

## Методология оценки транспортных связей субъектов Российской Федерации

Ю.О. Гантимурова<sup>1</sup>, В.Е. Гозбенко<sup>1,2</sup>✉, В.С. Ермолина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉vgozbenko@yandex.ru

### Резюме

Расширение транспортных связей является важным условием повышения мобильности и возможностей экономического развития субъектов Российской Федерации. Транспортные связи между центральными и периферийными районами способствуют повышению потенциала региональной конкуренции различных отраслей производства. В большинстве случаев экономическое и социальное развитие сосредоточено в административном центре или агломерации, поэтому оценка степени доступности состоит в возможности добраться до центра из самого дальнего населенного пункта за оптимальное время. Показатель сложности транспортных связей использовался для сравнения субъектов Российской Федерации с целью объяснения различий в характеристиках транспортной сети и социально-экономических факторов, а также для оценки возможных взаимосвязей был проведен кластерный анализ. Методология многокритериальной оценки была разработана путем объединения двух существующих методов, подходящих для анализа сложности транспортной сети с целью обоснования эффективных направлений развития региональной инфраструктуры. В результате оценки и последующих структурных преобразований улучшатся качественные показатели транспортных услуг, будет усилен региональный конкурентный потенциал и устранено неблагоприятное положение периферийных территорий. Предложенная методология и результаты проведенного исследования могут быть применены в региональном планировании для оценки характеристик доступности и определения трансграничных решений в отношении соседних субъектов, кроме того методика обеспечивает возможность визуального представления результатов на основе геоинформационных систем для поддержки процедуры принятия решений в области транспортного планирования перевозочного процесса.

### Ключевые слова

транспортные связи, субъекты Российской Федерации, виды транспорта, показатель сложности транспортной сети, территориальные особенности, качество транспортных услуг, многокритериальная оценка

### Для цитирования

Гантимурова Ю.О. Методология оценки транспортных связей субъектов Российской Федерации / Ю.О. Гантимурова, В.Е. Гозбенко, В.С. Ермолина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 2(78). С. 105–114. DOI 10.26731/1813-9108.2023.2(78).105-114.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 06.06.2023 г.; поступила после рецензирования: 19.06.2023 г.; принята к публикации: 20.06.2023 г.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект № МК-3495.2022.4)

## Methodology for assessing transport links of the constituent entities of the Russian Federation

Yu.O. Gantimurova<sup>1</sup>, V.E. Gozbenko<sup>1,2</sup>✉, V.S. Ermolina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

<sup>2</sup>Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉vgozbenko@yandex.ru

### Abstract

The expansion of transport links is an important condition for increasing the mobility and opportunities for economic development of the constituent entities of the Russian Federation. Transport links between the central and peripheral regions contribute to increasing the potential for regional competition in various industries. In most cases, economic and social development is concentrated in the administrative center or agglomeration, therefore, the assessment of the degree of accessibility is the ability get to the center from the farthest settlement in the optimal travel time. The indicator of the complexity of the transport network was used to compare the subjects of the Russian Federation in order to explain differences in the characteristics of the transport network and socio-economic factors, as well as to assess possible relationships; a cluster analysis was also carried out. The multi-criteria assessment methodology was developed by combining two existing methods suitable for assessing the complexity of the transport network in order to substan-

tiate effective directions for the development of regional infrastructure. As a result of the assessment and subsequent structural changes, the quality indicators of transport services will be improved, as well as the regional competitive potential will be strengthened and the unfavorable situation of peripheral territories will be eliminated. The proposed methodology and the results of the study can be applied in regional planning to assess the characteristics of accessibility and determine cross-border decisions in relation to neighboring entities, in addition, it provides the possibility of visual presentation of the results based on geographic information systems to support decision-making in the field of transport planning of the transportation process.

### Keywords

transport links, constituent entities of the Russian Federation, types of transport, indicator of the complexity of the transport network, territorial features, quality of transport services, multi-criteria assessment

### For citation

Gantimurova Yu.O., Gozbenko V.E., Ermolina V.S. Metodologiya otsenki transportnykh svyazei sub'ektov Rossiiskoi Federatsii [Methodology for assessing transport links of the constituent entities of the Russian Federation]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 2 (78), pp. 105–114. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.2(78).105-114.

### Article Info

Received: June 6, 2023; Revised: June 19, 2023; Accepted: June 20, 2023.

### Acknowledgement

This work was supported by the Council for Grants of the President of the Russian Federation (Project No MK-3495.2022.4).

### Введение

Функционирование транспортной системы и степень развития субъектов страны взаимосвязаны, так как обеспеченность транспортом напрямую согласуется с возможностями распределения производимой продукции, что является важнейшим показателем регионального роста. Скорость развития различных видов транспорта по-разному влияет на экономику [1]. Расширение транспортной инфраструктуры и внутреннего валового продукта на душу населения находятся в положительной корреляции друг с другом [2], однако отмечается, что этот факт является результатом исторических процессов агломерации [3, 4]. Транспорт способствует развитию региональной экономики только в том случае, если его эксплуатация и функционирование осуществляются должным образом [2, 5]. Улучшение условий на транспорте оказывает положительное влияние на рынок труда и обеспечивает дополнительные преимущества в конкурентоспособности [6].

Во многих случаях новая транспортная инфраструктура создается не между центральными и периферийными регионами, а внутри центров, так как в этой области отмечается самый высокий спрос на транспортные услуги [7–10]. На территории РФ наблюдаются существенные региональные различия между отдельными федеральными округами, субъектами, городами и государственная поддержка, инвестиции, программы развития не всегда позволяют сгладить эти несоответствия.

### Исходные данные и методы исследования

Для того чтобы произвести градацию транспортных связей и оценить их различие на региональном уровне предлагается применение количественного показателя сложности транспортной сети (TRANS) [11]. Соотношение позволяет сопоставить уровень развития транспортных систем различных регионов с учетом территориальных особенностей [12, 13]. Для анализа использовались следующие исходные данные:

- $S$  – площадь субъекта (региона), млн км<sup>2</sup>;
- $N$  – численность населения, проживающего на территории субъекта, млн чел.;
- $L_{\text{ЖД}}$  – общая протяженность железнодорожной сети, км;
- $L_{\text{А}}$  – общая протяженность автомобильных дорог общего пользования, км;
- $AL_{\text{ТВ}}$  – доля автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием в общей протяженности дорог общего пользования, %;
- $L_{\text{ВОД}}$  – общая протяженность водных путей сообщения, км;
- $Q_{\text{ВОЗД}}$  – объемы перевозок через аэропорты, млн пасс.

В табл. 1 приведены исходные данные по восьми федеральным округам РФ для оценки сложности транспортных связей. Первичные данные были получены из баз данных Федеральной службы государственной статистики и Росавтодора [14].

Из табл. 1 видно, что характеристики региональных транспортных систем существенно

**Таблица 1.** Исходные данные для оценки транспортных связей федеральных округов РФ  
**Table 1.** Initial data for the assessment of transport links of the federal districts of the Russian Federation

№	Федеральный округ Federal district	$S$ , млн км <sup>2</sup> mln.sq.km	$N$ , млн чел. mln people	$L_{жд}$ , км km	$L_A$ , км km	$AL_{ТВ}$ , %	$Q_{возд}$ , млн пасс. mln pass.	$L_{вод}$ , км km
1	Центральный Central	0,65	40,23	16 973,1	359 049,5	68,7	75,55	5 441,0
2	Северо-Западный North-Western	1,69	13,87	13 199,9	146 807,5	72,4	25,52	17 144,7
3	Южный Southern	0,45	16,64	7 385,9	151 108,0	71,1	24,23	4 365,1
4	Северо-Кавказский North-Caucasian	0,17	10,20	2 101,1	92 086,7	79,0	6,52	0,0
5	Приволжский Volga	1,04	28,68	14 748,2	357 851,6	69,4	13,31	9 486,0
6	Уральский Urals	1,82	12,26	8 494,6	105 588,3	75,6	14,50	13 007,0
7	Сибирский Siberian	4,36	16,65	11 068,8	225 519,8	71,1	16,10	25 309,0
8	Дальневосточный Far-Eastern	6,95	7,90	12 558,3	128 133,9	67,0	7,84	26 825,6

отличаются в количественном выражении, поэтому, чтобы снизить эти различия, необходимо произвести процедуры статистического выравнивания переменных путем взвешивания и переопределения с учетом региональной площади и численности населения с помощью комплексного коэффициента Энгеля по формуле (1):

$$L'_A = \frac{L_A}{(S \cdot N)^{0,5}}, \quad (1)$$

где  $L'_A$  – переопределенное значение (коэффициент) протяженности автомобильных дорог общего пользования с учетом региональной площади и численности населения.

Процесс нормализации переопределенных данных осуществлялся с помощью метода Беннета согласно формуле (2):

$$N(L_A) = \frac{L'_A - \min L'_A}{\max L'_A - \min L'_A}, \quad (2)$$

где  $N(L_A)$  – нормированный сводный индекс протяженности автомобильных дорог общего пользования;  $\max L'_A$  – максимальный коэффициент протяженности автомобильных дорог анализируемых субъектов;  $\min L'_A$  – минимальный коэффициент протяженности автомобильных дорог анализируемых субъектов.

Принятие решений основывается на оценке различных характеристик альтернатив. Методы многокритериальной оценки широко используются в транспортной отрасли. Основными этапами алгоритма являются: анализ проблемы, определение переменных, выбор

факторов оценки, выполнение процедуры оценки и подготовка рекомендаций. Отмечается, что он эффективен для стратегической оценки инновационных решений, способствующих созданию безопасной дорожной среды [15]. Существует большое множество приложений данного алгоритма в области энергетики, окружающей среды, а также в сфере городского транспорта [15, 16]. Сравнение различных предпочтений приводит к обоснованию рекомендаций по принятию решения, где присутствуют подтверждающие четкие числовые значения, а также описания, включающие некоторую неопределенность из-за субъективных оценок нечисловых переменных. Одним из широко используемых методов, который может принимать решения в случае неопределенности, является процесс нечеткой аналитической иерархии (АНР). Этот метод применим для оценки стратегий обслуживания улично-дорожной сети или для управления движением на второстепенных дорогах [12]. Метод был успешно применен для технико-экономического обоснования дорожно-транспортных проектов, основанных на сбалансированном региональном развитии [13]. Вес атрибута – числовая мера относительной важности критерия в процедуре оценки альтернатив – является важной частью любого многокритериального анализа. Введение нечетких переменных обеспечивает значение весов атрибутов, так как вычисляется не только четкое число весов, но и задаются нижняя и верхняя

границы. АНР может использоваться как самостоятельный метод для оценки принимаемых решений, так и в сочетании с линейным программированием, генетическими алгоритмами, нейронными сетями и другими методами анализа. Кроме того, в исследованиях авторов отмечается успешное применение метода АНР совместно с методом КИРА, разработанным венгерскими учеными Kindler и Papp [15], который подходит для оценки программ улучшения региональных транспортных связей с учетом постоянно меняющихся потребностей экономики, а также ограниченных ресурсов. АНР основан на попарном сравнении факторов оценки, тогда как суть метода КИРА заключается в попарном сравнении альтернатив [16]. Матрица первого иерархического уровня АНР предназначена для расчета весов факторов оценки, а матрица второго иерархического уровня сравнивает числовые характеристики альтернатив на основе их пропорций. Метод КИРА выполняет попарное сравнение альтерна-

тив в матричной форме, вычисляя индекс предпочтения и дисквалифицирующий индекс, представляющий преимущества и недостатки сравниваемых альтернатив. Основным принципом метода КИРА аналогичен более широко используемому европейскому методу Promethee. Метод КИРА основан на различиях между парными альтернативами, тогда как АНР измеряет характеристики альтернатив по специальной шкале. В обоих случаях необходимо рассчитать веса факторов оценки. Главное преимущество комбинированного метода в том, что он вычисляет веса факторов оценки с использованием метода нечеткой аналитической иерархии и вводит эти веса в КИРА. Первоначальный метод КИРА исследует сравниваемые альтернативы с использованием пятиуровневой вербальной шкалы для отдельных факторов оценки, где размеры шкалы определяются на основе значений факторов. Комбинированный метод заменяет эти вербальные категории нечеткими переменными, поэтому попарное сравнение альтернатив

**Таблица 2.** Нечеткие значения для сравнения факторов оценки методом АНР

**Table 2.** Fuzzy values for comparing evaluation factors using the AHP method

Вербальная категория Verbal category	Описание Description	Нечеткие значения Fuzzy values
Крайне неважно Extremely unimportant	Фактор гораздо менее важен, чем другие A factor much less important than others	(0, 1, 2)
Неважно Unimportant	Фактор менее важен, чем другие A factor less important than others	(1, 2,5, 4)
Равноценная важность Equal importance	Факторы равноценны по степени важности Factors are equal in importance	(3, 5, 7)
Важно Important	Фактор важнее другого Factor more important than others	(6, 7,5, 9)
Чрезвычайно важно Extremely important	Фактор значительно важнее другого Factor much more important than others	(8, 9, 10)

**Таблица 3.** Рекомендуемые нечеткие значения для сравнения альтернатив в методе КИРА

**Table 3.** Recommended fuzzy values for comparing alternatives in the KIPA method

Вербальная категория Verbal category	Описание Description	Нечеткие значения Fuzzy values
Плохо Bad	Наиболее неблагоприятная альтернатива по данному фактору оценки The most unfavorable alternative by this assessment factor	(0, 1, 2)
Удовлетворительно Satisfactory	Неблагоприятная альтернатива по данному фактору оценки The unfavorable alternative for this assessment factor	(1, 2, 3)
Средне Medium	Безразлично по данному фактору оценки Indifferent by this assessment factor	(2, 3, 4)
Хорошо Good	Благоприятная альтернатива по данному фактору оценки The favorable alternative for this assessment factor	(3, 4, 5)
Отлично Excellent	Наиболее благоприятная альтернатива по данному фактору оценки The most favorable alternative by this assessment factor	(4, 5, 5)

может быть выполнено независимым способом. Кроме того, с помощью нечетких переменных может быть учтена неопределенность мнений экспертов, а также устранена проблема обратного ранжирования.

Введение и применение нечетких переменных является подходящим методом для обработки неопределенности в транспортных связях между регионами [17–19]. Форма нечетких переменных может быть различной. Чаще всего используется форма асимметричного треугольника. Нечеткое число ( $a$ ) в форме асимметричного треугольника характеризуется тройкой значений, где  $l$  – нижняя граница,  $m$  – пиковое значение равно 1, и  $u$  – верхняя граница, т.е.  $a = (l, m, u)$ . Полученное нечеткое число может быть дефазифицировано с получением четкого числа с применением подходящего метода. Под процессом дефазификации понимается определение четкого числа для наилучшей характеристики значения нечеткой переменной. Часто используемыми методами являются метод геометрического центра и метод точки веса. Упрощенный расчет дефазифицированного четкого числа, может быть описан как  $c = (l + m + u) / 3$ .

Сравнительные значения факторов оценки, используемых в методе АНР: «1», «3», «5», «7», «9». В табл. 2 показан возможный вариант оценки факторов, основанный на нечетком множестве. Вербальные категории для сравнения альтернатив в методе КИРА: «отлично», «хорошо», «средне», «удовлетворительно», «плохо». В табл. 3 показаны нечеткие значения, описывающие эти категории в комбинированном методе.

Для определения весов в методе АНР эксперты проводят попарное сравнение факторов оценки для всех возможных случаев [16]. Результаты представлены в виде элементов матрицы  $a_{ij}$  размером  $n \times n$  в случае  $n$  факторов оценки. Матрица симметрична ( $a_{ji} = 1/a_{ij}$ ), а значение элементов главной диагонали  $a_{ii}$  равно 1.

В нечетком варианте элементы матрицы представлены нечеткими числами. Нечеткий собственный вектор относительных весов может быть определен путем вычисления среднего геометрического с применением нечеткой арифметики в качестве подходящего приближения:

$$e_i = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n},$$

$$w_i = \frac{e_i}{\sum_1^n e_i},$$

где  $a_{ij}$  – элемент матрицы сравнения факторов оценки;  $e_i$  – аппроксимация элемента собственного вектора матрицы;  $w_i$  – относительный вес фактора оценки (сумма относительных весов равна 1).

На рис. 1 представлена блок-схема комбинированного метода оценки с применением нечетких переменных.

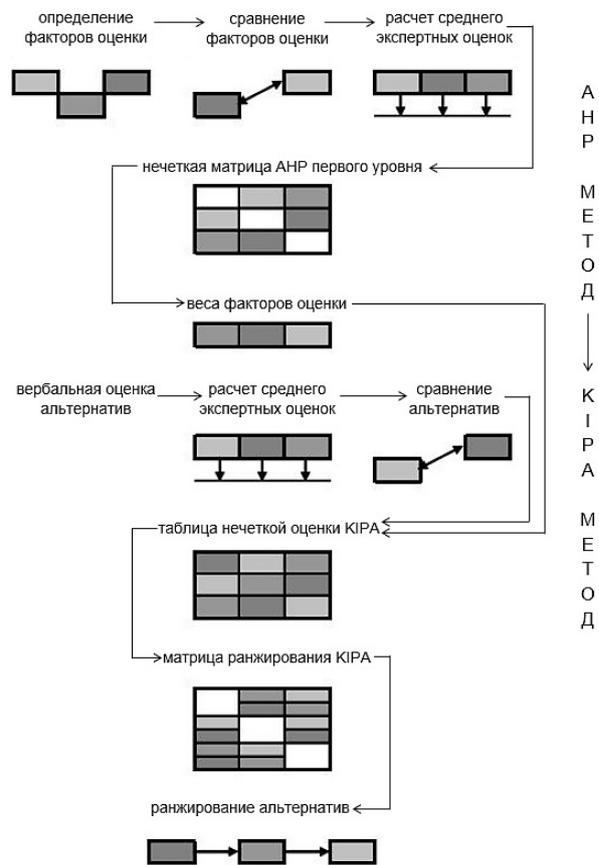


Рис. 1. Блок-схема комбинированного метода оценки

Fig. 1. Flowchart of the combined estimation method

При расчете веса факторов методом КИРА преимущества или предпочтения лучших либо равных альтернатив сравниваются с суммой весов:

$$c_{ij} = \sum_{i \in (t_i \geq t_j)} w_i,$$

где  $c_{ij}$  – коэффициент преимущества;  $w_i$  – вес данного фактора оценки;  $t_i, t_j$  – оценки данной альтернативы, состоящие из нечетких значений.

При расчете неблагоприятного или дисквалифицирующего фактора наибольшая разница в оценке сравнивается с диапазоном шкалы:

$$d_{ij} = \frac{(t_i - t_j)_{\max}}{80w_{\max}},$$

где  $d_{ij}$  – фактор недостатка,  $w_{\max}$  – максимальный вес факторов оценки.

Дефазификация факторов преимуществ и недостатков, рассчитанных как нечеткие переменные, обеспечивает оценку элементов матрицы с применением метода геометрического центра. Сама оценка представляет собой итеративную процедуру, которая шаг за шагом варьирует пределы преимуществ и недостатков факторов, и ее результатом является предпочтение или ранжирование приоритетов альтернатив [19].

### Результаты исследования

После нормализации все значения расчетных переменных находятся в пределах от 0 до 1. Чем ближе это значение к 1, тем лучше уровень транспортных систем данной территориальной единицы (табл. 4).

На рис. 2 отображены значения показателей сложности транспортной сети по 85 субъектам РФ. Было выделено три категории регионов: с высокоразвитыми транспортными связями (значение TRANS 0,3578–0,5366), формирующимися (значение TRANS 0,1789–0,3577) и слаборазвитыми связями (значение TRANS 0–0,1788) [20].

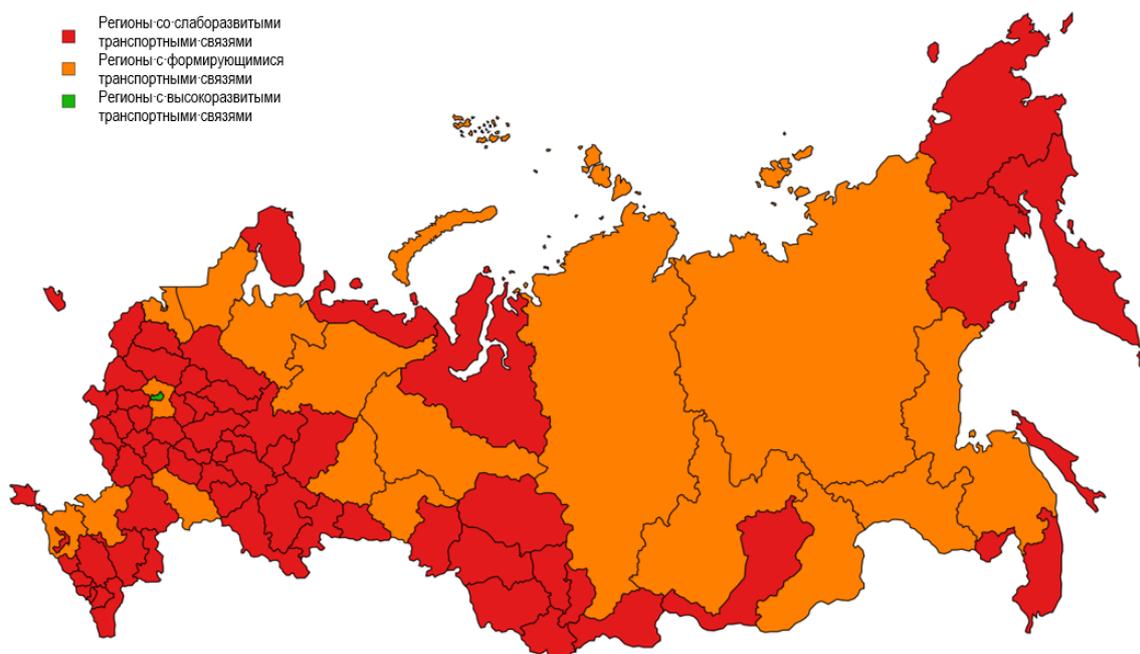
Цель кластерного анализа – объединить в одну группу схожие с точки зрения развития транспортной системы регионы с учетом функционирующих видов транспорта. Методы кластерного анализа можно разделить на две группы – иерархические и неиерархические. Каждая из групп включает множество подходов и алгоритмов, при использовании которых можно получить различные решения для одних и тех же данных, что считается нормальным явлением. Для анализа использовался иерархический метод «ближайшего соседа», федеральные округа были сгруппированы в три кластера относительно показателя сложности транспортной сети (рис. 3) [20]. Суть иерархической кластеризации состоит в последовательном объединении меньших кластеров в большие [21–23]. Важным условием адаптируемости кластерного анализа является стандартизация исследуемых переменных, поэтому была произведена стандартизация исходных значений (см. табл. 1) по экономическим и социальным факторам.

*Кластер 1.* К этому кластеру принадлежит только одна территориальная единица – Центральный федеральный округ, в который входит 17 областей и один город федерального значения. Центральный федеральный округ имеет более развитую транспортную сеть с высокой плотностью, что объясняется наибольшим сосредоточением населения в европейской части России.

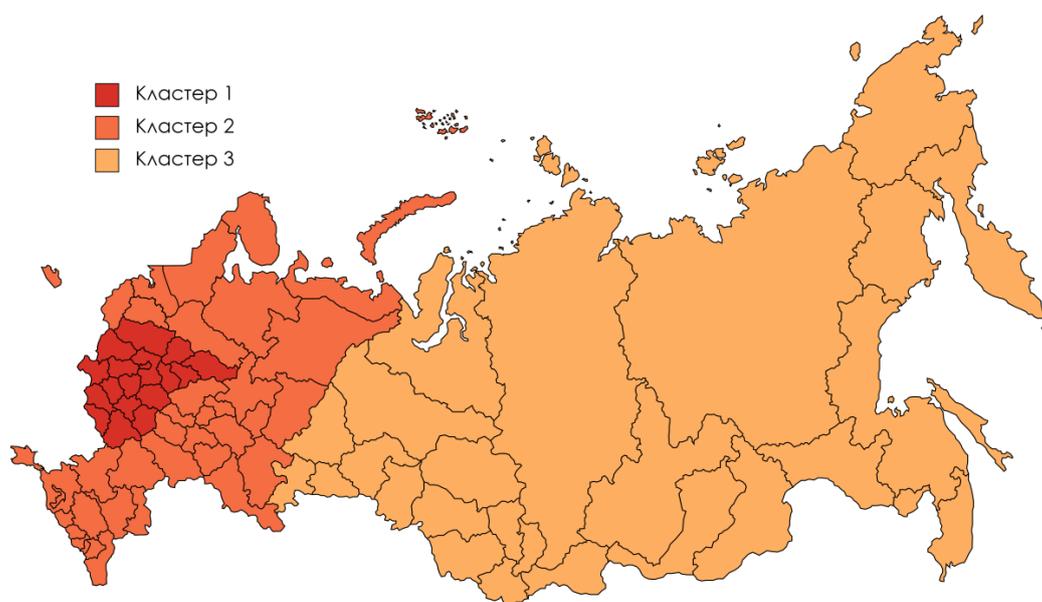
**Таблица 4.** Значения переменных после нормализации и рассчитанных показателей сложности транспортных связей

**Table 4.** Values of variables after normalization and calculated indicators of the complexity of transport links

№ п/п	Федеральный округ Federal district	$N(L_{ЖД})$	$N(L_A)$	$N(AL_{ТВ})$	$N(Q_{ВОЗД})$	$N(L_{ВОД})$	TRANS
1	Центральный Central	1,0000	1,0000	0,0986	1,0000	0,2940	0,6785
2	Северо-Западный North-Western	0,7079	0,2469	0,1283	0,3076	0,9795	0,4740
3	Южный Southern	0,6962	0,7192	0,3428	0,5700	0,4418	0,5540
4	Северо-Кавказский North-Caucasian	0,1467	0,9944	1,0000	0,2836	0,0000	0,4849
5	Приволжский Volga	0,6949	0,9125	0,0847	0,1007	0,4804	0,4546
6	Уральский Urals	0,2476	0,0959	0,1485	0,1467	0,7612	0,2800
7	Сибирский Siberian	0,0000	0,1734	0,0000	0,0606	0,8207	0,2110
8	Дальневосточный Far-Eastern	0,1956	0,0000	0,0135	0,0000	1,0000	0,2418



**Рис. 2.** Значения показателя сложности транспортной сети по субъектам РФ  
**Fig. 2.** The complexity indicator values for transport network by entities of the Russian Federation



**Рис. 3.** Результаты кластерного анализа федеральных округов РФ по показателю сложности транспортной сети  
**Fig. 3.** Cluster analysis results of the federal districts Russian Federation in terms of complexity transport network

*Кластер 2.* В него входят четыре федеральных округа – Северо-Западный, Южный, Северо-Кавказский и Приволжский. Самый развитый из них с наибольшим значением показателя сложности транспортной сети – Южный федеральный округ. Также стоит отметить, что Северо-Кавказский федеральный округ,

несмотря на отсутствие водных путей сообщения, с незначительным объемом перевезенных пассажиров воздушным транспортом по сравнению с другими федеральными округами данного кластера, отнесен к регионам с формирующимися транспортными связями. Это объясняется тем, что показатели развитости сети ав-

томобильных дорог с учетом плотности населения и площади территории округа достаточно высоки, а значение удельного веса автомобильных дорог с твердым покрытием – максимальное среди федеральных округов всех кластеров.

**Кластер 3.** В данную группу входят оставшиеся три федеральных округа: Уральский, Сибирский и Дальневосточный. Несмотря на то, что значения по протяженности всех путей сообщения в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах выше, наибольшее значение показателя сложности транспортной сети отмечается в Уральском федеральном округе. Наблюдаются доминирующие параметры по протяженности автомобильных дорог, водных путей сообщения по сравнению с кластером 2. Однако на слабо освоенной территории Сибири и Дальнего Востока транспортные связи менее развиты, плотность сети значительно ниже. В целом для Российской Федерации характерна широтная направленность транспортных потоков.

### Заключение

Основной областью практического применения представленных результатов исследования является принятие решений, обеспечивающих процедуру многокритериальной оцен-

ки программ развития транспортного сообщения с учетом сложности транспортной сети (региональный фактор), интенсивности транспортных потоков (технический фактор), расчетной стоимости на транспортировку грузов и пассажиров (экономический фактор), плотности населения в регионе (социальный фактор).

Показатель сложности транспортных связей подходит для характеристики транспортной инфраструктуры с целью анализа и оценки транспортных систем субъектов РФ. Практическим применением расчетных значений показателей сложности транспортных связей является осуществление кластерного анализа федеральных округов и разработка рейтинга регионов с точки зрения развития транспортной системы. Кроме того, применение многокритериального анализа при принятии решений о расширении транспортных связей, повышении мобильности и возможностей экономического развития регионов позволяет учитывать технические, экономические и социальные факторы, которые оказывают влияние на распределение грузовых потоков с учетом ограниченности ресурсов внутри субъектов.

### Список литературы

1. Оленевич В.А., Гозбенко В.Е. Задачи приспособления транспортной инфраструктуры к новым технологиям // *Соврем. технологии и науч.-техн. прогресс*. 2021. № 8. С. 189–190.
2. Транспортная инфраструктура как основополагающий фактор эффективного функционирования экономики страны / О.А. Лебедева, Ю.О. Полтавская, З.Н. Гаммаева и др. // *Сб. науч. тр. Ангар. гос. техн. ун-та*. 2018. Т. 1. № 15. С. 125–130.
3. Крипак М.Н., Колесник А.И. Проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры в современных городах // *Сб. науч. тр. Ангар. гос. техн. ун-та*. 2014. Т. 1. № 1. С. 194–198.
4. Крипак М.Н., Домнина А.С., Дружинина М.В. Перспективы развития транспортной сети г. Севастополь в ограниченных условиях исторической застройки // *Молодая наука Сибири*. 2021. № 3 (13). С. 170–175. URL: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/228/122> (Дата обращения 18.04.2023).
5. Антонов Д.В., Лебедева О.А. Основные принципы развития транспортных систем городов // *Вестн. Ангар. гос. техн. акад.* 2014. № 8. С. 149–155.
6. Толстяков Р.Р., Гавриков В.А. Методика определения качества автотранспортных услуг как основного показателя конкурентоспособности автотранспортных предприятий // *Социал.-эконом. явления и процессы*. 2015. Т. 10. № 10. С. 150–155.
7. Антонова А.В., Доможирова А.Д. К вопросу моделирования размеров пассажиропотока на различных видах транспорта // *Инициативы молодых – науке и производству : сб. ст. IV Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов*. Пенза, 2022. С. 24–26.
8. Транспортное планирование в российских городах: перспективы актуализации классификации и подхода к проектированию городских улиц / Е.С. Преловская, А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов и др. // *Вестн. Сибир. гос. автомоб.-дорожн. ун-та*. 2017. № 6 (58). С. 113–119.
9. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Шаров М.И. К вопросу об оценке качества транспортного обслуживания в городах // *Соврем. проблемы трансп. комплекса России*. 2013. Т. 3. № 1. С. 16–23.
10. Царегородцева Е.Ю., Упырь Р.Ю. Инновационные подходы в управлении логистикой на транспорте // *Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона*. 2021. № 1 (26). С. 14–17.
11. Проскурина И.Ю., Макаров Д.Б. Приоритетные направления развития региональной транспортной системы // *Лесотехнический журнал*. 2014. Т. 4. №3 (15). С. 319–331.

12. Михайлов А.Ю. Интегральный критерий оценки качества функционирования улично-дорожных сетей // Изв. Иркут. гос. эконом. акад. 2004. № 2. С. 50–53.
13. Дутов А.В., Клочков В.В., Рождественская С.М. Измерение и нормирование транспортной связанности и качества транспортного обслуживания страны и ее регионов // Регионы России: стратегии и механизмы модернизации, инноваций и технолог. развития : материалы X междунар. науч.-практ. конф. М., 2019. С. 43–48.
14. Федеральная служба государственной статистики // Росстат : сайт. URL : <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (Дата обращения 12.05.2023).
15. Gulyas A., Kovacs A. Assessment of transport connections based on accessibility // Transportation Research Procedia. 2016. № 14. P. 1723–1732.
16. Верескун В.Д. Экспертные оценки в производственно-транспортных процессах: вопросы организации, моделирования и управления // Фундаментальные исследования. 2016. № 4-3. С. 485–489.
17. Захарчук Е.А., Пасынков А.Ф., Некрасов А.А. Классификация регионов по критериям саморазвития // Экономика региона. 2011. № 3. С. 54–63.
18. Aldian A., Taylor M.A.P. Fuzzy Multicriteria Analysis for Inter-city Travel Demand Modelling // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. 2003. Vol. 5. P. 1294–1307.
19. Awasthi A., Chauhan S. Using AHP and Dempster-Shafer theory for evaluation sustainable transport solutions // Environmental Modeling and Software. 2011. Vol. 26. P. 787–796.
20. Карта России // Map Chart. Russia map : сайт URL: <https://www.mapchart.net/russia.html> (Дата обращения 28.05.2023).
21. Барышникова Н.А. Методика кластеризации на основе иерархических и неиерархических методов кластерного анализа // Вестн. Таганрог. ин-та управления и экономики. 2012. № 1 (15). С. 81–83.
22. Игнатъева А.С., Логунова Ю.А. Анализ данных на основе алгоритмов агломеративной иерархической кластеризации // Фундаментал. и приклад. аспекты компьютер. технологий и информ. безопасности : сб. ст. III Всерос. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. Таганрог, 2017. Ч. 2. С. 17–20.
23. Гладиллин А.В., Гамазина В.С. Иерархические методы кластеризации данных и их характеристики // Информ. технологии в эконом. и техн. задачах : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2016. С. 200–202.

### References

1. Olentsevich V.A., Gozbenko V.E. Zadachi adaptatsii transportnoi infrastruktury k novym tekhnologiyam [Tasks of adaptation of transport infrastructure to new technologies]. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress* [Modern technologies and scientific and technical progress], 2021, no. 8, pp. 189–190.
2. Lebedeva O.A., Poltavskaya Yu.O., Gammaeva Z.N., Kondratenko T.V. Transportnaya infrastruktura kak priyemlyemy faktor ratsional'nosti ekonomiki strany [Transport infrastructure as an acceptable factor in the rationality of the country's economy]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Angarsk State Technical University], 2018, vol. 1, no. 15, pp. 125–130.
3. Kripak M.N., Kolesnik A.I. Problemy i perspektivy razvitiya transportnoi infrastruktury sovremennykh gorodov [Problems and prospects for the development of transport infrastructure in modern cities]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Angarsk State Technical University], 2014, vol. 1, no. 1, pp. 194–198.
4. Kripak M.N., Domnina A.S., Druzhinina M.V. Perspektivy razvitiya transportnoi seti goroda Sevastopolya v ogranichennykh usloviyakh istoricheskogo razvitiya [Prospects for the development of the transport network of the city of Sevastopol in the limited conditions of historical development]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young science of Siberia. 2021], 2021, no. 3 (13), pp. 170–175.
5. Antonov D.V., Lebedeva O.A. Osnovnye printsipy razvitiya transportnykh sistem gorodov [Basic principles for the development of transport systems of cities]. *Vestnik Angarskoi gosudarstvennoi tekhnicheskoi akademii* [Bulletin of the Angarsk State Technical Academy], 2014, no. 8, pp. 149–155.
6. Tolstyakov R.R., Gavrikov V.A. Metodika opredeleniya kachestva avtotransportnykh uslug kak kriterii otsenki konkurentosposobnosti avtotransportnykh predpriyatii [Methodology for determining the quality of motor transport services as a criterion for assessing the competitiveness of motor transport enterprises]. *Sotsial'no-ekonomicheskie yavleniya i protsessy* [Socio-economic phenomena and processes], 2015, vol. 10, no. 10, pp. 150–155.
7. Antonova A.V., Domozhirova A.D. K voprosu modelirovaniya velichiny passazhiropotoka na razlichnykh vidakh transporta [On the issue of modeling the size of passenger traffic on various modes of transport]. *Sbornik statei IV Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i studentov «Molodezhnye initsiativy – nauka i proizvodstvo»* [Proceedings of the IV All-Russian scientific-practical conference of young scientists and students «Young people's initiatives – science and production»]. Penza, 2022, pp. 24–26.
8. Prelovskaya E.S., Levashev A.G., Mikhailov A.Yu., Engel B. Transportnoe planirovanie v rossiiskikh gorodakh: perspektivy aktualizatsii klassifikatsii i podkhoda k proektirovaniyu gorodskikh ulits [Transport planning in Russian cities: prospects for updating the classification and approach to the design of city streets]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta* [Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University], 2017, no. 6 (58), pp. 113–119.
9. Levashev A.G., Mikhailov A.Yu., Sharov M.I. K voprosu ob otsenke kachestva transportnogo obsluzhivaniya v gorodakh [On the issue of assessing the quality of service in cities]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern problems of the transport complex of Russia], 2013, vol. 3, no. 1, pp. 16–23.

10. Tsaregorodtseva E.Yu., Upyr' R.Yu. Innovatsionnye podhody v upravlenii logistikoi na transporte [Innovative approaches to logistics management in transport]. *Transport Aziatsko-Tihookeanskogo regiona* [Transport of the Asia-Pacific region], 2021, no. 1 (26), pp. 14–17.
11. Proskurina I.Yu., Makarov D.B. Prioritetnye napravleniya razvitiya regional'noi transportnoi sistemy [Priority directions of development of the regional transport system]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry journal.], 2014, Vol. 4, no 3 (15), pp. 319–331.
12. Mikhailov A.Yu. Integral'nyi kriterii otsenki kachestva funktsionirovaniya ulichno-dorozhnoi seti [Integral criterion for assessing the quality of the functioning of street and road networks]. *Izvestiya Irkutskoi gosudarstvennoi ekonomicheskoi akademii* [Izvestia of the Irkutsk State Economic Academy], 2004, no. 2, pp. 50–53.
13. Dutov A.V., Klochkov V.V., Rozhdestvenskaya S.M. Izmerenie i regulirovanie transportnoi svyaznosti i kachestva transportnykh uslug dlya strany i ee regionov [Measurement and regulation of transport connectivity and the quality of transport services for the country and its regions]. *Materialy X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Regiony Rossii: strategii i mekhanizmy modernizatsii, innovatsionnogo i tekhnologicheskogo razvitiya»* [Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference «Regions of Russia: strategies and mechanisms of modernization, innovation and technological development»]. Moscow, 2019, pp. 43–48.
14. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki (Elektronnyi resurs) [Federal State Statistics Service (Electronic resource)]. Available at: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (Accessed May 12, 2023).
15. Gulyas A., Kovacs A. Assessment of transport connections based on accessibility. *Transportation Research Procedia*. 2016. No. 14. Pp. 1723–1732.
16. Vereskun V.D. Ekspertnye otsenki v proizvodstvennykh i transportnykh protsessakh: voprosy organizatsii, modelirovaniya i upravleniya [Expert assessments in production and transport processes: issues of organization, modeling and management]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2016, no. 4-3, pp. 485–489.
17. Zakharchuk E.A., Pasyukov A.F., Nekrasov A.A. Klassifikatsiya regionov po kriteriyam samorazvitiya [Classification of regions according to the criteria of self-development]. *Ekonomika regiona* [Economics of the region], 2011, no. 3, pp. 54–63.
18. Aldian A., Taylor M.A.P. Fuzzy Multicriteria Analysis for Inter-city Travel Demand Modelling. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2003. Vol. 5. Pp. 1294–1307.
19. Awasthi A., Chauhan S. Using AHP and Dempster-Shafer theory for evaluation sustainable transport solutions. *Environmental Modeling and Software*. 2011. Vol. 26. Pp. 787–796.
20. Karta Rossii (Elektronnyi resurs) [Russia's map (Electronic resource)]. Available at: <https://www.mapchart.net/russia.html> (Accessed May 28, 2023).
21. Baryshnikova N.A. Metodika klasterizatsii na osnove ierarkhicheskikh i neierarkhicheskikh metodov klasterного analiza [Clustering technique based on hierarchical and non-hierarchical methods of cluster analysis]. *Vestnik Taganrogskogo instituta upravleniya i ekonomiki* [Bulletin of the Taganrog Institute of Management and Economics], 2012, no. 1 (15), pp. 81–83.
22. Ignat'eva A.S., Logunova Yu.A. Analiz dannykh na osnove algoritmov aglomerativnoi ierarkhicheskoi klasterizatsii [Data analysis based on agglomerative hierarchical clustering algorithms]. *Sbornik statei III Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchennykh, aspirantov i studentov «Fundamental'nye i prikladnye aspekty komp'yuternykh tekhnologii i informatsionnoi bezopasnosti»* [Proceedings of the III All-Russian scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students «Fundamental and applied aspects of computer technology and information security»]. Taganrog, 2017, part 2, pp. 17–20.
23. Gladilin A.V., Gamazina V.S. Ierarkhicheskie metody klasterizatsii dannykh i ikh kharakteristiki [Hierarchical methods of data clustering and their characteristics]. *Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Informatsionnye tekhnologii v ekonomicheskikh i tekhnicheskikh zadachakh»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Information technologies in economic and technical problems»]. Penza, 2016, pp. 200–202.

### Информация об авторах

**Гантимунова Юлия Олеговна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск; e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru.

**Гозбенко Валерий Ерофеевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры математики, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; профессор кафедры управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск; e-mail: vgozbenko@yandex.ru.

**Ермолина Владислава Сергеевна**, кафедра управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск; e-mail: vladislava.ermolina@bk.ru.

### Information about the authors

**Yulia O. Gantimurova**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk; e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru.

**Valerii E. Gozbenko**, Doctor of Engineering Science, Full Professor, Professor of the Department of Mathematics, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; Professor of the Department of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk; e-mail: vgozbenko@yandex.ru.

**Vladislava S. Ermolina**, Department of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk; e-mail: vladislava.ermolina@bk.ru.