

Анализ факторов, оказывающих влияние на развитие интеллектуальных транспортных систем в субъектах Российской Федерации

Ю.О. Полтавская✉, В.Е. Гозбенко

Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

✉juliapoltavskaya@mail.ru

Резюме

В связи с активным развитием технологий отмечается актуальность проведения исследований в области интеллектуальных транспортных систем, применение которых оказывает положительное влияние на инфраструктуру, транспортные средства и приносит пользу участникам дорожного движения – водителям и пассажирам, помогая сократить время в пути и повысить безопасность поездки. Целью данной статьи является оценка факторов, определяющих развитие интеллектуальных транспортных систем в регионах Российской Федерации. В работе применялись методы анализа научной литературы, экспертный опрос, многокритериальная оценка. Описан алгоритм исследований с использованием методов простого аддитивного взвешивания и комплексной пропорциональной оценки. Полученные результаты позволили сделать вывод, что в большей степени определяют развитие интеллектуальных транспортных систем такие факторы, как финансирование регионов, повышение безопасности дорожного движения, развитость транспортной инфраструктуры. К ограничениям исследования стоит отнести факт отсутствия статистических данных по некоторым факторам, поэтому в анализ было включено только 39 субъектов РФ и выбраны те факторы, которые поддаются количественной оценке. На основе методов простого аддитивного взвешивания и комплексной пропорциональной оценки проведен сравнительный анализ регионов России с целью выявления потенциальных возможностей для развития интеллектуальных транспортных систем. Сравнение проводилось с учетом присвоения как различных значений весов факторов, определенных экспертным путем, так и равных значений. Результаты могут быть использованы министерствами транспорта и дорожного хозяйства субъектов РФ для внедрения интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова

интеллектуальная транспортная система, безопасность дорожного движения, качество транспортных услуг, многокритериальная оценка, участники дорожного движения, улично-дорожная сеть, экспертная оценка

Для цитирования

Полтавская Ю.О. Анализ факторов, оказывающих влияние на развитие интеллектуальных транспортных систем в субъектах Российской Федерации / Ю.О. Полтавская, В.Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 2 (74). – С. 175–186. – DOI 10.26731/1813-9108.2022.2(74).175-186.

Информация о статье

поступила в редакцию: 6.06.2022 г.; поступила после рецензирования: 10.06.2022 г.; принята к публикации: 14.06.2022 г.

Благодарность

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

Analysis of factors influencing the development of intelligent transport systems in regions of Russian Federation

Ju.O. Poltavskaya✉, V.E. Gozbenko

Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

✉juliapoltavskaya@mail.ru

Abstract

In connection with the active development of technologies, the relevance of conducting research in the field of intelligent transport systems is noted. The application of intelligent transport systems has an impact on infrastructure, vehicles and benefits road users such as drivers and passengers, helping to reduce travel time and improve travel safety. The purpose of this article is to assess the factors determining the development of intelligent transport systems in the regions of the Russian Federation. In the study, methods of scientific literature analysis, expert survey and multi-criteria assessment were used. The research algorithm is described using the methods of simple additive weighing and complex proportional estimation. The results obtained led to conclusion as to which factors determine the development of intelligent transport systems to a greater extent. These include: financing of regions for the implementation of intelligent transport systems, improving road safety, the development of transport infrastructure. The limitations of the study include the fact that there are no statistical data on some factors, therefore, only 39 subjects of the Russian Federation were included in the analysis and only those factors that can be quantified were selected. Based on the

simple additive weighing and complex proportional estimation methods, a comparative analysis of the regions of the Russian Federation was carried out in order to identify potential opportunities for the development of intelligent transport systems. The comparison was carried out taking into account both the assignment of different values of the factor weights determined by expert, and equal values. The results can be used by the ministries of transport and road facilities of the constituent entities of the Russian Federation for the implementation of intelligent transport systems.

Keywords

intelligent transport systems, road safety, quality of transport services, multi-criteria assessment, road users, road network, expert review

For citation

Poltavskaya Ju.O. Gozbenko V.E. Analiz faktorov, okazyvayushchikh vliyaniye na razvitiye intellektual'nykh transportnykh sistem v regionakh Rossiyskoy Federatsii [Analysis of factors influencing the development of intelligent transport systems in regions of Russian Federation]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2022, no. 2 (74), pp. 175–186. DOI: 10.26731/1813-9108.2022.2(74).175-186.

Article Info

Received: June 6, 2022; revised: June 10, 2022; accepted: June 14, 2022.

Acknowledgement

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

Введение

С ростом глобализации увеличивается спрос на качественные транспортные услуги. По состоянию на 1 января 2022 г. в РФ было зарегистрировано 59,6 млн транспортных средств (ТС), из них доля легковых составляет 76 %, что делает личный транспорт одним из самых популярных средств передвижения для населения страны [1]. Большое количество используемых индивидуальных ТС вызывает проблемы в транспортной системе, такие как рост количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП), увеличение числа заторов и продолжительности простоев в них. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно на дорогах погибает около 1,35 млн чел. По этой причине некоторые страны теряют около 3 % от стоимости валового внутреннего продукта (ВВП) [2]. За последние годы отмечается активное внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в различных регионах Российской Федерации, что способствует решению ряда проблем транспортной системы и позволяет повысить эффективность перевозочного процесса. Расширение сотрудничества между регионами России по внедрению ИТС требует проведения дополнительных исследований в области развития, преимуществ и назначения таких систем.

Объектом проводимого исследования являются ИТС. Целью – оценка факторов, определяющих их развитие, на основе теоретического обоснования. Был проведен анализ научной литературы, включая принципы классифи-

кации, преимущества и значение ИТС, опыт применения, на основе которого создана система факторов, определяющих развитие ИТС.

Теоретические аспекты функционирования интеллектуальных транспортных систем

Технологическое развитие регионов РФ также способствует увеличению количества научных исследований в области ИТС, однако единого официального определения этого понятия не существует. Различные авторы определяют его в своих работах на основе документов, стандартов и других исследований, связанных с транспортной системой и ИТС. Почти каждое определение идентифицирует ИТС как информационно-коммуникационную технологию, расположенную в инфраструктуре или ТС и выполняющую определенные функции (управление дорожным движением, повышение безопасности, уменьшение загрязнения и снижение транспортных заторов, повышение эффективности транспортной системы и качества обслуживания). Применение ИТС оказывает влияние на инфраструктуру, ТС и приносит пользу участникам дорожного движения – водителям, пассажирам, помогая сократить время в пути и повысить безопасность поездки [3–8].

В научной литературе [3, 9–11] представлены различные классификационные признаки ИТС: по масштабу, виду транспорта, управлению, местонахождению, выполняемым функциям и предоставляемым услугам. В работах большинства авторов отмечается, что функционирование ИТС осуществляется либо в ин-

фраструктуре, либо в ТС. Это один из самых простых способов классификации ИТС, так как он не подразумевает разделения в выполняемых функциях ИТС и характере работы системы. Однако стоит отметить, что формальной классификационной характеристики ИТС не существует. Страны, города, организации и предприятия могут классифицировать ИТС по своему усмотрению. Авторами не указывается наиболее подходящий способ группировки ИТС. В настоящее время разрабатываются новые методы классификации ИТС.

ИТС позволяют качественно и оперативно собирать, обрабатывать и предоставлять данные о транспортном потоке, снижать загруженность улично-дорожной сети за счет перераспределения потоков и изменения циклов работы светофорных объектов, повышать безопасность дорожного движения путем выявления ДТП и устранения препятствий на дороге, информировать водителей о дорожной ситуации и оптимальном маршруте движения. Внедрение ИТС в улично-дорожную сеть городов приносит ощутимую пользу пользователям транспортной системы: участникам дорожного движения, пассажирам общественного транспорта, организациям, участвующим в транспортной деятельности. В работе авторов [12] описываются результаты проведенного исследования преимуществ ИТС. Большинство респондентов, участвующих в опросе, считают, что применение ИТС позволит увеличить личные доходы населения, сократить время в пути и побудить к выбору более экологичного способа передвижения. Авторы также утверждают, что ИТС будут способствовать улучшению качества услуг общественного транспорта. С точки зрения экономических выгод ИТС могут снизить затраты на производство и реализацию товаров и услуг, оказать положительное влияние на стоимость недвижимости, арендную плату и годовой доход населения, а также создать дополнительные рабочие места. Для того чтобы оценить экономические выгоды от внедрения ИТС, важно определить финансовый ущерб, вызванный проблемами в транспортной системе. Основные издержки в транспортной сфере связаны с заторами и ДТП, и региональные и местные власти каждого региона стремятся уменьшить их влияние на общество. Отмечается, что ИТС используются для решения проблем в транспортной системе и повышения безопасности пассажиров, сокращения вре-

мени в пути и расхода топлива. При наличии необходимой информации, собранной и обработанной ИТС, участникам дорожного движения могут быть предложены наиболее эффективные решения в области услуг транспортной системы.

Что касается экономических преимуществ отдельных систем ИТС, по данным исследований, проведенных авторами [2], было установлено, что электронная система оплаты дорожных сборов повышает пропускную способность участка улично-дорожной сети, среднюю скорость транспортного потока и приносит доход в размере 1 млрд долл. в год; камеры автофиксации проезда на запрещающий сигнал светофора повышают безопасность дорожного движения, которая может быть оценена примерно в такую же сумму [2]. Система управления дорожным движением и информационная система водителя повышают мобильность и экономический эффект, которые оцениваются в 276,5 и 543,1 млн долл. в год соответственно. Это означает, что ИТС могут предоставлять необходимую информацию о дорожном движении в режиме реального времени, снижать количество ДТП, заторов, выбросов парниковых газов, повышать качество транспортных услуг, а также стимулировать пассажиров к выбору в пользу общественного транспорта [2].

Методология реализации разработки интеллектуальных транспортных систем

Анализ научной литературы показал, что авторы в своих исследованиях используют разные методы для оценки развития и преимуществ ИТС: опрос, анкетирование, расчет стоимости транспортных заторов, оценка социально-экономической рентабельности инвестиций в развитие ИТС. Данный подход также позволяет сравнивать инвестиции в ИТС с инвестициями в другие виды деятельности. Для проведения анализа затрат и выгод необходимы дополнительные методы для оценки безопасности, загрязнения окружающей среды, эффективности организации дорожного движения и определения стоимостной выгоды. Ценность человеческой жизни определяется экономическим ущербом, причиненным пострадавшим или погибшим в ДТП [13]. Также отмечается, что одного анализа затрат и выгод недостаточно для определения влияния ИТС на экономику региона на макроэкономическом уровне. Анализ затрат и резуль-

татов имеет ограничения, такие как невозможность учесть определенные воздействия, следовательно, при социально-экономической оценке ИТС анализ затрат и результатов необходимо сочетать с другими методами (многокритериальный анализ) [2, 8, 11–16].

Таким образом, для определения экономического эффекта ИТС недостаточно исследований по сравнению возможностей применения таких систем в разных регионах. Самое главное – собрать все необходимые данные. Большинство авторов предлагают проводить опросы, мониторинг трафика или сбор данных с ИТС. Некоторые авторы утверждают, что влияние ИТС на экономику проявляется через воздействие на безопасность, окружающую среду [6] и эффективность транспортной системы, что также способствует развитию ИТС. Некоторые авторы использовали анализ затрат и результатов, корреляционно-регрессионный анализ для оценки конкретных случаев применения ИТС в определенной территориальной единице. В данном исследовании на базе научной литературы создана система факторов, определяющих развитие ИТС. Для их анализа используются методы простого аддитивного взвешивания (SAW) и комплексной пропорциональной оценки (COPRAS), основанные на многокритериальной теории полезности.

В результате проведенного литературного обзора была сформирована система факторов, определяющих развитие ИТС:

- скорость интернета;
- инвестиции в развитие региона;
- развитие отрасли торговли в межрегиональном направлении;
- уменьшение транспортных заторов на дорогах;
- повышение безопасности дорожного движения;
- развитие туризма;
- снижение негативного влияния автомобильного транспорта на окружающую среду;
- увеличение числа научных исследований в регионе;
- эффективное межрегиональное сотрудничество в области интеллектуальных транспортных систем;
- передовая практика по внедрению ИТС;
- наличие документации, стратегий, ориентированных на интеллектуальную мобильность населения;

– развитость транспортной инфраструктуры;

– активное участие государственного и частного секторов в развитии ИТС [2, 17, 18].

Экспертная оценка осуществлялась путем опроса респондентов, имеющих высшее образование и опыт работы в сфере транспорта. Эксперты оценивали факторы от одного до десяти в порядке важности. Для оценки согласованности мнений экспертов был рассчитан коэффициент конкордации Кендалла W :

$$W = \frac{12\tilde{S}}{k^2(n^3 - n)},$$

$$\tilde{S} = \sum_{j=1}^n \left(R_j - \frac{\tilde{R}_1 + \tilde{R}_2 + \dots + \tilde{R}_n}{n} \right)^2 =$$

$$= \sum_{j=1}^n \left(R_j - \frac{k(n+1)}{2} \right)^2,$$

где R_j – сумма j рангов; n – объем выборки; k – количество экспертов.

Чем ближе значение коэффициента конкордации W к 1, тем более согласованы мнения экспертов [15].

Метод простого аддитивного взвешивания (SAW) используется для определения фактора, который является наиболее существенным для развития ИТС в конкретном регионе. Этот метод является одним из простых и наиболее используемых методов, основанных на средневзвешенном значении [14]. Преимущество метода в том, что он представляет собой пропорциональное преобразование первичных данных. Чтобы применить метод, каждому фактору необходимо присвоить вес, после проведения опроса полученные экспертные данные нормализуются по формуле:

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}},$$

где r_{ij} – значение i -го показателя для j -го объекта.

Далее определяются весовые коэффициенты w , сумма которых должна быть равна 1 [15].

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1.$$

Значимость показателя рассчитывается путем деления суммы средних показателей на среднее оценочное значение каждого показателя по формуле:

$$\frac{\sum_{j=1}^n \bar{t}_j}{t_j}$$

Значение многокритериальной оценки j -й альтернативы S_j определяется по формуле:

$$S_j = \sum_{i=1}^m w_i r_{ij}.$$

По полученным значениям S_j элементы выборки ранжируются от наибольшего значения к наименьшему.

Метод COPRAS используется для ранжирования регионов РФ с наибольшими возможностями для развития ИТС. Он представляет собой метод комплексной оценки пропорциональности и многокритериального принятия решений, используемый для определения эффективности альтернатив. Он прост в применении и позволяет рассчитать как максимальные, так и минимальные критерии с учетом степени полезности, сравнить альтернативы и определить наиболее оптимальные из них. Принцип метода заключается в том, что относительная значимость Q_i сравнительных альтернатив определяется по их положительным (S_{+i}) и отрицательным (S_{-i}) свойствам; чем выше значение Q_i , тем эффективнее альтернатива:

$$S_j = \frac{r_{ij} w_i}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}, \quad (1)$$

где w_i – вес i -го показателя; r_{ij} – нормированное значение i -го показателя для j -го объекта.

Используя данный метод, можно определить значимость, степень полезности и приоритетность рассматриваемых вариантов. На первом этапе данные нормируются по формуле:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, \quad (2)$$

где x_{ij} – значение i -го критерия в j -м варианте решения; m – количество критериев; n – количество сравниваемых вариантов; q_i – значимость критериев i .

Сумма безразмерных оценочных значений d_{ij} , полученных для каждого критерия x_i , всегда равна значимости q_i этого критерия:

$$q_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}. \quad (3)$$

На втором этапе рассчитываются суммы минимизирующих S_{-j} и максимизирующих S_{+j} расчетных и нормированных показателей по формулам:

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{+ij}, \quad (4)$$

$$S_{-j} = \sum_{i=1}^m d_{-ij}, \quad (5)$$

В любом случае суммы S_{+j} и S_{-j} всех объектов всегда соответственно равны сумме критериев максимизации и минимизации:

$$S_{+} = \sum_{j=1}^n S_{+j} = \sum_{i=1}^m \cdot \sum_{j=1}^n d_{+ij}, \quad (6)$$

$$S_{-} = \sum_{j=1}^n S_{-j} = \sum_{i=1}^m \cdot \sum_{j=1}^n d_{-ij}, \quad (7)$$

На третьем этапе определяется относительная значимость сравниваемых вариантов на основе характеризующих их положительных S_{+j} и отрицательных S_{-j} свойств. На четвертом – происходит приоритизация объектов: чем выше Q_j , тем выше эффективность (приоритет) варианта. Q_j рассчитывается по формуле:

$$Q_j = S_{+j} + \frac{S_{-\min} \cdot \sum_{j=1}^n S_{-j}}{S_{-j} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{S_{-\min}}{S_{=j}}}. \quad (8)$$

На пятом этапе определяется эффективность N_j варианта a_j по формуле:

$$N_j = \left(\frac{Q_j}{Q_{\max}} \right) \cdot 100\%. \quad (9)$$

В зависимости от полученной степени полезности элементы выборки ранжируются от наибольшего значения к наименьшему [2].

Экспертный опрос содержит оценку тринадцати факторов, определяющих развитие ИТС, для методов SAW и COPRAS использовались только те факторы, которые можно было выразить в количественном значении.

Результаты исследования

В ходе исследования был проведен опрос на выявление факторов, влияющих на развитие ИТС. Экспертам было предложено оценить каждый фактор по шкале от одного до десяти (1 – фактор совершенно не важен, 10 – фактор очень важен). Анализируя результаты, можно отметить, что наиболее высокие оценки экспер-

ты дали следующим факторам: активное участие государственного сектора, инвестиции, эффективное межрегиональное сотрудничество в сфере ИТС, повышение безопасности дорожного движения, развитость транспортной инфраструктуры региона (рис. 1). По мнению экспертов, к факторам, оказывающим наименьшее влияние на развитие ИТС, относятся: скорость интернета и развитие туризма.

Расчет коэффициента конкордации Кендалла (значение 0,52) показал, что мнения экспертов являются согласованными на высоком уровне. Впоследствии были выбраны только факторы, поддающиеся количественной оценке, рассчитана их значимость с использованием методов SAW и COPRAS и проведен сравнительный анализ потенциалов к развитию ИТС регионов РФ.

Для анализа были выбраны следующие показатели, влияющие на развитие ИТС:

- скорость интернета (X_1 – средняя скорость интернета, мбит/с);
- федеральное финансирование на внедрение ИТС (X_2 – объем федерального финанси-

рования, тыс. руб.);

- снижение транспортных заторов (X_3 – потерянное время за год, ч);

- повышение безопасности дорожного движения (X_4 – количество ДТП);

- развитие туризма (X_5 – количество туристов);

- снижение негативного воздействия транспорта на окружающую среду (X_6 – объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от автомобильного транспорта, млн. т);

- увеличение количества научных исследований (X_7 – количество студентов);

- развитость инфраструктуры (X_8 – протяженность автомобильных дорог).

Первичные данные (2019–2021 гг.) собраны в базах данных Федеральной службы государственной статистики, аналитического центра при Правительстве Российской Федерации, Главного информационно-вычислительного центра Минобрнауки России, Госавтоинспекции, Росавтодора [1, 19–26].

В табл. 1 приведены расчеты, выполненные методом SAW с использованием различных

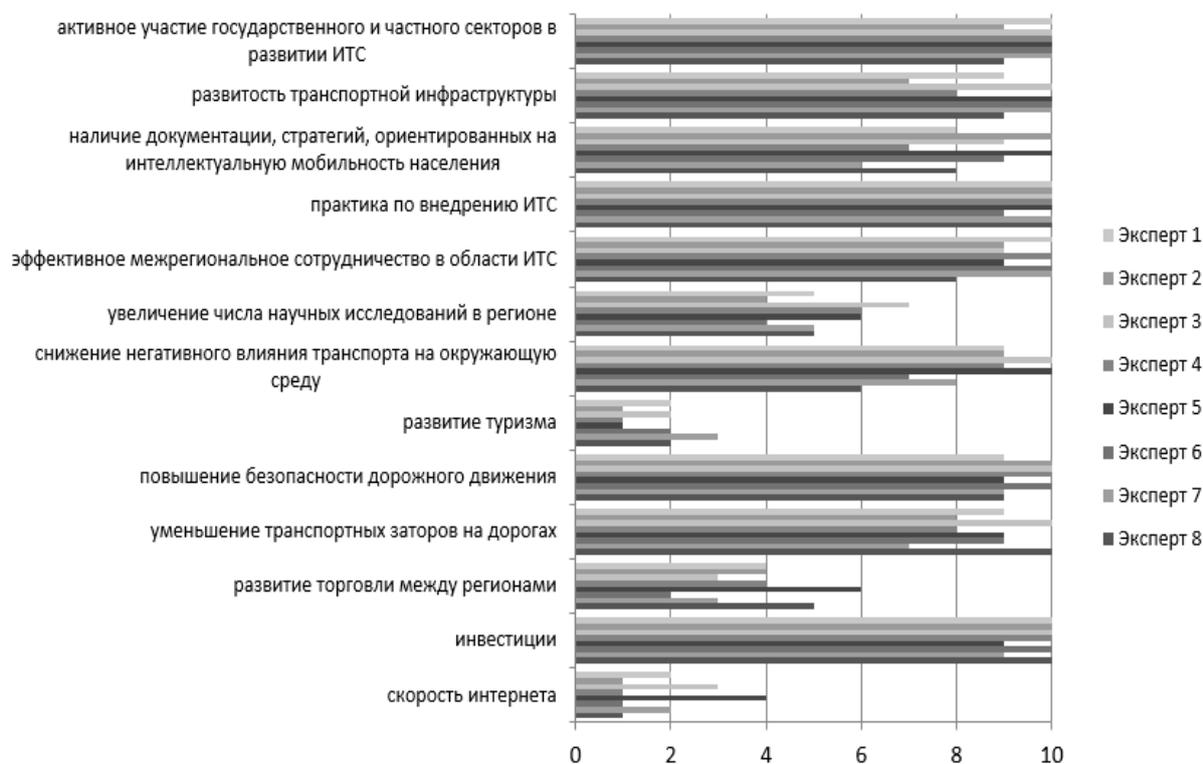


Рис. 1. Результаты опроса экспертов по оценке факторов, влияющих на развитие интеллектуальных транспортных систем

Fig. 1. Results of a survey of experts on the assessment of factors affecting the development of intelligent transport systems

весов w анализируемых факторов. S_j ранжируются от наибольшего к наименьшему: субъект с самым высоким S_j имеет больший потенциал развития ИТС.

На рис. 2 и 3 представлен рейтинг десяти субъектов РФ с наибольшим потенциалом для развития ИТС: в первом случае ранжирование проводилось на основе определенных экспертным путем весов факторов, во втором случае – вес факторов принимался равным (0,125). С разными весовыми значениями факторов Свердловская область на первом месте. Расчеты с одинаковым значением весов факторов дали близкие результаты (рис. 3).

Для расчетов по методу COPRAS использовались рассчитанные ранее веса факторов w . Данные нормализуются, и определяются факторы, которые усиливают / снижают развитие ИТС. В дальнейшем производятся расчеты по формулам (1) – (9): вычисляется значимость каждой альтернативы Q и определяется степень полезности каждого региона (субъекта РФ) N_j . По полученным результатам регионы ранжируются от максимального значения степени полезности к минимальному (табл. 2).

Анализируя значения степени полезности, можно констатировать, что субъект РФ с наибольшим значением имеет больше возможностей для развития ИТС.

Таблица 1. Нормированные значения факторов, определяющих развитие интеллектуальных транспортных систем и результаты метода SAW
Table 1. Normalized values of the factors determining the development of intelligent transport systems and the results of the SAW method

Субъект РФ Region of Russian Federation	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	S_j	Ранг
	Используемые веса (w). Weights used (w)									
	0,03	0,18	0,16	0,18	0,03	0,16	0,09	0,17		
Саратовская область Saratov district	0,18	2,34	0,00	1,08	0,00	0,00	0,12	0,63	4,72	10
Московская область Moscow district	0,24	0,00	0,16	2,16	0,60	0,64	0,14	0,39	4,80	9
Санкт-Петербург St.-Petersburg district	0,24	0,00	0,32	1,08	0,54	1,60	0,41	0,87	4,92	8
Республика Татарстан Republic of Tatarstan	0,18	3,06	1,44	1,08	0,39	1,28	0,26	0,81	4,92	7
Нижегородская область Nizhniy Novgorod district	0,18	0,54	1,12	0,54	0,30	2,24	0,15	0,47	4,99	6
Республика Башкортостан Republic of Bashkortostan	0,18	0,00	0,00	1,62	0,36	1,92	0,18	0,89	5,21	5
Челябинская область Chelyabinsk district	0,12	0,00	1,28	1,26	0,15	2,40	0,16	0,45	5,67	4
Пермский край Perm region	0,18	0,00	0,00	1,62	0,00	0,00	0,04	0,69	7,43	3
Ростовская область Rostov district	0,09	2,52	0,96	2,16	0,12	1,76	0,24	0,47	7,61	2
Свердловская область Sverdlovsk district	0,12	3,78	0,80	2,34	0,33	1,44	0,21	0,58	8,81	1



Рис. 2. Анализ факторов, влияющих на развитие интеллектуальных транспортных систем регионов РФ (вес факторов одинаковый)

Fig. 2. Analysis of factors affecting the development of intelligent transport systems in the Russian Federation regions (Weight of factors is same)



Рис. 3. Анализ факторов, влияющих на развитие интеллектуальных транспортных систем регионов РФ (вес факторов разный)

Fig. 3. Analysis of factors affecting the development of intelligent transport systems in the Russian Federation regions (Weight of factors is different)

Таблица 2. Результаты применения метода COPRAS в изучении факторов, влияющих на развитие интеллектуальных транспортных систем в регионах РФ

Table 2. Results of using COPRAS in the study of factors influencing the development of intelligent transport systems in the regions of the Russian Federation

Субъект РФ. RF subject	Расчеты с использованием различных значений весов факторов Calculations using different values of weight factors			Расчеты с использованием одинаковых значений весов факторов Calculations using the same values of weight factors		
	Суммарное Значение факторов. Total value of factors	Степень полезности, % Usefulness,%	Ранг Rank	Суммарное значение Факторов. Total value of factors	Степень полезности, % Usefulness,%	Ранг Rank
Саратовская область Saratov district	2,67	69,04	10	4,72	53,58	6
Московская область Moscow district	3,08	79,59	9	3,64	41,32	10
Санкт-Петербург St.-Petersburg district	3,11	80,43	8	3,78	42,91	9
Республика Татарстан Republic of Tatarstan	3,11	80,53	7	7,43	84,34	3
Нижегородская область Nizhniy Novgorod district	3,12	80,75	6	4,92	55,85	5
Республика Башкортостан Republic of Bashkortostan	3,42	88,52	5	4,08	46,31	7
Челябинская область Chelyabinsk district	3,43	88,74	4	5,21	59,14	4
Пермский край Perm region	3,50	90,68	3	3,91	44,38	8
Ростовская область Rostov district	3,70	95,76	2	7,61	86,38	2
Свердловская область Sverdlovsk district	3,86	100,00	1	8,81	100,00	1

Многие авторы сосредотачиваются на экономических преимуществах ИТС в определенных городах или регионах, при этом отсутствует сравнение субъектов РФ в развитии ИТС. Будущая модель может содержать более описательные показатели и факторы для анализа и изучения критериев, что позволит определить область, которая получит наибольшую выгоду от развития ИТС. Также для получения более точных результатов необходимо расширить список анализируемых субъектов РФ. Проведенные исследования сосредоточены на определении веса фактора только с учетом мнения экспертов, поэтому в дальнейшем необходимо использовать больше статистических данных по ИТС.

Заключение

Анализ литературы и экспертный опрос выявили факторы, оказывающие влияние на развитие сферы ИТС с учетом особенностей функционирования экономики Российской Федерации в современных условиях. Авторы предлагают использовать многокритериальный метод оценки для анализа развития ИТС. Значение коэффициента конкордации Кендалла W свидетельствует о высокой согласованности мнений респондентов, их оценки могут использоваться в дальнейших расчетах. Проведенная многокритериальная оценка факторов развития ИТС с использованием метода SAW позволила определить регионы с наиболее высоким потенциалом развития ИТС.

Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики : сайт // URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (Дата обращения: 24.05.2022).
2. Okuneviciute Neverauskiene L., Novikova M., Kazlauskienė E. Factors determining the development of intelligent transport systems // Business, Management and Economics Engineering. 2021. Vol. 19. Is. 2. P. 229–243.
3. Лебедева О.А. Повышение эффективности работы транспортной сети посредством применения интеллектуальных систем // Вестн. Ангар. гос. техн. ун-та. 2018. № 12. С. 189–191.

4. Михайлов А.Ю. Интегральный критерий оценки качества функционирования улично-дорожных сетей // Изв. Иркут. гос. экон. акад. 2004. № 2. С. 50–53.
5. Полтавская Ю.О. Развитие интеллектуальных транспортных систем с целью повышения функционирования транспортной сети // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2019. Т. 1. С. 202–203.
6. Ложкина О.В., Рогозинский Г.Г., Крипак М.Н. К вопросу о развитии интеллектуальных систем управления экологической безопасностью транспорта в больших городах-портах // Технологии построения когнитивных транспортных систем : материалы всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. СПб., 2019. С. 153–157.
7. Антонов Д.В., Лебедева О.А. Основные принципы развития транспортных систем городов // Вестн. Ангар. гос. техн. акад. 2014. № 8. С. 149–155.
8. Лебедева О.А., Джавахадзе А.А. Транспортное планирование и интеграция ГИС-технологий // Вестн. Ангар. гос. техн. акад. ун-та. 2021. № 15. С. 145–149.
9. Katerna O. Intelligent Transport System: the problem of definition and formation of classification system // Economic Analysis. 0259(29(2)). 2019. P. 33–43.
10. Qi L. Research on Intelligent Transportation System Technologies and Applications // Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System. 2008. P. 529–531. DOI: 10.1109/PEITS.2008.124.
11. Scientific and Methodological Approaches to the Development of a Feasibility Study for Intelligent Transportation Systems / S. Zhankaziev, M. Gavrilyuk, D. Morozov et al. // Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. P. 841–847. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.068.
12. Toulouki M. A., Vlahogianni E. I., Gkritza K. Perceived socio-economic impacts of cooperative Intelligent Transportation Systems: A case study of Greek urban road networks // In 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, MT-ITS 2017 – Proceedings. P. 733–737. DOI: 10.1109/MTITS.2017.8005609.
13. Клепцова Л.Н., Штоцкая А.А. Экономическая оценка влияния мероприятий по повышению безопасности дорожного движения на уровень дорожно-транспортных происшествий // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства : междунар. науч.-практ. конф. Красноярск, 2016. С. 81–89.
14. George J., Badoniya P., Naqvi H.A. Integration of Simple Additive Weighting (SAW) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) for supplier selection // International Journal for Science and Advance Research In Technology. 2018. Vol. 4. Is. 8. P. 18–22.
15. Ginevicius R., Podvezko V. The problem of compatibility of various multiple criteria evaluation methods // Business: Theory and Practice. 2008. Vol. 9 (1). P. 73–80.
16. Samadi S., Rad A.P., Kazemi F.M., Jafarian H. Performance evaluation of intelligent adaptive traffic control systems: a case study // Journal of Transportation Technologies. 2012. Vol. 2. P. 248–259.
17. Taimouri A., Emamisaheh K. Providing performance evaluation indicators for intelligent transportation systems (The Case Study of Tehran-Karaj Freeway Located in Iran) // Journal of Transportation Technologies. 2020. Vol. 10. P. 144–153. DOI: 10.4236/jtts.2020.102009.
18. Полтавская Ю.О. Определение показателей оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем // Сб. науч. тр. Ангар. гос. техн. ун-та. 2022. № 19. С. 130–137.
19. Национальный туристический рейтинг-2020 // Russia-Rating.ru : сайт // URL: <https://russia-rating.ru/info/18797.html?ysclid=14z4e1wkaw391892200> (Дата обращения: 24.05.2022).
20. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. Экология и экономика: тенденция к декарбонизации / Аналитический центр при правительстве Рос. Федерации. М., 2020. Вып. № 66. Окт. 17 с. <https://e-cis.info/upload/iblock/520/520a5eee087274f9007f341e5865b0b3.pdf> (Дата обращения: 24.05.2022).
21. Развитие интернета в регионах России // Яндекс : сайт // URL: https://yandex.ru/company/researches/2016/ya_internet_regions_2016?ysclid=14z45mqhcu888897363 (Дата обращения: 24.05.2022).
22. Traffic congestion ranking // TomTom Traffic Index. // URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/?country=RU (Дата обращения: 20.05.2022).
23. Протяженность автомобильных дорог общего пользования по субъектам Российской Федерации за 2019 год // Федеральная служба государственной статистики : сайт. URL: [rosstat.gov.ru/storage/mediabank/t2-2\(1\).xls](http://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/t2-2(1).xls) (Дата обращения: 24.05.2022).
24. О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 21.12.2019 N 3136-р : распоряжение Правительства РФ от 03.02.2022 № 169-р // Правительство России : сайт. URL: <http://government.ru/docs/44485/> (Дата обращения: 24.05.2022).
25. Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения : сайт. // URL: <http://stat.gibdd.ru/> (Дата обращения: 24.05.2022).
26. МИРЭА – Российский технологический университет : главный информационно-вычислительный центр ГИВЦ Минобрнауки России : сайт // URL: <https://miccedu.ru/> (Дата обращения: 24.05.2022)

References

1. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki (Elektronnyi resurs) [Federal State Statistics Service (Electronic resource)]. Available at: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (Accessed May 24, 2022).
2. Okuneviciute Neverauskiene L., Novikova M., Kazlauskienė E. Factors determining the development of intelligent transport systems // Business, Management and Economics Engineering. 2021. Vol. 19. Is. 2. Pp. 229–243.
3. Lebedeva O.A. Povyshenie effektivnosti raboty transportnoi seti posredstvom primeneniya intellektual'nykh sistem [Improving the efficiency of the transport network through the use of intelligent systems]. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Angarsk State Technical University], 2018, no. 12, pp. 189–191.

4. Mikhailov A.Yu. Povyshenie effektivnosti raboty transportnoi seti posredstvom primeneniya intellektual'nykh sistem [Integral criterion for assessing the quality of the functioning of street and road networks]. *Izvestiya Irkutskoi gosudarstvennoi ekonomicheskoi akademii* [Bulletins of the Irkutsk State Economic Academy], 2004, no. 2, pp. 50–53.
5. Poltavskaya J.O. Razvitiye intellektual'nykh transportnykh sistem s tsel'yu povysheniya funktsionirovaniya transportnoi seti [Development of intelligent transport systems to improve the functioning of the transport network]. *Sovremennyye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress* [Modern technologies and scientific and technical progress], 2019, no. 1, pp. 202–203.
6. Lozhkina O.V., Rogozinskii G.G., Kripak M.N. K voprosu o razvitiu intellektual'nykh sistem upravleniya ekologicheskoi bezopasnost'yu transporta v bol'shikh gorodakh-portakh [To the question of the development of intelligent systems for managing the environmental safety of transport in large port cities]. *Materialy vsrossiyskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem «Tekhnologii postroyeniya kognitivnykh transportnykh sistem»* [Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation «Technologies for constructing cognitive transport systems»]. Saint-Petersburg, 2019, pp. 153–157.
7. 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.
8. Lebedeva O.A., Dzavakhadze A.A. Transportnoe planirovaniye i integratsiya GIS-tekhnologii [Transport planning and integration of GIS technologies]. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Angarsk State Technical University], 2021, no. 15, pp. 145–149.
9. Katerna O. Intelligent Transport System: the problem of definition and formation of classification system // *Economic Analysis*, 0259(29(2)), 2019, pp. 33–43.
10. Qi L. Research on Intelligent Transportation System Technologies and Applications // *Workshop on Power Electronics and Intelligent Transportation System*. 2008. Pp. 529–531. DOI: 10.1109/PEITS.2008.124.
11. Scientific and Methodological Approaches to the Development of a Feasibility Study for Intelligent Transportation Systems / S. Zhankaziev, M. Gavrilyuk, D. Morozov et al. // *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 36. Pp. 841–847. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.12.068.
12. Toulouki M. A., Vlahogianni E. I., Gkritza K. Perceived socio-economic impacts of cooperative Intelligent Transportation Systems: A case study of Greek urban road networks // *In 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems, MT-ITS 2017 – Proceedings*. P. 733–737. DOI: 10.1109/MTITS.2017.8005609.
13. Kleptsova L.N., Shtotskaya A.A. Ekonomicheskaya otsenka vliyaniya meropriyatiy po povysheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na uroven' dorozhno-transportnykh proisshestvii [Economic assessment of the impact of measures to improve road safety on the level of traffic accidents]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnyye sistemy Sibiri. Razvitiye transportnoi sistemy kak katalizator rosta ekonomiki gosudarstva»* [Proceedings of the International scientific and practical conference «Transport systems of Siberia. Development of the transport system as a catalyst for the growth of the state economy»]. Krasnoyarsk, 2016, pp. 81–89.
14. George J., Badoniya P., Naqvi H.A. Integration of Simple Additive Weighting (SAW) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) for supplier selection // *International Journal for Science and Advance Research In Technology*. 2018. Vol. 4. Is. 8. Pp. 18–22.
15. Ginevicius R., Podvezko V. The problem of compatibility of various multiple criteria evaluation methods // *Business: Theory and Practice*. 2008. Vol. 9 (1). Pp. 73–80.
16. Samadi S., Rad A.P., Kazemi F.M., Jafarian H. Performance evaluation of intelligent adaptive traffic control systems: a case study // *Journal of Transportation Technologies*. 2012. Vol. 2. Pp. 248–259.
17. Taimouri A., Emamisaheh K. Providing performance evaluation indicators for intelligent transportation systems (The Case Study of Tehran-Karaj Freeway Located in Iran) // *Journal of Transportation Technologies*. 2020. Vol. 10. Pp. 144–153. DOI: 10.4236/jtts.2020.102009.
18. Poltavskaya Yu.O. Opredelenie pokazatelei otsenki effektivnosti intellektual'nykh transportnykh sistem [Determination of indicators for evaluating the effectiveness of intelligent transport systems]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Angarsk State Technical University], 2022, no. 19, pp. 130–137.
19. Natsional'nyi turistichestkii reiting-2020 (Elektronnyi resurs) [National tourism rating-2020 (Electronic resource)]. Available at: <https://russia-rating.ru/info/18797.html?ysclid=l4z4e1kwak391892200> (Accessed May 24, 2022).
20. Poltavskaya Yu.O. Opredelenie pokazatelei otsenki effektivnosti intellektual'nykh transportnykh sistem [Determination of indicators for evaluating the effectiveness of intelligent transport systems]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Collection of scientific works of the Angarsk State Technical University], 2022, no. 19, pp. 130–137.
21. Razvitiye interneta v regionakh Rossii (Elektronnyi resurs) [Development of the Internet in the regions of Russia (Electronic resource)]. Available at: https://yandex.ru/company/researches/2016/ya_internet_regions_2016?ysclid=l4z45mqhcu888897363 (Accessed May 24, 2022).
22. Traffic congestion ranking | TomTom Traffic Index (Electronic resource). Available at: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/?country=RU (Accessed May 20, 2022).
23. Prot'yazhennost' avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniya po sub'yektam Rossiiskoi Federatsii za 2019 god (Elektronnyi resurs) [The length of public roads in the constituent entities of the Russian Federation for 2019 (Electronic resource)]. Available at: [rosstat.gov.ru/storage/mediabank/t2-2\(1\).xls](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/t2-2(1).xls) (Accessed May 24, 2022).
24. Dokumenty - Pravitel'stvo Rossii (government.ru). Rasporyazheniye ot 3 fevralya 2022 goda №169-r (Elektronnyi resurs) [Documents - Government of Russia (government.ru). Order dated February 3, 2022, no. 169-r. (Electronic resource)]. Available at: <http://government.ru/docs/44485/> (Accessed May 24, 2022).
25. Svedeniya o pokazatelyakh sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya (Elektronnyi resurs) [Information about road safety indicators (Electronic resource)]. Available at: <http://stat.gibdd.ru/> (Accessed May 24, 2022).

26. Glavnyi informatsionno-vychislitel'nyi tsentr GIVTS Minobrnauki Rossii (Elektronnyi resurs) [Main Information and Computing Center of the GIVC of the Ministry of Education and Science of Russia (Electronic resource)]. Available at: <https://miccedu.ru/> (Accessed May 24, 2022).

Информация об авторах

Полтавская Юлия Олеговна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск; e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru.

Гозбенко Валерий Ерофеевич, д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск; e-mail: vgozbenko@yandex.ru.

Information about the authors

Julia O. Poltavskaya, 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 Management of automobile transport, Angarsk State Technical University, Angarsk; e-mail: vgozbenko@yandex.ru.