $A$ , вирішуючи рівняння  $Aw = \lambda w$ , де  $\lambda$  – власне значення матриці  $A$ . Обчислені значення, що складають власний вектор  $w$ , приймаються в якості ступеня приналежності елементів  $x$  множині  $S$

$$\mu_S(x_i) = w_i, \quad i = 1, n. \quad (5)$$

Оскільки завжди виконується рівність  $Aw = \lambda w$ , то знайдені значення тим точніше, чим ближче  $\lambda_{\max}$  до  $n$ . Відхилення  $\lambda_{\max}$  від  $n$  може служити заходом погодженості суджень експертів.

Таблиця 3

Матриця парних порівнянь

	Залізничний	Залізничний швидкісний	Автомобільний	Повітряний
Залізничний	1	1/6	1/5	1/7
Залізничний швидкісний	6	1	4	1/4
Автомобільний	5	1/4	1	1/6
Повітряний	7	4	6	1

Необхідно знайти власний вектор, для якого виконується умова  $Aw = \lambda w$ , де  $\lambda$  – власне значення матриці.

Звернемося до розв'язку завдання знаходження власних значень  $(A - \lambda E)w = 0$ . Ця неоднорідна система має нетривіальний розв'язок тоді й тільки тоді, коли визначник матриці  $A - \lambda E$  дорівнює нулю.

Знайдемо його

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & 1/6 & 1/5 & 1/7 \\ 6 & 1-\lambda & 4 & 1/4 \\ 6 & 1/4 & 1-\lambda & 1/6 \\ 7 & 4 & 6 & 1-\lambda \end{vmatrix} = \lambda^4 - 4\lambda^3 - 0,2\lambda^2 - 6,604\lambda - 5,81$$

і дорівнюємо до нуля. Рівняння має розв'язок

$$\lambda_1=4,391 \quad \lambda_2=-0,014+1,306i \quad \lambda_3=-0,014-1,306i \quad \lambda_4=-0,363$$

Таким чином,  $\lambda_{\max}=4,391$ . Знайдемо власний вектор

$$\begin{array}{cccccc} 1-4,391 & 1/5 & 1/6 & 1/7 & w_1 & \\ 5 & 1-4,391 & 1/4 & 1/6 & w_2 & \\ 6 & 4 & 1-4,391 & 1/4 & w_3 & \\ 7 & 6 & 4 & 1-4,391 & w_4 & \end{array} = 0$$

Уводиться умова нормування:  $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ .

Розглянемо систему

$$-3,391 W_1 + 0,2 W_2 + 0,166 W_3 + 0,143 W_4 = 0$$

$$5 W_1 - 3,391 W_2 + 0,25 W_3 + 0,166 W_4 = 0$$

$$6 W_1 + 4 W_2 - 3,391 W_3 + 0,25 W_4 = 0$$

$$7 W_1 + 6 W_2 + 4 W_3 - 3,391 W_4 = 0$$

Система має тільки нульовий розв'язок. Для знаходження власного вектора  $w$  використовується заміна одного з рівнянь системи умовою нормування. В результаті рішення системи отримуємо власний вектор:

$$w_1 = 0,04 \quad w_2 = 0,253 \quad w_3 = 0,1179 \quad w_4 = 0,5893$$

$$\delta_1 = 4 \cdot 0,04 = 0,16 \quad \delta_2 = 4 \cdot 0,253 = 1,012$$

$$\delta_3 = 4 \cdot 0,1179 = 0,4716 \quad \delta_4 = 4 \cdot 0,5893 = 2,3513.$$

Запишемо попередню задачу з урахуванням визначених значень  $\delta_i$

$$k_1 = \left\{ 0,955/a_1, 1,0/a_2, 0,926/a_3, 0,508/a_4 \right\};$$

$$k_2 = \left\{ 0,934/a_1, 0,848/a_2, 0,926/a_3, 0,508/a_4 \right\};$$

$$k_3 = \left\{ 0,955/a_1, 1,0/a_2, 0,926/a_3, 0,682/a_4 \right\};$$

$$k_4 = \left\{ 0,974/a_1, 0,747/a_2, 0,816/a_3, 0,508/a_4 \right\};$$

$$k_5 = \left\{ 0,955/a_1, 0,848/a_2, 0,926/a_3, 0,508/a_4 \right\};$$

$$k_6 = \left\{ 0,974/a_1, 0,747/a_2, 0,816/a_3, 0,362/a_4 \right\}.$$

Звідки

$$D = \max \{ \min (0,955;0,934;0,955;0,974;0,955;0,974); \\ \min (1,0;0,848;1,0;0,747;0,848;0,747); \\ \min (0,926;0,926;0,926;0,816;0,426;0,816); \\ \min (0,508;0,508;0,682;0,508;0,508;0,362) \} = \\ = \max (0,934;0,648;0,426;0,362)$$

В результаті отримуємо

$$a_2 = (1;0,848;1;0,747;0,848;0,747).$$

Таким чином, як і в попередньому випадку, швидкісний рухомий склад за обраними критеріями є кращим варіантом транспортного забезпечення.

### Висновки

1. В умовах нечіткої інформації не існує ідеального способу вирішення завдань, що дозволяють приймати повністю прийнятні рішення. Але це дозволяє визначитися з пріоритетним напрямком і тактикою деяких дій.

2. Як видно з наведеного, за прийнятими критеріями в першу чергу слід приділяти увагу розвитку перспективного швидкісного залізничного транспорту, що підтверджується позитивним досвідом передових європейських країн.

3. Застосування можливостей сучасної обчислювальної техніки і програмного забезпечення дозволяє вирішувати задачі із значно більшою кількістю критеріальних оцінок, уточнювати і обґрунтовувати задачі прийняття рішень.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тартаковский Э.Д. Методы оценки жизненного цикла тягового подвижного состава железных дорог: Монография [Текст] Э.Д. Тартаковский, С.Г. Грищенко, Ю.Е. Калабухин, А.П. Фалендыш // Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2011. – 174 с.
2. Фалендыш А.П. Модель формування парку тягового рухомого складу в локомотивних депо в умовах реформування залізниць України [Текст] / А.П. Фалендыш, С.Г. Жалкін, О.С. Крашенінін, О.О. Шапатіна // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Вип. 97. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – С. 5-9.
3. Котенко А.М. Удосконалення процесу комбінованих перевезень вантажів [Текст] / А.М. Котенко, О.С. Крашенінін, О.О. Шапатіна // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків: 2014. – № 4/3(70). – С. 4-8.
4. Розробка концепції впровадження швидкісного та високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України в 2005-2015 роках [Текст] // Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. ак. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2004. – 127 с.
5. Концепція впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України в 2004-2015 роках [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2004. – 43 с.
6. Котенко А.М. Обґрунтування вибору виду транспортних перевезень вантажів [Текст] / А.М. Котенко, О.С. Крашенінін, О.О. Шапатіна // ScienceRise. – Харків, 2015. – № 1/2 (6). – С. 25-29.
7. Шапатіна О.О. Вибір виду перевезень вантажів з використанням положень теорії нечітких множин [Текст] / О.О. Шапатіна // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків, 2015. – № 156. – С. 139-143.

8. Горский В.Г. Метод согласования кластеризованных ранжировок [Текст] / В.Г. Горский, А.И. Орлов, А.А. Гриценко // Автоматика и телемеханика. – М., 2000. – № 3. – С. 159-167.
9. Орлов А.И. Экспертные оценки [Текст]/А.И. Орлов // Заводская лаборатория. – М., 1996. – Т. 62. – № 1. – С.54-60.
10. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
11. Жуковин В.Е. Нечеткие многокритериальные модели принятия решений [Текст] / В.Е. Жуковин // Тбилиси: Мецниереба, 1988. – 71 с.
12. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / А. Кофман. – // М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
13. Макаров И.М. Теория выбора и принятия решений: Учебное пособие [Текст] / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов. – М.: Наука, 1982. – 328 с.
14. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH [Текст] / А.В. Леоненков // СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

Стаття надійшла до редакції 14.06.2016

**Рецензент** – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Менеджмент і маркетинг на морському транспорті» Одеського національного морського університету  
**М.Я. Постан**