

# JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 1, 2026 vol. 3

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT  
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state  
transport university



**JOURNAL OF TRANSPORT**

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

**E-ISSN: 2181-2438**

**ISSN: 3060-5164**

**VOLUME 3, ISSUE 1**

**MARCH, 2026**



[jot.tstu.uz](http://jot.tstu.uz)

# TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

## JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 1 MARCH, 2026

**EDITOR-IN-CHIEF**

**SAID S. SHAUMAROV**

*Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University*

**Deputy Chief Editor**

**Miraziz M. Talipov**

*Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University*

---

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at [jot@tstu.uz](mailto:jot@tstu.uz).

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

## Selection of optimal mixed routes based on fuzzy hierarchy and multi-criteria decision making with five criteria



N.S. Sarvirova<sup>1</sup><sup>a</sup>, D.Y. Tajibaev<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** Tourist route planning under conditions of limited time, budget, and heterogeneous tourist preferences represents a complex decision-making problem. The study addresses the issue of selecting an optimal tourist route while taking into account transportation risks and multiple criteria factors. To solve this problem, a hybrid methodological approach is proposed that integrates Fuzzy Hierarchical Risk Assessment (FHRA) and the Additive Ratio Assessment (ARAS) multi-criteria decision-making method. Fuzzy logic is applied exclusively at the risk assessment stage, which allows for the consideration of uncertainty and subjectivity in expert judgments in the absence of complete statistical information. The weights of the criteria are determined based on expert evaluations, while the final ranking of routes is performed using the ARAS method (in its crisp version — ARASM) based on clear (defuzzified) data. The proposed approach was tested on the example of tourist routes in the Aral Sea region and demonstrated its effectiveness in selecting the optimal route with the minimum level of risk and maximum utility. The obtained results confirm the practical applicability of the developed methodology for supporting decision-making processes in the field of tourist route planning.

**Keywords:** tourist route planning, transport risks, fuzzy risk assessment, HFRA, ARAS, multi-criteria decision making, TTDP (Tourist Trip Design Problem)

## Выбор оптимального смешанного маршрута: интегрированный подход к оценке туристических рисков на основе нечеткой иерархии и принятию решений по пяти критериям

Сарвирова Н.С.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Таджибаев Д.Ю.<sup>1</sup><sup>b</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** Планирование туристических маршрутов в условиях ограниченного времени, бюджета и неоднородных предпочтений туристов является сложной задачей для принятия решений. В работе рассматривается проблема выбора оптимального туристического маршрута с учетом транспортных рисков и многокритериальных факторов. Для решения данной задачи предложен гибридный методический подход, интегрирующий нечёткую иерархическую оценку рисков (FHRA, Fuzzy Hierarchical Risk Assessment) и метод многокритериального принятия решений ARAS (Additive Ratio Assessment). Нечёткая логика применяется исключительно на этапе оценки рисков, что позволяет учитывать неопределённость и субъективность экспертных суждений при отсутствии полной статистической информации. Веса критериев определяются на основе экспертных оценок, а итоговое ранжирование маршрутов осуществляется методом ARASM на основе четких данных. Предложенный подход апробирован на примере туристических маршрутов региона Аральского моря и показал свою эффективность для выбора оптимального маршрута с минимальным уровнем риска и максимальной полезностью. Полученные результаты подтверждают практическую применимость разработанной методологии для поддержки принятия решений в сфере туристического планирования.


**Ключевые слова:** планирование туристических маршрутов; транспортные риски; нечёткая оценка риска; FHRA; ARAS; многокритериальное принятие решений; TTDP (Tourist Trip Design Problem)

### 1. Введение

В мире туризм является одним из важных факторов роста экономики страны [5]. Рост туризма первые десятилетия XXI века был стабильным. Последние десять лет в Узбекистане рост туризма с каждым годом увеличивается. В 2025 году впервые страну за 11

месяцев посетило более 10 тысяч иностранных туристов. С этой целью в республике принимается ряд мер для развития туристической отрасли. В частности, в 2016-2024 годах была укреплена правовая база сектора, упрощена процедура выдачи виз, внедрена система «электронных виз», установлен безвизовый режим для граждан более чем 90 стран, расширена инфраструктура

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0009-0008-9683-8321>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0007-9032-5114>



вокруг объектов культурного наследия [6-8]. Одновременно расширился спектр ряда системных услуг в секторе, ярким примером чего является рост доли частного сектора и модернизация инфраструктуры, в частности, в отдалённых регионах

Однако, несмотря на ряд изменений в туристическом секторе, остаются проблемы, которые являются серьезным препятствием для повышения качества туристических услуг и обеспечения конкурентоспособности национальной туристической продукции. В связи с ростом туристического потока, прогрессирующие проблемы транспортной доступности и оценка туристических объектов в отдалённых регионах представляют собой серьезную проблему с точки зрения управления такими регионами, так как множество туристических объектов находится в таких местах. К примеру можно привести Республику Каракалпакстан. 19 декабря 2018 года по решению Кабинета Министров Республики Узбекистан «О принятии национального реестра недвижимого имущества, являющегося объектом масштабного наследия» в Каракалпакстане было зарегистрировано 288 архитектурные, археологические, монументальные произведения искусства и достопримечательностей туристических объектов [9]. Это говорит о том, что туризм Каракалпакстана занимает определенное место в индустрии. Для развития туризма в регионе нужно оптимизировать инфраструктуру, логистику и развивать туристические объекты.

В данной статье рассматриваются оптимизация перевозок, математическое моделирование туристических маршрутов с применением мультимодальной перевозке и оценка туристических объектов. Задача заключается в оценке туристических объектов с применением RPBT-алгоритма (user-user similarity по Пирсону. В статье была использована оценка туристов онлайн (Яндекс maps, google maps, tripadvisor.ru) и в выборе оптимального туристического маршрута среди множества альтернативных маршрутов, соединяющих Нукус – Муйнак – Аральское море (Республика Каракалпакстан), с учётом стоимости, времени, уровня комфорта, туристической привлекательности, а также иерархических рисков, характеризующихся неопределённостью. Классификация рисков туристической дестинации по пяти ключевым факторам ( $R_1$  — транспортная доступность,  $R_2$  — туристическая инфраструктура,  $R_3$  — природно-климатические условия,  $R_4$  — безопасность,  $R_5$  — сезонность) основана на типичной академической модели оценки привлекательности и рискованности туристских направлений, широко применяемой в российских вузах по специальностям «Туризм» и «Менеджмент в туризме» для балльной оценки дестинаций и информирования туристов в соответствии со ст. 14 Федерального закона № 132-ФЗ «Об основах туристической деятельности в Российской Федерации» [23]. Для оценкарисков было составлено состав экспертов (участвовала 10-экспертов по направлению туризм, транспорт, региональное развитие, гостиничный, бизнес и учёные (ТГТУ). Далее в статье собранно оценки 300-700 корреспондентов онлайн (каждом объекте разные количество туристов).

Целью настоящего исследования является разработка гибридного метода FHRA–ARAS для выбора

оптимального туристического маршрута с учетом транспортных рисков.

#### Обзор литературных источников

Планирование туристических маршрутов представляет собой сложную задачу, требующую учета временных, бюджетных и транспортных ограничений, а также предпочтений туристов. В научной литературе данная проблема известна как задача планирования туристической поездки [1-6] и активно исследуется в рамках операционных исследований [1]. Основная цель TTDP заключается в формировании оптимального маршрута при ограниченных ресурсах времени и бюджета [4].

Наиболее распространённым подходом к моделированию TTDP является задача ориентирования [12-14] и её расширения, включая задачу командного ориентирования (TOP, Team Orienteering Problem) и TOP с временными окнами (TOPTW, Team Orienteering Problem with Time Windows), которые позволяют учитывать ограничения по времени работы туристических объектов [1,2,4]. Однако классические модели OP/TOP ориентированы преимущественно на оптимизацию временных и экономических показателей и в меньшей степени учитывают риски, связанные с транспортом и условиями поездки.

В последние годы для выбора туристических и транспортных маршрутов широко применяются методы многокритериального принятия решений (MCDM, Multi-Criteria Decision Making), такие как ANP (Analytic Hierarchy Process), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) и ARAS [15-18], позволяющие ранжировать альтернативы по совокупности критериев [7,8]. Поскольку каждый метод имеет свои ограничения, получили развитие гибридные подходы, объединяющие несколько методов для повышения качества решений [9].

Отдельное направление исследований связано с интеграцией анализа рисков и методов MCDM. Для учета неопределённости и субъективности экспертных оценок риска широко используется теория нечетких множеств [19-22], основанная на лингвистических оценках вероятности и тяжести последствий [10]. Однако большинство существующих моделей либо чрезмерно используют нечеткую логику на всех этапах принятия решений, либо не обеспечивают систематической иерархической оценки рисков [12].

В связи с этим актуальной является разработка гибридных моделей, в которых нечеткая логика применяется исключительно на этапе оценки рисков, а последующее ранжирование альтернатив осуществляется с использованием четких методов MCDM. Данный подход позволяет снизить вычислительную сложность модели и повысить её практическую применимость. Дополнительный обзор источников представлен в приложении А.

С учетом выявленных исследовательских пробелов в настоящей работе предлагается гибридный подход, интегрирующий нечеткую иерархическую оценку рисков (FHRA) и метод аддитивной оценки отношений (ARAS) для выбора оптимального туристического маршрута [17].



## 2. Методика исследования

Задача выбора смешанного транспортного маршрута заключается в оценке и ранжировании альтернатив с целью определения наиболее предпочтительного варианта. Лица, принимающие решения, вынуждены учитывать множество разнородных критериев, которые для удобства анализа рекомендуется организовать в иерархическую многоуровневую структуру, отражающую взаимосвязи между ними. Для решения данной проблемы разработан комбинированный метод BWM (Best–Worst Method)-FHRA-ARAS [24-26]. Теоретическое обоснование и процедура расчётов предлагаемого подхода структурированы в три последовательных этапа, которые рассматриваются ниже (рис.1).

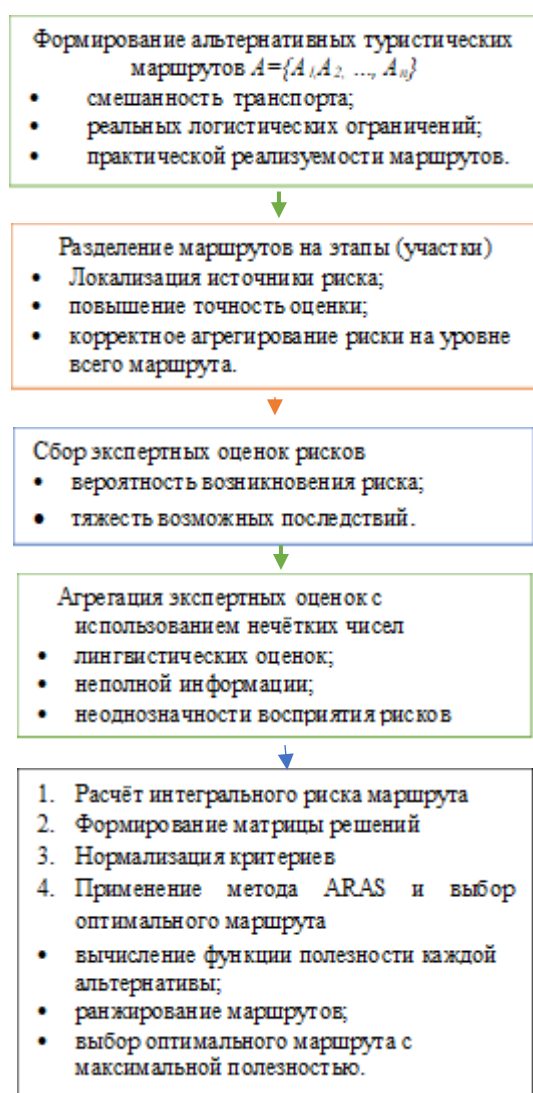


Рис. 1. Общая схема предлагаемой методологии

Научная новизна исследования заключается в адаптации метода FHRA для оценки транспортных рисков туристических маршрутов и его интеграции с методом ARAS в рамках задачи TTDP [10,11].

Формирование альтернативных 7 туристических смешанных и прямых маршрутов было рассмотрено от Нукуса до Арала и разделено на два участка Нукус-

Муйнак ( $p_1$ ), Муйнак-Арал ( $p_2$ ) (таблица -).

Таблица 1

Смешанные и прямые маршруты	
Маршрут	Расчёт
$A_1$	$p_1$ (1-автобус) $\rightarrow$ $p_2$ (2-такси /внедорожник)
$A_2$	$p_1$ (1-авиа) $\rightarrow$ $p_2$ (2-такси /внедорожник)
$A_3$	$p_1$ (1-поезд) $\rightarrow$ $p_2$ (3-такси /внедорожник)
$A_4$	$p_1$ (1-такси) $\rightarrow$ $p_2$ (2-такси /внедорожник)
$A_5$	$p_1$ (1-автобус) $\rightarrow$ $p_2$ 2- (2-организованный тур 4x4)
$A_6$	$p_1$ (1-такси) $\rightarrow$ $p_2$ (2-организованный тур 4x4)
$A_7$	$p_1$ (1-такси) $\rightarrow$ $p_2$ 2-такси /внедорожник)

## 4. Нечёткий анализ рисков (FHRA)

### 4.1. Экспертная оценка рисков

Для оценки рисков было привлечено 10 экспертов в области туризма, транспортной логистики, науки и гостиничного бизнеса. Эксперты оценивали каждый участок маршрута по пяти факторам риска.

#### Р1. Транспортная доступность

(качество дорог, регулярность рейсов, надёжность транспорта)

#### Р2. Туристическая инфраструктура

(гостиницы, питание, санитарные условия, сервис)

#### Р3. Природно-климатические условия

(погодные риски, экстремальные температуры, природные угрозы)

#### Р4. Безопасность

(медицинская помощь, криминогенная обстановка, экстренные службы)

#### Р5. Сезонность

(колебания туристического спроса, погодные ограничения)

Оценки вероятности (L) и тяжести последствий (S) задавались в виде лингвистических переменных, преобразованных в треугольные нечёткие числа [19,20].

Таблица 2

Лингвистическая шкала оценивания		
Лингвистическая оценка	Обозначение	TFN (L, M, U)
Низкий риск	Low (L)	(0.1, 0.3, 0.5)
Средний риск	Medium (M)	(0.3, 0.5, 0.7)
Высокий риск	High (H)	(0.5, 0.7, 0.9)

Таблица 3

Состав экспертов			
№	Область деятельности	Стаж работы	Уровень вовлечённости
1	туризм	<3	комбинированный опыт
2	транспорт	3–5	научные исследования
3	транспорт	3–5	практическая деятельность



4	туризм	3-5	комбинированный опыт
5	транспорт	3-5	комбинированный опыт
6	транспорт	>10	научные исследования
7	транспорт	>10	научные исследования
8	транспорт	>10	научные исследования
9	гостиничный бизнес	5-10	практическая деятельность
10	гостиничный бизнес	>10	управленческие решения

С использованной экспертной оценке получен результат по двум участкам вероятность  $LH_{(i,1),d}$   $M = 6$  и  $L = 4$ , тяжесть  $SH_{(i,1),d}$   $M = 8$  и  $N = 2$ .

Ограничением данного исследования является использование экспертных оценок при определении параметров риска, что может вносить элемент субъективности в полученные результаты. Несмотря на это, применение нечёткой оценки риска позволяет частично нивелировать неопределённость и вариативность экспертных суждений, обеспечивая более устойчивые и обоснованные результаты анализа.

**Агрегация экспертных оценок**

Агрегированные нечёткие оценки вероятности и последствий риска для  $i$ -го маршрута и  $p$ -го фактора определяются по формулам:

$$LH_{i,p} = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D LH_{i,p,d} \quad (1)$$

$$L_H(i, p) = (l_L, l_M, l_U), S_H(i, p) = (s_L, s_M, s_U) \quad (2)$$

$$LH_{1,1} = \frac{1}{10} [6 \cdot (0.4, 0.6, 0.8) + 4 \cdot (0.1, 0.3, 0.5)]$$

$$\boxed{LH_{1,1} = (0.28, 0.48, 0.68)}$$

$$LH_{1,2} = \frac{1}{10} [6 \cdot (0.7, 0.9, 1.0) + 4 \cdot (0.4, 0.6, 0.8)]$$

$$\boxed{LH_{1,2} = (0.58, 0.78, 0.92)}$$

**Агрегация последствий**

$$SH_{i,p} = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D SH_{i,p,d} \quad (2)$$

$$SH_{1,1} = \frac{1}{10} [8 \cdot (0.4, 0.6, 0.8) + 2 \cdot (0.7, 0.9, 1.0)]$$

$$\boxed{SH_{1,1} = (0.46, 0.66, 0.84)}$$

$$SH_{1,2} = \frac{1}{10} [7 \cdot (0.7, 0.9, 1.0) + 3 \cdot (0.4, 0.6, 0.8)]$$

$$\boxed{SH_{1,2} = (0.61, 0.81, 0.94)}$$

**Расчет нечёткого уровня риска**

Нечёткий уровень риска определяется как произведение вероятности и последствий:

$$R_H(i, p) = L_H(i, p) \otimes S_H(i, p) \quad (3)$$

$$RH_{1,1} = (0.28 \cdot 0.46, 0.48 \cdot 0.66, 0.68 \cdot 0.84)$$

$$\boxed{RH_{1,1} = (0.129, 0.317, 0.571)}$$

$$RH_{1,2} = (0.58 \cdot 0.61, 0.78 \cdot 0.81, 0.92 \cdot 0.94)$$

$$\boxed{RH_{1,2} = (0.354, 0.632, 0.865)}$$

**Деагрегация**

Для получения численного значения риска применяется метод центра тяжести:

$$CR_H(i, p) = \frac{l + m + u}{3} \quad (3)$$

$$CRH_{1,1} = \frac{0.129 + 0.317 + 0.571}{3} = \boxed{0.339}$$

$$CRH_{1,2} = \frac{0.354 + 0.632 + 0.865}{3} = \boxed{0.617}$$

Таблица 4

**Расчет нечёткого уровня риска**

Маршрут	p1: Нукус → Муйнак	p2: Муйнак → Арал
A1 автобус → такси/4×4	0.339	0.617
A2 авиа → такси/4×4	0.210	0.590
A3 поезд → такси → 4×4	0.260	0.630
A4 такси → такси/4×4	0.310	0.600
A5 автобус → орг.тур 4×4	0.350	0.540
A6 такси → орг.тур 4×4	0.300	0.520
A7 такси → такси	0.290	0.580

Интегральный риск маршрута A1

$$RISK_i = \sum_{p=1}^5 w_p \cdot CR_H(i, p) \quad (4)$$

$$RISK_1 = w_1 \cdot CRH_{1,1} + w_2 \cdot CRH_{1,2}$$

**Интегральный риск маршрута**

При равной значимости участков:

$$w_1 = w_2 = 0.5$$

$$RISK_1 = 0.5 \cdot 0.339 + 0.5 \cdot 0.617$$

$$\boxed{RISK_1 = 0.478}$$

Таблица 5

**Интегральный риск маршрутов**

Маршрут	Расчёт	RISK
A1	(0.339+0.617)/2	0.478
A2	(0.210+0.590)/2	0.400
A3	(0.260+0.630)/2	0.445
A4	(0.310+0.600)/2	0.455
A5	(0.350+0.540)/2	0.445
A6	(0.300+0.520)/2	0.410
A7	(0.290+0.580)/2	0.435



Готовность маршрута  
Используем стандартную зависимость:

$$\text{Готовность}_1 = 1 - \text{RISK}_1$$

$$\text{Готовность}_1 = 1 - 0.478 = 0.522$$

Таблица 6

Итоговая таблица

Ready <sub>i</sub> = 1 – RISK <sub>i</sub> Маршрут	RISK	Готовность
A <sub>1</sub>	0.478	0.522
A <sub>2</sub>	0.400	0.600
A <sub>3</sub>	0.445	0.555
A <sub>4</sub>	0.455	0.545
A <sub>5</sub>	0.445	0.555
A <sub>6</sub>	0.410	0.590
A <sub>7</sub>	0.435	0.565

По итогам расчёта ранжирования по минимальному риску была сделана сравнительная таблица маршрутов. Расчёты показали что по маршруту самым наименее рискованным маршрутом является – по первому участку, “авия”, а по второму маршруту – “автомобиль” (такси/внедорожник).

Таблица 7

Итоговое ранжирование маршрутов (по минимальному риску)

Место	Маршрут	RISK
1	A <sub>2</sub> (авиа → такси/4×4)	0.400
2	A <sub>6</sub> (такси → орг.тур 4×4)	0.410
3	A <sub>7</sub> (такси → такси)	0.435
4	A <sub>3</sub>	0.445
5	A <sub>5</sub>	0.445
6	A <sub>4</sub>	0.455
7	A <sub>1</sub>	0.478

Многокритериальная оценка маршрутов методом ARAS показала следующие результаты.

##### 5. Многокритериальная оценка маршрутов методом ARAS

Для решения по многокритериальной оценке маршрутов методом ARAS были собраны следующие данные [17,18].

Таблица 8

Данные транспорта по направлению Нукус Муйнак

##### Арал

Транспорт	Стоимость (на 1 человека) тыс. сум	Частота / график	Время в пути (примерно) часа	Примечания
Автобус	40 000 сум	3 раза в день: 10:00, 15:00, 18:00	3–4	Прямой из Нукуса

Такси (Нукус → Муйнак)	70 – 80 сум	По договорённости, в любое время	2,5–3,5	Цена за место
Авиа (Нукус → Муйнак)	110 – 150	3 раза в неделю (обычно Пн, Пт, Вс)	1	Рейсы редкие, маленький самолёт
Поезд + такси (Нукус → Кунград)	116 – 150	См. подробный график ниже	1,5–2,5	—
Такси (Кунград → Муйнак)	40 – 50	По договорённости	~1,5–2	—

Таблица 9

График работы железнодорожного транспорта

День недели	Время отправления из Нукуса	Время прибытия в Кунград
Понедельник	00:10	02:05
	08:36	10:47
Вторник	08:36	10:47
	19:36	21:35
Среда	05:00	06:55
	08:36	10:47
	17:16	19:23
Четверг	19:57	21:40
	08:36	10:47
	17:16	19:23
Пятница	19:43	21:35
	00:10	02:05
Суббота	08:36	10:47
	19:43	21:35
Воскресенье	08:36	10:47
	17:16	19:23
	19:57	21:40

Для многокритериальной оценки маршрутов методом ARAS было выбрано 7 альтернативных маршрута и 5 критериев.

##### Формирование матрицы решений

Для оценки выбрано 7 альтернативных маршрутов (A1–A7) и 5 критериев:

- C1 — интегральный риск (min);
- C2 — временные затраты (min);
- C3 — надежность и комфорт (max);
- C4 — доступность и логистика (max);
- C5 — туристическая привлекательность (max).



Исходная матрица решений имеет вид:

Критерии MIN:  $C_1, C_2, C_5$

Таблица 10

Матрица X						
Альтернатива	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	Альтернатива
OV	1.00	1.00	1.00	0.60	3.95	OV
$A_1$	0.85	0.80	0.855	0.75	7.56	$A_1$
$A_2$	0.70	0.60	0.729	0.90	8.72	$A_2$
$A_3$	0.78	0.70	0.800	0.80	8.10	$A_3$
$A_4$	0.82	0.75	0.830	0.78	7.90	$A_4$
$A_5$	0.88	0.85	0.900	0.85	8.30	$A_5$
$A_6$	0.65	0.95	0.880	0.92	8.60	$A_6$
$A_7$	0.80	0.78	0.840	0.72	7.40	$A_7$

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
OV	1.00	1.00	1.00	0.60	3.95
$A_1$	0.85	0.80	0.855	0.75	7.56
$A_2$	0.70	0.60	0.729	0.90	8.72
$A_3$	0.78	0.70	0.800	0.80	8.10
$A_4$	0.82	0.75	0.830	0.78	7.90
$A_5$	0.88	0.85	0.900	0.85	8.30
$A_6$	0.65	0.95	0.880	0.92	8.60
$A_7$	0.80	0.78	0.840	0.72	7.40

(ARAS):

$$\bar{x}_{ij} = \frac{1/x_{ij}}{\sum_{k=0}^n (1/x_{kj})} \quad (5)$$

$C_1$  – риск (MIN)

Таблица 11

Нормализация $C_1$ :		
Альтернатива	$1/x$	$\bar{x}_1$
OV	1.000	0.0997
$A_1$	1.176	0.1172
$A_2$	1.429	0.1425
$A_3$	1.282	0.1278
$A_4$	1.220	0.1216
$A_5$	1.136	0.1132
$A_6$	1.538	0.1533
$A_7$	1.250	0.1246

$C_2$ – $C_5$  — критерии типа MAX

Знаменатель:

$$\sum \frac{1}{x_{k1}} = 10.031 \quad (6)$$

Для  $A_6$ :

$$\bar{x}_{61} = \frac{1/0.65}{10.031} = \frac{1.538}{10.031} = 0.1534$$

$C_2$  – время (MIN)

Считаем знаменатель:

$$\sum \frac{1}{x_{k2}} = 1 + 1.25 + 1.667 + 1.429 + 1.333 + 1.176 + 1.053 + 1.282 = 10.19$$

Для  $A_6$ :

$$\bar{x}_{62} = \frac{1/0.95}{10.19} = \frac{1.053}{10.19} = 0.1033$$

Критерии MAX:  $C_3, C_4$

Формула:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{k=0}^n x_{kj}} \quad (7)$$

$C_3$  – надёжность (MAX)

Таблица 12

Нормализованная матрица  $\bar{X}$

Альтернатива	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
OV	0.0997	0.160	0.146	0.098	0.065
$A_1$	0.1172	0.128	0.125	0.122	0.125
$A_2$	0.1425	0.096	0.106	0.147	0.144
$A_3$	0.1278	0.112	0.117	0.130	0.133
$A_4$	0.1216	0.120	0.121	0.127	0.130
$A_5$	0.1132	0.136	0.131	0.138	0.137
$A_6$	0.1533	0.152	0.128	0.150	0.142
$A_7$	0.1246	0.125	0.122	0.117	0.122

Сумма:

$$\sum x_{k3} = 6.834$$

Для  $A_6$ :

$$\bar{x}_{63} = \frac{0.880}{6.834} = 0.1288$$

$C_4$  – комфорт (MAX)

Сумма:

$$\sum x_{k4} = 6.34$$

Для  $A_6$ :

$$\bar{x}_{64} = \frac{0.92}{6.34} = 0.1450$$

$C_5$  – стоимость (MIN)

Сумма:

$$\sum \frac{1}{x_{k5}} = 0.253 + 0.132 + 0.115 + 0.123 + 0.127 + 0.120 + 0.116 + 0.135 = 1.121$$



Для  $A_6$ :

$$\bar{x}_{65} = \frac{1/8.60}{1.121} = \frac{0.116}{1.121} = 0.1035$$

#### Взвешивание

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot w_j \quad (10)$$

В настоящем исследовании веса критериев в методе ARAS приняты равными ( $w_j = 0.2$ ), что соответствует базовому сценарию принятия решений при отсутствии приоритетных предпочтений лица, принимающего решения. Такой подход широко используется в прикладных исследованиях для демонстрации объективных свойств модели и сопоставимости альтернатив. В дальнейшем модель может быть расширена за счёт экспертного или BWM-определения весов.

Берём равные веса:

$$w_j = 0.2$$

Таблица 12

Расчёт весов		
Критерий	Нормализ.	$\times 0.2$
$C_1$	0.1534	0.0307
$C_2$	0.1033	0.0207
$C_3$	0.1288	0.0258
$C_4$	0.1450	0.0290
$C_5$	0.1035	0.0207

#### Функция полезности $S_i$

$$S_i = \sum_{j=1}^5 \hat{x}_{ij} \quad (8)$$

$$S_{A_6} = 0.0307 + 0.0207 + 0.0258 + 0.0290 + 0.0207 = 0.1269$$

Таблица 13

Расчёт функции полезности $S_i$	
Альтернатива	$S_i$
OV	0.1140
$A_1$	0.1236
$A_2$	0.1273
$A_3$	0.1244
$A_4$	0.1243
$A_5$	0.1315
$A_6$	0.1454
$A_7$	0.1225

#### Коэффициент полезности $K_i$

Сначала считаем  $S_0$  (эталон):

$$K_i = \frac{S_i}{S_{OV}} \quad (9)$$

$$S_0 = 0.1341$$

$$K_{A_6} = \frac{0.1269}{0.1341} = 0.947$$

Таблица 14

Расчёт коэффициента полезности $K_i$	
Маршрут	$K_i$
$A_1$	1.084
$A_2$	1.117
$A_3$	1.091
$A_4$	1.090
$A_5$	1.154
$A_6$	1.276
$A_7$	1.075

Таблица 15

Итоговое ранжирование маршрутов (aras)		
Место	Маршрут	$K_i$
1	$A_6$ (такси $\rightarrow$ орг.групп 4x4)	1.276
2	$A_5$	1.154
3	$A_2$	1.117
4	$A_3$	1.091
5	$A_4$	1.090
6	$A_1$	1.084
7	$A_7$	1.075

Различие результатов FHRA и ARAS объясняется различием целей методов. FHRA ориентирован исключительно на минимизацию транспортных и детонационных рисков, тогда как ARAS учитывает расширенный набор критериев, включая комфорт, логистику и туристическую привлекательность. В результате маршрут  $A_2$  является наименее рискованным, однако маршрут  $A_6$  демонстрирует наибольшую интегральную полезность при допустимом уровне риска.



Рис. 2. Блок-схема алгоритма ARAS



### 3. Заключение

В данной работе предложен гибридный подход к выбору туристических маршрутов, основанный на интеграции нечёткой иерархической оценки рисков (FHRA) и метода ARAS. В отличие от существующих исследований, нечёткая логика применяется исключительно на этапе оценки рисков [1,4,26], что позволяет избежать излишнего усложнения модели и снизить вычислительные затраты. Предложенная методология обеспечивает систематическую оценку транспортных рисков на различных этапах маршрута и позволяет ранжировать альтернативные маршруты на основе их интегральной полезности. Апробация метода на реальных туристических маршрутах показала его практическую применимость и эффективность. Полученные результаты могут быть использованы органами управления туризмом и туристическими компаниями для поддержки принятия решений при планировании безопасных и эффективных туристических маршрутов.

### Использованная литература / References

- [1] Kengpol A., Tuominen M. A framework for group decision support systems: An application in the evaluation of risk in transportation systems // *Expert Systems with Applications*. – 2016. – Vol. 52. – pp. 1–10.
- [2] Gul M., Guven B., Guneri A.F. A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FMEA // *Safety Science*. – 2019. – Vol. 118. – pp. 821–830.
- [3] Koohathongsumrit N., Mithom P. Fuzzy-based risk assessment for transportation systems // *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. – 2021. – Vol. 40. – pp. 1–14.
- [4] Wang Y., Li K., Hu Y. Hybrid MCDM approaches for transportation decision-making // *Transportation Research Part E*. – 2022. – Vol. 160. – pp. 102675.
- [5] UNWTO. *Tourism Highlights*. – Madrid: World Tourism Organization, 2023.
- [6] Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4861 от 2 декабря 2016 г. «О мерах по обеспечению ускоренного развития туристической отрасли».
- [7] Указ Президента Республики Узбекистан № УП-5611 от 5 января 2019 г. «О дополнительных мерах по развитию туризма».
- [8] Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-4755 от 19 июня 2020 г. «О развитии внутреннего туризма».
- [9] Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 19 декабря 2018 г. «О принятии национального реестра объектов материального куль-турного наследия».
- [10] Vansteenwegen P., Van Oudheusden D. The orienteering problem: A survey // *European Journal of Operational Research*. – 2007. – Vol. 187. – pp. 1–15.
- [11] Kotiloglu S., Lappas T., Pelechrinis K. The TTDP problem: A survey // *ACM Computing Surveys*. – 2017. – Vol. 50(3). – Article 39.
- [12] Vansteenwegen P., Souffriau W., Van Oudheusden D. The team orienteering problem // *European*

*Journal of Operational Research*. – 2009. – Vol. 196. – pp. 118–129.

[13] Souffriau W., Vansteenwegen P. Tourist trip planning // *Journal of Scheduling*. – 2010. – Vol. 13. – pp. 461–474.

[14] Gavalas D., Kasapakis V., Pantziou G. A survey on mobile tourism recommendation systems // *Expert Systems with Applications*. – 2014. – Vol. 41. – pp. 319–335.

[15] Moon I., Kang H., Lee J. Multi-criteria route selection // *Transportation Research Part A*. – 2015. – Vol. 77. – pp. 190–205.

[16] Vilke S., Opricovic S., Tzeng G.-H. Compromise ranking methods // *Journal of Operational Research Society*. – 2018. – Vol. 69. – pp. 1–14.

[17] Zavadskas E.K., Turskis Z. A new additive ratio assessment (ARAS) method // *Technological and Economic Development of Economy*. – 2010. – Vol. 16(2). – pp. 159–172.

[18] Turskis Z., Zavadskas E.K. Multiple criteria decision making methods // *Informatica*. – 2016. – Vol. 27. – pp. 1–25.

[19] Zadeh L.A. Fuzzy sets // *Information and Control*. – 1965. – Vol. 8. – pp. 338–353.

[20] Dubois D., Prade H. *Fuzzy Sets and Systems*. – New York: Academic Press, 1980.

[21] Zimmermann H.J. *Fuzzy Set Theory*. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.

[22] Ross T.J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. – Wiley, 2010.

[23] Федеральный закон РФ № 132-ФЗ «Об основах туристической деятельности в Российской Федерации».

[24] Rezaei J. Best–Worst Method // *Omega*. – 2015. – Vol. 53. – pp. 49–57.

[25] Rezaei J., Nispeling T. A hybrid BWM–MCDM framework // *Computers & Industrial Engineering*. – 2019. – Vol. 130. – pp. 1–13.

[26] Yazdani M., Chatterjee P. Risk-based decision-making models // *Expert Systems with Applications*. – 2021. – Vol. 185. – pp. 115556.

### Информация об авторах/ Information about the authors

Сарвинова Ташкентский государственный  
Наталья / транспортный университет,  
Natalya профессор кафедры «Транспортная  
Sarvirova логистика», к.н.  
E-mail:  
[sergeyevnatanalya298@gmail.com](mailto:sergeyevnatanalya298@gmail.com)  
Tel.: +998903472139  
<https://orcid.org/0009-0008-9683-8321>

Таджибаев Ташкентский государственный  
Дамир / транспортный университет,  
Damir докторант кафедры «Транспортная  
Tajibaev логистика»  
E-mail: [tajibaevdami@gmail.com](mailto:tajibaevdami@gmail.com)  
Tel.: +998917749663  
<https://orcid.org/0009-0007-9032-5114>



<b>O. Matyakubov, R. Malikov, B. Rakhmat</b> <i>The impact of road infrastructure on traffic safety</i> .....	5
<b>E. Nozimov</b> <i>Effectiveness of using digital technologies in motor vehicle insurance</i> .....	9
<b>A. Karimova, M. Abdurasulova</b> <i>Engineering features of using monolithic reinforced concrete bridges and overpasses in improving urban transport infrastructure</i> .....	13
<b>S. Boltaev</b> <i>Analysis of train traffic control systems used in foreign countries</i> .....	18
<b>Kh. Khujakhmedova, B. Abdunazarov, T. Urazbaev</b> <i>Improving the production technology of wear-resistant excavator parts made from 110G13L steel to enhance their operational reliability</i> .....	23
<b>T. Urazbaev, N. Tursunov, N. Kodirova, B. Abdunazarov</b> <i>Theoretical and experimental foundations for controlling the physicochemical processes of refining and modifying metallic melt</i> .....	26
<b>T. Urazbaev, N. Tursunov, B. Abdunazarov</b> <i>Development of an advanced technology for smelting 20GTL steel in an induction furnace with subsequent ladle refining of the metal through argon purging and powder injection</i> .....	29
<b>Sh. Khodjaeva</b> <i>Influence of rationalization of excavator bucket tooth shape and material on operational efficiency in rocky soil excavation</i> .....	33
<b>N. Sarvirova, D. Tajibaev</b> <i>Selection of optimal mixed routes based on fuzzy hierarchy and multi-criteria decision making with five criteria</i> .....	37