

инфраструктуры. Материалы международной научной конференции. 2018. С. 89-97.

10. **Severino, A.** Routes planning models for railway transport systems in relation to passengers' demand / A. Severino, L. Martseniuk, S. Curto, L. Neduzha // Sustainability. 2021. Vol. 13, 8686. 27 p.

11. **Utsunomiya, K.** The value of local railways: An approach using the contingent valuation method / K. Utsunomiya // Research in Transportation Economics. 2018. Vol. 69. pp. 554–559.

12. **Лебедева, О. А.** Выбор маршрута передвижения в системе метрополитена / О.А. Лебедева, Ю.О. Полтавская, В.Е. Гоз-

бенко. – Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 3 (59). С. 76-82.

13. **Лебедева, О. А.** Динамическое моделирование оптимального маршрута в мультимодальной транспортной сети / О.А. Лебедева. – Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 1 (65). С. 44-50.

14. **Wang, R.** Modeling and optimization of a road-rail intermodal transport system under uncertain information / R. Wang, K. Yang, L. Yang, Z. Gao // Engineering application artificial intelligence. 2018. Vol. 72. pp. 423–436.

УДК 656.02, 519.852.33

*к.т.н., доцент, доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru*

*Ермолина Владислава Сергеевна,
обучающаяся группы ТП-20-1,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: vladislava.ermolina@bk.ru*

РЕШЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ РАНЖИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКИХ ДАННЫХ

Gantimurova Y.O. , Ermolina V.S.

SOLVING TRANSPORT PROBLEMS BY RANGING METHOD UNDER FUZZY DATA

Аннотация. В статье рассматривается применение метода ранжирования, посредством которого преобразуется транспортная задача с нечеткими данными и предлагается алгоритм нахождения оптимального решения. Приведенный численный пример демонстрирует, что предлагаемый метод является допустимым инструментом для решения транспортных задач на основе нечетких алгоритмов.

Ключевые слова: нечеткие данные, транспортная задача, метод ранжирования, оптимальное решение.

Abstract. The article discusses the use of the ranking method, through which a transport problem with fuzzy data is transformed into a highly significant one, and an algorithm is proposed for finding the optimal solution. The given numerical example demonstrates that the proposed method is a valid tool for solving transport problems based on fuzzy algorithms.

Keywords: fuzzy data, transport problem, ranking method, optimal solution.

Нечеткие множества играют важную роль в задачах принятия решений и анализа данных. Определение ранжирования нечетких чисел является неизбежным шагом во многих математических моделях [1]. Транспортная задача является частным случаем задач прикладной математики линейного программирования, которая позволяет определить оптимальную схему распределения потоков между грузообразующими и грузопоглащающими пунктами. Решение задачи по-

зволяет определить общее количество груза, которое будет перевезено от грузоотправителя в определенный пункт назначения. В результате получается оптимальное решение, которое включает в себя минимальные временные затраты и максимальную полученную прибыль [2-4]. Задача нечеткой транспортировки является прогрессивным методом в том понимании, что данные о расходах на транспортировку, значение спроса и предложения могут быть заданы в виде нечетких

величин. Впервые концепция нечеткого множества была введена Лотфи Заде в 1965 г. [1]. В 2021 году авторами [5] была исследована двухэтапная задача нечеткой транспортировки, минимизирующая затраты, где спрос и предложение являются нечеткими числами, используя подход нечеткого решения. Предлагаемый алгоритм ранжирования заключается в поиске оптимального решения с использованием нечетких транспортных задач, учитывающих спрос, предложение и стоимость транспортировки в виде пятиугольных нечетких чисел.

Общая формулировка транспортной задачи может быть представлена следующим образом: значение a_i – определяется как количество груза, доступное у i -ого грузоотправителя; b_j – количество груза, необходимое в j -ом пункте назначения. Показатель a_{ij} рассматривается как стоимость транспортировки груза от i -ого отправителя к конечному потребителю j , а X_{ij} количество перевозимого груза [6]. Для упрощенного ранжирования нечетких пятиугольных чисел вводится значение \tilde{A} – это нечеткое множество, которое определяется как набор упорядоченных пар:

$\tilde{A} = \{x_0, \mu_A(x_0) / x_0 \in \tilde{A} \mu_A(x_0) \rightarrow [0,1]\}$
 где $\mu_A(x_0)$ – функция принадлежности.

Кроме того, \tilde{A} – это нечеткое множество на области допустимых значений R , ограниченное условиями, приведенными ниже:

- $\mu_A(x_0)$ является непрерывным множеством;
- существует по крайней мере одно значение, удовлетворяющее условию: $x_0 \in R$ с $\mu_A(x_0) = 1$;
- \tilde{A} является правильным и выпуклым распределением (рисунок 1) [7].

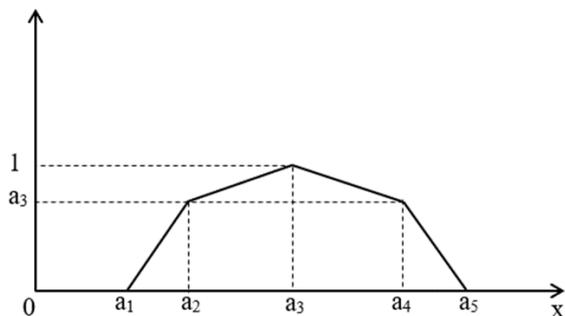


Рисунок 1 – Схема построения задачи с помощью пятиугольных нечетких чисел [7]

Метод ранжирования для решения транспортной задачи с помощью пятиуголь-

ных нечетких чисел можно описать математическим выражением:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < \tilde{a}_1 \\ \tilde{u}_1 \sim \frac{x - \tilde{a}_2}{\tilde{a}_3 - \tilde{a}_2}, & \tilde{a}_1 \leq x \leq \tilde{a}_2 \\ (1 - (1 - u_1)) \sim \frac{x - \tilde{a}_2}{\tilde{a}_3 - \tilde{a}_2}, & \tilde{a}_2 \leq x \leq \tilde{a}_3 \\ 1, & x = \tilde{a}_3 \\ (1 - (1 - u_2)) \sim \frac{\tilde{a}_4 - x}{\tilde{a}_4 - \tilde{a}_3}, & \tilde{a}_3 \leq x \leq \tilde{a}_4 \\ \tilde{u}_2 \sim \frac{\tilde{a}_5 - x}{\tilde{a}_5 - \tilde{a}_4}, & \tilde{a}_4 \leq x \leq \tilde{a}_5 \\ 0, & x > \tilde{a}_5 \end{cases}$$

Средняя точка \tilde{a}_3 имеет степень принадлежности, соответственно оценки имеют \tilde{a}_4 и \tilde{a}_2 . Каждое пятиугольное нечеткое число связано с двумя весами \tilde{u}_1, \tilde{u}_2 .

Математическая формулировка пятиугольных нечетких чисел в случае, когда предложение эквивалентно спросу, приведена как:

$$Z = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t \tilde{a}_{ij} \tilde{x}_{ij}$$

с учетом ограничений:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^t \tilde{x}_{ij} &= \tilde{a}_i \quad j = 1, 2, \dots, t \\ \sum_{i=1}^s \tilde{x}_{ij} &= \tilde{a}_j \quad i = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{i=1}^s \tilde{a}_i &= \sum_{j=1}^t \tilde{b}_j \quad i = 1, 2, \dots, s, j = 1, 2, \dots, t \\ \tilde{x}_{ij} &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, s, j = 1, 2, \dots, t \end{aligned}$$

Пусть $\tilde{a}_A = (\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \tilde{a}_3, \tilde{a}_4, \tilde{a}_5)$ это пятиугольные нечеткие числа с использованием метода центроидного ранжирования:

$$R(\tilde{a}_A) = \left(\frac{\tilde{a}_5^2 + \tilde{a}_4^2 + \tilde{a}_5 \tilde{a}_4 - \tilde{a}_2^2 - \tilde{a}_1^2 - \tilde{a}_2 \tilde{a}_1}{3 \cdot (\tilde{a}_5 + \tilde{a}_4 - \tilde{a}_2 - \tilde{a}_1)} \right)$$

Таким образом, метод ранжирования для решения транспортной задачи с помощью пятиугольных нечетких чисел можно описать поэтапно.

Шаг 1. Проверяется транспортная задача на сбалансированность:

$$\sum_{i=1}^s \tilde{a}_i = \sum_{j=1}^t \tilde{b}_j$$

Если модель не сбалансирована, то вводится дополнительный пункт назначения, используя нулевые расходы на транспортировку нечетких элементов.

Шаг 2. Значение ранжирования присваивается для преобразования как спроса, так и предложения.

Шаг 3. Кратное по строкам между наибольшим и наименьшим значениями каждой строки делится на кратное по строкам и столбцам матрицы затрат.

Шаг 4. Кратное по столбцам между наибольшим и наименьшим значениями каждого столбца делится на кратное по строкам и столбцам матрицы затрат.

Шаг 5. Находится максимум результирующего значения и выделяется конкретная ячейка данной матрицы. Если есть более одного максимального результирующего значения, выбирается любое.

Шаг 6. Выполнять третий, четвертый и пятый шаг, пока не будут распределены группы ($s + t - 1$). Если выделенная ячейка не достигнута, применяется метод МОДИ для поиска оптимальности.

Рассмотрим числовой пример решения транспортной задачи в условиях нечетких данных, которая включает в себя стоимость транспортировки, объемы производства и потребления. Исходные данные задачи с использованием нечеткого множества пятиугольного вида приведены в таблице 1. Используя метод ранжирования, необходимо преобразовать нечеткие данные в четкие значения (таблица 2).

Таблица 1 – Исходные данные задачи с использованием нечеткого множества

	R_a	R_b	R_c	R_d	Объём производства, т
I_a	(2,4,6,8,9)	(3,5,7,8,9)	(2,4,5,6,7)	(3,4,6,7,12)	30
I_b	(0,2,5,6,8)	(4,5,6,8,11)	(2,3,5,7,11)	(1,5,6,9,11)	27
I_c	(1,2,3,4,5)	(2,3,4,6,8)	(4,5,6,8,9)	(6,7,8,9,13)	40
I_d	(3,5,6,7,8)	(1,5,6,7,8)	(2,7,8,9,10)	(3,3,4,5,9)	50
Объём потребления, т	20	38	34	55	

Таблица 2 – Матрица затрат

	R_a	R_b	R_c	R_d	Объём производства, т
I_a	5,7272	6,2222	4,7143	6,6667	30
I_b	4,0000	7,0667	5,6970	6,4286	27
I_c	3,1111	4,7778	6,5000	8,8889	40
I_d	5,7143	5,1111	6,8000	5,1667	50
Объём потребления, т	20	38	34	55	

Таблица 3 – Опорный план

	R_a	R_b	R_c	R_d	Объём производства, т	$\frac{\min \cdot \max}{\text{ряд} \cdot \text{столбец}}$
I_a	5,7272	6,2222	4,7143	6,6667	30	1,964
I_b	4,0000	7,0667	5,6970	6,4286	27	1,766
I_c	3,1111	4,7778	6,5000	8,8889	40	1,728
I_d	5,7143	5,1111	6,8000	5,1667	50	2,172
Объём потребления, т	20	38	34	55		
$\frac{\min \cdot \max}{\text{ряд} \cdot \text{столбец}}$	1,1135	2,110	2,003	2,871		

Таблица 4 – Оптимальный план перевозок

	R_a	R_b	R_c	R_d	Объём производства, т
I_a	5,7272	6,2222	4,7143 ³⁰	6,6667	30
I_b	4,0000 ¹⁸	7,0667	5,6970 ⁴	6,4286 ⁵	27
I_c	3,1111 ²	4,7778 ³⁸	6,5000	8,8889	40
I_d	5,7143	5,1111	6,8000	5,1667 ⁵⁰	50
Объём потребления, т	20	38	34	55	

Данная задача является сбалансированной. Выбираем максимальное из значений штрафных санкций (значение 2,871 в таблице 3 опорного плана), находим соответствующее минимальное значение затрат (5,1667), выделяем конкретную ячейку затрат для данной задачи (таблица 3). Одна и та же процедура будет выполняться снова и снова, пока не будет достигнуто окончательное распределение.

Подсчитаем число занятых клеток таблицы, их 7, должно быть $s + t - 1 = 7$. Следовательно, опорный план является невырожденным. Общие затраты на транспортировку определим как:

$$\begin{aligned} \min Z = & 18 \cdot 4,0000 + 2 \cdot 3,1111 + 4 \cdot \\ & 5,6970 + \\ & + 50 \cdot 5,1667 + 5 \cdot 6,4286 + 38 \cdot 4,7778 + \\ & 30 \times \\ & \times 4,7143 = 714,4736 \end{aligned}$$

Таким образом, полученное решение транспортной задачи является оптимальным, поскольку другие методы решения дают аналогичное распределение. Предложенный ме-

тод представляет собой упорядоченный алгоритм, который прост в применении и пригоден для решения всех типов транспортных задач с нечеткими данными либо по критерию стоимости (план перевозок является оптимальным, если достигается минимум затрат на его реализацию), либо по критерию времени (план перевозок оптимален, если на него затрачивается минимальное количество времени). Подход может быть расширен с помощью дополнительного нечеткого алгоритма.

Транспортные задачи являются важным средством решения многих экономических проблем, возникающих на предприятии. С их помощью возможно не только рациональное планирование маршрутов перевозки, но и устранение дублирующих грузопотоков, что ведет к быстрой доставке товаров, а также сокращаются затраты на горюче-смазочные материалы, ремонт и обслуживание подвижного состава, и в конечном итоге наблюдается снижение транспортных издержек [8-10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Герашенко, И. П.** Экономико-математические методы и модели: учебное пособие / И.П. Герашенко, Е.В. Шульга. – Омск: Изд-во Омского экономического института, 2007. 292 с.
2. **Колесник, М. Н.** Применение динамической транспортной задачи с задержками для согласования ритмов работы поставщиков и перевозчиков / М. Н. Колесник. – Текст: непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2009. № 1 (37). С. 63-65.
3. **Минько, А. М.** Дополнительные условия при решении транспортной задачи ме-

- тодом потенциалов / А.М. Минько, П.К. Ляпустин. – Текст: непосредственный // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2014. Т. 1. № 1. С. 212-215.
4. **Лебедева, О. А.** Решение транспортной задачи с использованием алгоритма Дейкстры для грузовых перевозок / О.А. Лебедева, И.М. Кулакова. – Текст: непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2022. № 2 (54). С. 24-31.
5. **Srinivasan, R.** A proposed ranking method to solve transportation problem by pen-

tagonal fuzzy numbers / R. Srinivasan, N. Karthikeyan, A. Jayaraja // Turkish online journal of qualitative inquiry. Volume 12, Issue 3. 2021. pp. 277-286.

6. **Ляпустин, П. К.** Решение транспортной задачи с учётом дополнительных условий / П.К. Ляпустин, А.М. Минько, К.А. Мальцева. – Текст: непосредственный // В сборнике: Международная научно-практическая конференция "Архитектура, строительство, транспорт" (к 85-летию ФГБОУ ВПО "СибАДИ"). Сборник научных трудов № 8 кафедры "Организация перевозок и управление на транспорте". ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Кафедра «ОПиУТ»; Ответственный за выпуск Е. Е. Витвицкий. 2015. С. 281-288.

7. **Panda, A.** A study on pentagonal fuzzy number and its corresponding matrices / A. Panda, M. Pal // Pacific Science Review B: Humanities and Social Sciences. Vol. 1 (3). 2015. pp. 131–139.

8. **Полтавская, Ю. О.** Сравнительный анализ результатов, полученных при решении транспортных задач разными способами / Ю.О. Полтавская. – Текст: непосредственный // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. № 13. С. 183-186.

9. **Лебедева, О. А.** Сравнительный анализ методов решения транспортных задач при оптимальном планировании перевозочного процесса / О. А. Лебедева, В. Е. Гозбенко, А.А. Пыхалов, Ю.Ф. Мухопад. – Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 3 (67). С. 134-139.

10. **Крипак, М. Н.** Автоматизация алгоритма Литтла для решения задачи коммивояжера / М.Н. Крипак, И.М. Кулакова, О.А. Лебедева. – Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2015. № 4 (48). С. 160-163.

УДК 69.07

*к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,*

e-mail: gorbachps@mail.ru

Гордеев Клим Игоревич,

генеральный директор АНО «Экспертный центр СУДЭКС»,

e-mail: centr-sudex@mail.ru

О ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕПЛАНИРОВКИ КВАРТИР В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

Gorbach P.S., Gordeev K.I.

ABOUT THE POSSIBILITY OF REDEVELOPMENT OF APARTMENTS IN SEISMIC AREAS

Аннотация. В статье рассматриваются особенности перепланировки квартир 335 серии в условиях сейсмических районов.

Ключевые слова: перепланировка, сейсмика, 335 серия.

Abstract. The article discusses the features of the redevelopment of apartments of the 335 series in the conditions of seismic areas.

Keywords: redevelopment, seismic, 335 series.

Перепланировка помещения в многоквартирном доме представляет собой изменение его конфигурации, требующее внесения изменения в технический паспорт помещения в многоквартирном доме. Особенно остро встает вопрос перепланировки домов серии 1-335с.

Особенности конструкций здания.

Принята конструктивная схема полного каркаса. Элементы каркаса: прогоны и колонны – рассчитаны только на вертикаль-

ную нагрузку. Горизонтальные (ветровые нагрузки) действующие в поперечном направлении здания воспринимаются стенами лестничных клеток, состоящих из вентиляционных панелей. Ветровые нагрузки, действующие вдоль здания, воспринимаются специальными железобетонными панелями, расположенными по средней продольной оси здания. Передача ветровых нагрузок от панелей наружных стен внутренними железобетонными стенами осуществляется через