

ПРИМЕНЕНИЕ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

И.П. Болодурина¹, ipbolodurina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0096-2587>
Е.А. Спешиллов^{1,2}, evgenij.sp@mail.ru

¹ Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

² Оренбургский филиал Института экономики УрО РАН, Оренбург, Россия

Аннотация. На сегодняшний день рынок транспортного обслуживания и рынок перевозок играют ведущую роль в числе системообразующих базовых составляющих рынка транспортных услуг. Трансформация ряда производственных процессов, вызванная цифровизацией экономики, не оставила в стороне и управление логистикой. В статье рассматриваются вопросы автоматизации формирования альтернативных маршрутов посредством использования разработанного алгоритма (математическое обеспечение которого базируется на применении правил нечеткой логики), реализующего оптимизацию выбора исходя из запросов заказчика при организации грузоперевозок. Данный подход позволит фирмам не только управлять рабочими процессами в условиях риска и неопределенности, вызванных все нарастающей конкуренцией и внешними труднопредсказуемыми факторами, в том числе экономического и геополитического характера, но и проводить кастомизацию заказов, снижая при этом риски, используя методы их распределения. В статье обосновано применение данного алгоритма и представлено описание его реализации в рамках одного из модулей предлагаемой интеллектуальной системы поддержки принятия решений при управлении грузопотоками. **Цель исследования** заключается в описании и апробации адаптированного к поиску маршрутов грузоперевозок математического аппарата теории нечетких множеств, позволяющего автоматизировать ряд слабо формализуемых процессов для лица принимающего решения в логистической сфере. **Материалы и методы.** На основе анализа научных идей и методологических подходов в логистике отечественных и зарубежных авторов, а также математических методов и моделей осуществлен выбор инструментария для повышения эффективности организации грузоперевозок посредством автоматизации управленческих процессов. **Результаты.** Адаптирован аппарат нечеткой логики для решения логистических задач: представлен выбор критериев, сформулированы альтернативные маршруты, описаны вычислительные эксперименты, реализованные посредством среды Yandex DataLens. Проведена корректировка модели с учетом весовых коэффициентов критериев на основе пожеланий заказчика. Представлены анализ и синтез полученных результатов, а также описаны преимущества предлагаемого подхода относительно традиционных. Функционал и интерфейс автоматизированного модуля системы протестирован с привлечением группы экспертов, заинтересованных в использовании разработки, что показало его работоспособность и эффективность применения. **Заключение.** Предлагаемый метод выбора альтернативных маршрутов может быть использован в качестве математического инструментария в основе автоматизации управления грузоперевозками в системах поддержки принятия решений, особенно при планировании деятельности малыми фирмами средствами своего автопарка.

Ключевые слова: управление грузоперевозками, интеллектуальная система поддержки принятия решений, правила нечеткой логики, алгоритм, конкурентоспособность, риск, неопределенность

Благодарности. Статья подготовлена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России для ФГБУН «Институт экономики УрО РАН».

Для цитирования: Болодурина И.П., Спешиллов Е.А. Применение правил нечеткой логики для анализа данных и принятия решений при управлении грузоперевозками в условиях неопределенности // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2023. Т. 23, № 2. С. 52–64. DOI: 10.14529/ctcr230205

APPLICATION OF FUZZY LOGIC RULES FOR DATA ANALYSIS AND DECISION-MAKING IN CARGO TRANSPORTATION MANAGEMENT UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

I.P. Bolodurina¹, ipbolodurina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0096-2587>

E.A. Speshilov^{1,2}, evgenij.sp@mail.ru

¹ Orenburg State University, Orenburg, Russia

² Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Abstract. Today, the transport services market and the transportation market play a leading role among the system-forming basic components of the transport services market. The transformation of a number of production processes, caused by the digitalization of the economy, has not left aside the management of logic. The article deals with the automation of the formation of alternative routes through the use of the developed algorithm (the mathematical support of which is based on the application of the rules of odd logic), which implements the optimization of the choice based on the customer's requests in the organization of cargo transportation. This approach will allow firms not only to manage their work processes in conditions of risk and uncertainty caused by increasing competition and external factors that are difficult to predict, including economic and geopolitical ones, but also to customize orders, while reducing risks using methods of their distribution. The article substantiates the application of this algorithm and provides a description of its implementation within one of the modules of the proposed intelligent decision support system for cargo traffic management. **The purpose of the study** is to describe and test the mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets adapted to the search for cargo transportation routes, which allows automating a number of poorly formalized processes for a decision-maker in the logistics sphere. **Materials and methods.** Based on the analysis of scientific ideas and methodological approaches in logistics of domestic and foreign authors, as well as mathematical methods and models, the choice of tools for improving the efficiency of cargo transportation organization through automation of management processes was made. **Results.** The fuzzy logic apparatus has been adapted to solve logistical problems: a selection of criteria is presented, alternative routes are formulated, computational experiments implemented through the Yandex DataLens environment are described. The model was adjusted taking into account the weight coefficients of the criteria based on the customer's wishes. The analysis and synthesis of the obtained results are presented, as well as the advantages of the proposed approach, relative to the traditional ones, are described. The functionality and interface of the automated module of the system was tested with the involvement of a group of experts interested in using the development, which showed its operability and effectiveness of application. **Conclusion.** The proposed method of choosing alternative routes can be used as a mathematical tool for automating cargo transportation management in decision support systems, especially when planning activities by small firms using their own fleet.

Keywords: cargo transportation management, intelligent decision support system, fuzzy logic rules, algorithm, competitiveness, risk, uncertainty

Acknowledgments. The article was prepared in accordance with the state task of the Ministry of Education and Science of Russia for the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

For citation: Bolodurina I.P., Speshilov E.A. Application of fuzzy logic rules for data analysis and decision-making in cargo transportation management under conditions of uncertainty. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2023;23(2):52–64. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr230205

Введение

В настоящее время в условиях сложной геополитической ситуации, трансформации мировой экономики, подразумевающей переход на интенсивный инновационный тип развития посредством внедрения практически во все сферы деятельности цифровых технологий, Россия, как и остальные мировые державы, стремится к эффективному функционированию всего отраслевого

комплекса страны. На фоне глобальных изменений прослеживается необходимость в разработке и внедрении автоматизированных технологий обеспечения не только технологических процессов на предприятиях, но и все большее значение приобретают системы поддержки принятия решений, позволяющие руководителям, опираясь на модули сбора и обработки информации, принимать оперативные меры, направленные на повышение результативности деятельности фирм. Учитывая возникшие на сегодняшний день вопросы, связанные с санкциями и необходимостью решения проблем импортозамещения, акцент делается на разработку и внедрение отечественного программного обеспечения. По данным Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ на 1 марта 2023 г. [1] разработаны и утверждены региональные стратегии цифровой трансформации для социальной сферы и государственного управления, а также ключевых отраслей экономики, в числе которых особое внимание уделяется транспорту.

Следует отметить, что уровень развития транспорта в государстве влияет не только в целом на ВВП страны [2], но также и на ее конкурентоспособность в современных быстро меняющихся условиях, в связи с чем недооценка его значения влечет за собой серьезные негативные последствия. Так, в 2021 г. было принято распоряжение Правительства РФ об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. [3], направленной на опережающее удовлетворение ожиданий основных пользователей и потребителей транспортного комплекса, который, в свою очередь, как отмечается в документе, выполняет важные функции по достижению государственных целей в части обеспечения экономического роста и национальной безопасности страны. В числе задач выделены стимулирование внедрения инноваций и эффективных технологий перевозок, а также повышение инвестиционной привлекательности транспортной отрасли. Все это естественным образом отражается на рынке труда и делает востребованными высококвалифицированные кадры, владеющие определенным набором компетенций в сфере логистики для работы в условиях цифровизации экономики [4], приводящей к трансформации широкого круга процессов как непосредственно производственного, так и управленческого характера.

По данным Росстата [5] за период 2016–2019 гг. наблюдался рост объема грузоперевозок железнодорожным, автомобильным, трубопроводным и воздушным видами транспорта (кроме водного). Однако пандемия коронавирусной инфекции внесла коррективы, и за последние годы произошло снижение данного показателя на 17,45–22,7 %. Несмотря на общее уменьшение объема перевозок грузов, самым востребованным видом транспорта остается автомобильный. Именно с его помощью осуществляется почти 70 % всех перевозок [4]. На рынке России наиболее популярными транспортными (наряду с мувинговыми и такелажными) компаниями, занятыми грузоперевозками, являются «Деловые Линии», «СДЭК», «Почта России», «СберЛогистика». Это все достаточно крупные организации, предоставляющие определенный набор транспортных услуг по фиксированным направлениям. На сегодняшний день на фоне появления все новых и новых фирм на рынке (а также их слияния, разделения, поглощения одних другими), занятых в сфере грузоперевозок, возникает усиление уровня конкуренции. В процессе борьбы за клиента складывается система гибких цен, отказ от традиционных подходов к управлению как логистическими процессами, так и компаниями в целом [6].

Как и в любом виде деятельности, в транспортной логистике имеется свой массив проблем [7], в числе которых сложности с поиском возможностей для восстановления транспорта, выбором оптимального вида транспортного средства, организацией эффективных мультимодальных грузоперевозок, обеспечением качества предоставляемых транспортных услуг, решением вопросов страхования груза и транспорта, цифровизацией процессов управления и сопровождения грузопотоков и пр. К этому перечню можно добавить, что предприятиям, особенно тем, у кого грузоперевозки не являются основным видом экономической деятельности, содержание собственного автопарка обходится дорого, причем экономически невыгодно отправлять транспорт перегруженным или недогруженным, в связи с чем необходима разработка оптимального сочетания затрат, вида транспорта и маршрута. Что касается последнего, то его поиску следует уделять особое внимание, так как логистическая деятельность сильно зависит от ряда слабо формализуемых случайных факторов – невозможно предусмотреть все нюансы транспортировки, среди которых: плохая дорога, наличие аварий, неблагоприятные погодные условия и пр., что приводит к увеличению запланированного времени. Ко всему прочему, функционируя в конкурентной среде,

небольшим фирмам приходится уделять большое внимание вопросам клиентоориентированности, учитывая пожелания заказчика, в числе которых могут быть требования по поддержанию определенной температуры транспортируемого товара, обеспечению его доступности с учетом расположения точек для доставки и пр. [8].

Таким образом, содержание транспортного бизнеса зависит не только от количества и качества транспортных средств, но и в значительной степени от способности эффективно управлять товарными и информационными потоками, проявляя гибкость относительно предъявляемых требований с учетом временных ограничений. Кроме того, функционирование в условиях неопределенности и риска вынуждает искать несколько альтернативных вариантов для достижения конечного результата. Следует отметить, что любой уход от стандартизации и обеспечение «гибкой настройки» системы ведет к удорожанию самой услуги, но при наличии запроса необходим поиск, например, соотношения для потребителя «затраты – время», для организации – «затраты – прибыль» с целью обеспечения конкурентоспособности компании и формирования ее высоко-рейтинговой репутации.

Резюмируя все вышесказанное, можно сделать вывод, что для повышения эффективности функционирования и увеличения экономической прибыли организации постоянно вынуждены заниматься поиском новых методов и средств для привлечения клиентов, а также маршрутов для организации грузоперевозок с учетом логистических подходов к управлению грузопотоками. Поэтому актуальна необходимость разработки интеллектуальных средств поддержки принятия решений, благодаря которым возможна реализация автоматизации ряда возникающих в сфере организации грузоперевозок задач, адаптированных к запросам потребителей. Это особенно востребовано малыми компаниями, не имеющими материальной возможности на покупку дорогостоящей электронной экспертной системы, а также теми, у кого грузоперевозки не являются основным видом деятельности, но обязательны при организации производства и ведутся силами своего автопарка.

1. Описание подхода

Методологические аспекты управления логистическими системами, а также вопросы стратегического характера, рассмотренные в ряде работ [9, 10], подкрепляются различными подходами к математической формализации отдельных процессов [11–13] с учетом оптимизации [14–16], в том числе в сфере управления грузопотоками и непосредственно грузоперевозками. Рассматривая логистическую систему как организационно-управленческий комплекс, причем с эффективной обратной связью, оценка которой математически рассчитывается [17–20], следует вести разговор не только о поиске оптимального соотношения между затратами и уровнем качества предоставляемых услуг, но и о рациональном функционировании фирмы в цифровой среде [21], что достигается в том числе и посредством использования автоматизированных систем, интегрированных в процессы управления транспортом и грузоперевозками [22–24].

С учетом проведенного анализа организационно-методических аспектов, включающих формализацию и возможность автоматизации ряда логистических процессов, предлагаем использовать, разработанную нами интеллектуальную систему поддержки принятия решений для управления грузопотоками (ИСППРУГ). В ее составе предусмотрены блоки: формирования базового математического обеспечения (анализ, формализация, математическое моделирование задач и процессов управления грузопотоками) – I; маршрутизации грузопотоков (синтез автоматизированных модулей системы, в числе которых подсистемы выбора маршрута и управления непосредственно процессом грузоперевозок, в основу которой входит модуль автоматизации заполнения путевого листа) – II; оценки эффективности (в состав входят модули анализа применения как отдельных составляющих, так и расчета экономической эффективности от внедрения системы) – III.

Более подробно остановимся на втором блоке системы и в частности на подсистеме выбора маршрута (основанной на автоматизации расчетных методов нечеткой логики), позволяющей ранжировать выявленные комбинации альтернатив маршрутизации (их исходный набор формируется на основе использования Яндекс Карт и пожеланий заказчика) по преимуществу согласно сформированным критериям. При необходимости возможна расстановка для некоторых из них весовых коэффициентов по запросам клиента и организация дополнительных расчетов. Соответствующий алгоритм представлен на рисунке.



Алгоритм подсистемы выбора маршрута
Route selection subsystem algorithm

Рассмотрим элементы автоматизации реализуемых в подсистеме математических подходов.

2. Практические расчеты

В основу алгоритма, позволяющего найти наиболее приемлемый маршрут транспортировки груза, был положен метод многокритериального выбора альтернатив, основанный на применении композиционного правила агрегирования их описаний с информацией о предпочтениях лица, принимающего решение (ЛПР), которые заданы в виде нечетких суждений [25, 26]. В процессе апробации для формирования критериев и оценки результатов расчетов были привлечены представители организаций, в трудовые функции которых входят управление грузопотоками и непосредственно организация грузоперевозок.

При рассмотрении заказчиком возможных вариантов маршрута перевозки груза ставилась задача выявления наилучшего из них. Суждения в этом случае по аналогии с [25] выглядели следующим образом:

- d_1 : «Если на маршруте хорошее дорожное покрытие, небольшая протяженность пути и небольшое количество населенных пунктов, то он – удовлетворяющий (отвечающий требованиям)»;
- d_2 : «Если на маршруте вдобавок к вышеописанным требованиям отсутствуют (или их число мало) таможенные пункты и пункты ГАИ, то он – более чем удовлетворяющий»;
- d_3 : «Если на протяжении пути дополнительно к условиям d_2 имеются скоростные магистрали, то он – безупречный»;
- d_4 : «Если маршрут имеет все оговоренное в d_3 , кроме отсутствия таможенных пунктов, то он – очень удовлетворяющий»;
- d_5 : «Если маршрут имеет хорошее дорожное покрытие, небольшое количество населенных пунктов, на нем присутствуют скоростные магистрали, но протяженность относительно других вариантов высока, он все же будет удовлетворяющим»;
- d_6 : «Если маршрут не имеет хорошего дорожного покрытия и относительно длинный, то он – неудовлетворяющий».

Анализ формулировок позволил выявить шесть критериев, используемых для принятия решения: X_1 – хорошее дорожное покрытие; X_2 – малая протяженность пути; X_3 – малое количество или отсутствие населенных пунктов; X_4 – наличие скоростных магистралей; X_5 – малое количество или отсутствие таможенных пунктов и пунктов ГАИ; Y – удовлетворительность. После определения возможных значений лингвистических переменных X_i и Y (Y задана на множестве $J = \{0; 0,1; 0,2; \dots; 1\}$ с помощью функций принадлежности, аналогичных представленным в [25]) осуществлялся выбор из пяти маршрутов на множестве $U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$. Оценки маршрутов были заданы следующими нечеткими множествами:

- ХОРОШЕЕ* (качество дорожного покрытия) $A = \{0,8/u_1, 0,7/u_2, 0,8/u_3, 0,4/u_4, 0,5/u_5\}$;
- МАЛАЯ* (протяженность) $B = \{0,7/u_1, 0,8/u_2, 0,4/u_3, 1/u_4, 0,9/u_5\}$;
- МАЛОЕ* (количество населенных пунктов) $C = \{0,4/u_1, 0,6/u_2, 0,7/u_3, 0,9/u_4, 0,8/u_5\}$;
- ИМЕЮТСЯ* (скоростные автомагистрали) $D = \{0,3/u_1, 0,5/u_2, 0,8/u_3, 0/u_4, 0,1/u_5\}$;
- МАЛОЕ* (количество постов ГАИ) $E = \{0,6/u_1, 0,6/u_2, 0,6/u_3, 0,9/u_4, 0,8/u_5\}$.

С учетом введенных обозначений были формализованы правила d_1, \dots, d_6 и вычислены функции принадлежности μ_M .

Для автоматизации расчетов применялся инструментарий среды Yandex DataLens. Используя вычисляемые поля специально созданного датасета, реализовали операции над полями данных по заданным формулам с возможностью пересчета при изменении входных параметров. Yandex DataLens был выбран исходя из возможности синтеза вычислительного аппарата с Яндекс Картами, используемыми при формировании альтернативного набора маршрутов.

Применяя для преобразования правил вида «Если $X = M$, то $Y = Q$ » импликацию Лукасевича $\mu_D(u, j) = \min(l, 1 - \mu_M(u) + \mu_Y(j))$, для каждой пары $(u, j) \in U \times J$ получены нечеткие отношения на $U \times J$ и в результате пересечения отношений D_1, \dots, D_6 вычислено общее функциональное решение:

	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
u_1	0,6	0,61	0,64	0,69	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
u_2	0,4	0,41	0,44	0,49	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8
$D = u_3$	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8
u_4	0,6	0,61	0,64	0,69	0,76	0,85	0,96	1	1	1	1
u_5	0,5	0,51	0,54	0,59	0,66	0,75	0,86	0,9	0,9	0,9	0,9

Для расчета удовлетворительности каждой из альтернатив использовано правило композиционного вывода в нечеткой среде $E_k = G_k \circ D$ (где E_k – степень удовлетворения альтернативы k ; G_k – отображение альтернативы k в виде нечеткого подмножества на U ; D – общее функциональное решение). Тогда

$$\mu_{E_k}(i) = \max \left(\min \left(\mu_{G_k}(u), \mu_D(u) \right) \right).$$

Вычисляя уровневые множества $E_{j\alpha}$ и их мощность $M(E_{j\alpha})$, нашли точечные оценки всех альтернатив:

$$F(E_1) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(E_{j\alpha}) d\alpha =$$

$$= \frac{1}{0,8} \cdot 0,5 \cdot 0,6 + 0,55 \cdot 0,01 + 0,6 \cdot 0,03 + 0,65 \cdot 0,05 + 0,7 \cdot 0,01 + 1 \cdot 0,1 = 0,57875.$$

Аналогично $F(E_2) = 0,70375$; $F(E_3) = 0,64375$; $F(E_4) = 0,5945$; $F(E_5) = 0,5445$.

3. Анализ результатов и их корректировка

Согласно [25] в качестве лучшей выбирается альтернатива, имеющая наибольшую точечную оценку. В нашем случае это u_2 , следовательно, она и будет наилучшей. На втором месте u_3 , на третьем – u_4 , на четвертом – u_1 , а самой худшей оказалась альтернатива u_5 .

Однако следует отметить, что формализация знаний с помощью правил нечеткой логики позволяет еще и учитывать различную важность критериев и самих правил [25]. Предположив, что в рассмотренной задаче ЛПР считает крайне важным наличие на пути движения скоростных автомагистралей, в правилах d_2 и d_3 значением критерия X_4 становится понятие ДОСТАТОЧНО МНОГО, описываемое нечетким множеством D_1 следующего вида:

$$\mu_{D_1}(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } \mu_D(u) = 1 \\ 0, & \text{если } \mu_D(u) < 1 \end{cases} \quad x \in J.$$

Правило d_4 в этом случае было исключено из рассмотрения, так как теперь маршрут, на котором нет скоростных магистралей, не является ОЧЕНЬ УДОВЛЕТВОРЯЮЩИМ. Тогда соответствующие левым частям правил нечеткие множества M_i , $i = 1, \dots, 6$, $i \neq 4$, стали иметь вид:

$$\mu_{M_1}(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u));$$

$$M_1 = \{0,4/u_1, 0,6/u_2, 0,4/u_3, 0,4/u_4, 0,5/u_5\};$$

$$\mu_{M_2}(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u), \mu_D(u));$$

$$M_2 = \{0/u_1, 0/u_2, 0,4/u_3, 0/u_4, 0/u_5\};$$

$$\mu_{M_3}(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u), \mu_C(u), \mu_D(u), \mu_E(u));$$

$$M_3 = \{0/u_1, 0/u_2, 0,4/u_3, 0/u_4, 0/u_5\};$$

$$\mu_{M_5}(u) = \min(\mu_A(u), 1 - \mu_B(u), \mu_C(u), \mu_E(u));$$

$$M_5 = \{0/u_1, 0/u_2, 0,6/u_3, 0/u_4, 0/u_5\};$$

Для d_6 : $\mu_{M_6}(u) = \min(1 - \mu_A(u), 1 - \mu_C(u));$

$$M_6 = \{0,2/u_1, 0,2/u_2, 0,2/u_3, 0/u_4, 0,1/u_5\}.$$

Опуская промежуточные вычисления, автоматически также реализованные в среде Yandex DataLens, приведем новое полученное функциональное решение D^* и соответствующие ему точечные оценки для альтернатив:

$$D^* = \begin{matrix} & 0 & 0,1 & 0,2 & 0,3 & 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix} & \left\| \begin{matrix} 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0,9 & 0,8 \\ 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0,9 & 0,8 \\ 0,4 & 0,5 & 0,6 & 0,6 & 0,6 & 0,6 & 0,6 & 0,6 & 0,6 & 0,6 & 0,6 & 0,8 \\ 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,5 & 0,6 & 0,7 & 0,8 & 0,9 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0,9 \end{matrix} \right\| \end{matrix}.$$

$$F^*(u_1) = 0,535; \quad F^*(u_2) = 0,59; \quad F^*(u_3) = 0,64375;$$

$$F^*(u_4) = 0,55; \quad F^*(u_5) = 0,57.$$

Сравнение полученных результатов показало, что с повышением значимости критерия X_4 ранжировка альтернатив несколько изменилась: u_3 и u_2 поменялись местами, и теперь именно u_3

явилась наилучшей. Этот факт согласуется с исходными данными, так как u_3 имеет максимальное значение по критерию X_4 , а u_2 – не достаточно большое.

Для учета различной важности правил можно использовать нормированные весовые коэффициенты, получаемые одним из двух способов: попарным сравнением или экспертным назначением весов [25]. Таким образом, описанный подход позволяет учесть индивидуальные пожелания заказчика, присваивая те или иные веса альтернативам. Причем данная процедура может быть реализована как на начальном этапе выбора маршрута, так и в процессе оперативного управления грузоперевозками с учетом вновь появившихся не учтенных ранее факторов внешней среды (аварии, перекрытые дороги и пр.) или, например, изменившихся условий в силу возникших технических ограничений эксплуатации транспорта или временного нарушения графика.

4. Экспертная оценка разработки

Нами реализована экспертная оценка эффективности применения предлагаемого алгоритма в рамках автоматизированного модуля подсистемы выбора маршрута ИСППРУГ. В качестве экспертов выступали руководители структурных подразделений одного из предприятий города Оренбурга, в направлениях деятельности которого обозначена в том числе и организация грузоперевозок. Для начала с целью формирования обобщенной оценки \bar{x}_j каждому эксперту ($i = 1, 2, \dots, 6$) было предложено оценить предлагаемый подход ($j = 2$) относительно стандартной процедуры выбора маршрута ($j = 1$) по пятибалльной шкале. Обработка полученных результатов осуществлялась через расчет средней арифметической величины [27], в результате чего был сделан вывод, что предложенный в исследовании вариант подбора маршрута более предпочтителен:

$$\bar{x}_{31} = \frac{\sum_{i=1}^6 x_{i1}}{6} < \bar{x}_{32} = \frac{\sum_{i=1}^6 x_{i2}}{6}.$$

Далее экспертам было предложено оценить потенциальную эффективность самой интеллектуальной технологии в общей совокупности предлагаемых модулей (тем более внедрение программы автоматизированного заполнения путевых листов [28] также было апробировано на данном предприятии ранее). Оценка осуществлялась по формуле

$$K_3 = \sum_{j=1}^n \sum_i^m (a_{ij} b_j) / mn \rightarrow 1,$$

где K_3 – уровень эффективности разработки; $i = 1, 2, \dots, m$ – количество оцениваемых параметров; $j = 1, 2, \dots, n$ – количество экспертов; a_{ij} – оценка j -м экспертом i -го параметра по пятибалльной системе; b_i – весомость i -го параметра.

По сформулированным параметрам была установлена следующая оценочная шкала для экспертов: выражен явно – 5 баллов; хорошо выражен – 4 балла; выражен средне (не сильно и не слабо) – 3 балла; выражен слабо – 2 балла; не выражен – 1 балл. В таблице представлены промежуточные и итоговые результаты экспертной оценки.

Экспертная оценка эффективности ИСППРУГ
Expert evaluation of the effectiveness of ISPPRUG

Параметр	Оценки экспертов (a_{ij})						Весомость показателя (b_i)	$\sum_{i=1}^5 (a_{ij} b_i)$
	1	2	3	4	5	6		
1. Актуальность решаемой проблемы	4	4	3	5	4	4	0,15	3,6
2. Простота внедрения	5	5	4	4	4	4	0,25	6,5
3. Доступность необходимых данных и удобство использования	3	4	3	5	4	5	0,2	4,8
4. Степень автоматизации	4	5	4	5	5	4	0,3	8,1
5. Отсутствие необходимости дополнительного обучения	4	4	5	5	4	5	0,1	2,7
Итого в среднем	4,0	4,4	3,8	4,8	4,2	4,4	1,00	$\frac{\sum_{j=1}^6 \sum_i^5 (a_{ij} b_i)}{30} = 0,86$

В итоге уровень потенциальной эффективности системы составил 86 % из максимального значения 100 %. Это свидетельствует о высоком уровне применимости разработки.

Заключение

Главной задачей организаций, занятых в сфере транспортной логистики, является доставка грузов в место назначения с учетом временных ограничений в целостности и сохранности, причем с наименьшими финансовыми расходами. Однако, работая в условиях конкуренции с высокой степенью неопределенности и риска (связанной с особенностями как функционирования самих транспортных средств, поведения на дорогах и пр., так и с постоянно меняющимися сложными экономическими и геополитическими ситуациями), фирмы, особенно небольшие, вынуждены предоставлять услуги, подстраиваясь под требования и пожелания заказчиков. В этом случае быстрый поиск альтернативных вариантов маршрутов, основанный на предлагаемом подходе автоматизации расчетов методами нечеткой логики с возможностью предоставления окончательного выбора наиболее приемлемого из них самому потребителю (на его взгляд с учетом предполагаемых затрат, например временного и материального характеров), способствует, с одной стороны, расширению клиентской базы за счет привлечения потребителей с индивидуальными (кастомными) заказами, с другой – снижению рисков для компании, так как часть из них (что отражается в договоре) берет на себя заказчик «нестандартных» услуг.

Благодаря автоматизации реализации расчетного алгоритма можно говорить о возможности быстрой гибкой адаптации маршрутов с учетом каких-либо известных изменений или об осуществлении подбора уникальных характеристик маршрутизации исходя из запросов клиента в случае процедуры кастомизации заказа. В условиях возрастающей конкуренции фирмы вынуждены разрабатывать уникальные предложения для потребителей, при этом увеличиваются не только затраты на услуги, но и риски. Однако если есть спрос, значит, должно быть и предложение. Что же касается возрастающих рисков, то частично вызванные ими возможные дополнительные затраты могут быть учтены в стоимости услуги, а частично по условиям договора – возложены на заказчика. В этом случае выигрывают небольшие фирмы и частные перевозчики, реализующие более гибкую политику цен и набор предложений, а также имеющие возможность осуществлять перевозку по индивидуальному заказу. Предлагаемый алгоритм, реализованный посредством использования среды Yandex DataLens и не требующий дополнительного сложного обучения, позволит ЛПП принимать эффективные управленческие решения в сфере грузоперевозок как стратегического, так и оперативного характера.

Проведенная оценка эффективности для использования предлагаемого алгоритма выбора маршрута показала его преимущество относительно стандартного подхода, а для разрабатываемой интеллектуальной системы поддержки принятия решений при управлении грузопотоками – ее применимость на предприятиях в сфере транспортной логистики.

Список литературы

1. Стратегии цифровой трансформации [Электронный ресурс] // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: сайт. URL: https://digital.gov.ru/activity/directions/1064/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f (дата обращения: 10.03.2023).
2. Дитрих Е.И. Транспортная отрасль обеспечивает до 7 % ВВП России [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnikstroy.ru/articles/infrastructure/evgeniy-ditrikh-transportnaya-otrasl-obespechivaet-do-7-vvp-rossii/?ysclid=le5nvi9b6p126309168> (дата обращения: 15.02.2023).
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» [Электронный ресурс]. URL: <http://mintrans.gov.ru/documents/8/11577?ysclid=leiii1iiih656421595> (дата обращения: 24.02.2023).
4. Спешилова Н.В., Спешилов Е.А. Анализ состояния транспортной отрасли и проблемы развития логистических систем в России в условиях цифровизации // Экономика и предпринимательство. 2022. № 2 (139). С. 670–674. DOI: 10.34925/EIP.2022.139.2.126
5. Россия в цифрах: краткий статистический сборник. 2021 [Электронный ресурс] / Росстат. М., 2021. 257 с. URL: <http://www.online-documents.ru/report/2021/russia/12/> (дата обращения: 24.02.2023).

6. Крегель Д.А. Роль транспортной отрасли в инновационном развитии экономики // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2018. № 1. С. 6–13. DOI: 10.18384/2310-6646-2018-1-6-13
7. Щebetеева С.М., Айрапетян М.К. Роль и значение логистики в деятельности предприятия // Экономика и бизнес: теория и практика. 2015. № 4. С. 34–37.
8. Спешилова, Н.В., Спешиллов Е.А. Особенности реализации технологических инноваций при управлении грузоперевозками в цифровой экономике // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 76-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне, «Социально-экономическое развитие хозяйствующих субъектов (в том числе учреждений УИС), отраслей, регионов: проблемы и перспективы», г. Рязань, 30 апреля 2021 г. Рязань, 2021. С. 207–212.
9. Сток Дж.Р., Ламберт Д.М. Стратегическое управление логистикой: пер. с англ. М.: ИНФРА-М, 2005. 797 с.
10. Тарасенко Е.А., Карх Д.А., Тяпухин А.П. Управление логистическими системами: моногр. М.: ООО «Издательство «КноРус», 2021. 156 с.
11. Панюков А.В., Пивоварова Ю.В., Чалуб Х.З. Математическая модель для решения оперативной проблемы региональных грузоперевозок // Наука ЮУрГУ: материалы 70-й научной конференции. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2018. С. 71–76.
12. Трипкош В.А., Спешиллов Е.А. Модельное представление организации грузопотоков транспортной компании в рамках реализации логистической стратегии // Сборник материалов X Всероссийской конференции с международным участием «Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии», Оренбург, 18–19 ноября 2021 года. Оренбург, 2021. С. 385–389.
13. Dib O., Manier M.-A., Moalic L. Advanced modeling approach for computing multicriteria shortest paths in multimodal transportation networks // 2016 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE). Singapore, 2016. P. 40–44. DOI: 10.1109/ICITE.2016.7581304
14. Бронштейн Е.М., Зайко Т.А. Детерминированные оптимизационные задачи транспортной логистики // Автоматика и телемеханика. 2010. № 10. С. 133–147.
15. Козлов П.А., Владимирская И.П. Методы оптимизации взаимодействия железнодорожно-го и морского транспорта // Транспорт Российской Федерации. 2009. № 1 (20). С. 53–55.
16. Jabir E., Panicker V.V., Sridharan R. Multi-objective optimization model for a green vehicle routing problem // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2015. Vol. 189. P. 33–39. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.03.189
17. Панченко В.В. Рынок информации: структура и особенности // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2015. Т. 221, № 1. С. 164–168.
18. Юрченков В.А., Котелев С.Г. Оценка эффективности логистической системы предприятия // Сборник материалов X Международной научно-практической конференции «Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития», Чебоксары, 21 мая 2018 г. Чебоксары: ООО «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2018. С. 262–264.
19. Baran J., Dark J. Multiple criteria evaluation of transportation performance for selected agribusiness companies // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 34, no. 6. P. 1561–1584.
20. L’och M., Dolinayova A. Evaluation quality the freight transport through application of methods multi-criteria decision // Procedia Economics and Finance. 2015. Vol. 34. P. 210–216. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)01621-4
21. Shepel V.N., Speshilova N.V., Kitaeva M.V. Technology of Management Decision-Making at Industrial Enterprises in the Digital Economy // GCPMED 2018 – International Scientific Conference “Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development”, Samara, Russia, 06–08 December 2018. The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS. 2019. Vol. 57. P. 1520–1531. DOI: 10.15405/epsbs.2019.03.155. URL: <https://www.futureacademy.org.uk/files/images/upload/GCPMED%202018F155.pdf>.
22. Болодурина И.П., Нугуманова А.А. Фильтр Винера как метод вторичной обработки информации с системы ГЛОНАСС // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2016. № 8. С. 79–83.
23. Курманова Е.Л. 3PL-провайдер – основа становления рынка транспортно-логистических услуг // Вестник университета. 2013. № 2. С. 61–64.

24. Панюков А.В., Пивоварова Ю.В. Развитие транспортной логистики в Челябинской области: проблемы и перспективы применения информационных технологий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2017. Т. 11, № 1. С. 7–11. DOI: 10.14529/em170101
25. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М.: Финансы и статистика, 2000. 368 с.
26. Ojha, A., Mondal M.K., Maiti M. Transportation policies for single and multi-objective transportation problem using fuzzy logic // Mathematical and Computer Modelling. 2011. Vol. 53, iss. 9–10. P. 1637–1646. DOI: 10.1016/j.mcm.2010.12.029
27. Данелян Т.Я. Формальные методы экспертных оценок // Экономика, Статистика и Информатика. 2015. № 1. С. 183–187.
28. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2021660670. Путевой лист / В.Н. Шепель, Р.Р. Рахматуллин, В.А. Трипкош, Е.А. Спешилов. Роспатент, 30.06.2021.

References

1. *Strategii tsifrovoy transformatsii* [Digital transformation strategies] [Electronic resource]. *Ministry of Digital Development, Communications and Mass Communications of the Russian Federation: website* (In Russ.) Available at: http://digital.gov.ru/ru/activity/directions/1064/?utm_referrer=https%3a%2f%2fyandex.ru%2f (accessed 10 March 2023).
2. Ditrikh E.I. *Transportnaya otrasl' obespechivayet do 7 % VVP Rossii* [The transport industry provides up to 7% of Russia's GDP] [Electronic resource]. (In Russ.) Available at: <http://vestnikstroy.ru/articles/infrastructure/evgeniy-ditrikh-transportnaya-otrasl-obespechivaet-do-7-vvp-rossii/?ysclid=le5nvi9b6p126309168> (accessed 15 February 2023).
3. *Rasporyazheniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 27 noyabrya 2021 goda № 3363-r "Ob utverzhenii Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda"* [Decree of the Government of the Russian Federation № 3363-r dated November 27, 2021 "On approval of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035"] [Electronic resource]. (In Russ.) Available at: <http://mintrans.gov.ru/documents/8/11577?ysclid=leiii1iiih656421595> (accessed 24 February 2023).
4. Speshilova N.V., Speshilov E.A. Analysis of the state of the transport complex and problems of development of logistics systems in Russia under the conditions of digitalization. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2022;2(139):670–674. (In Russ.) DOI: 10.34925/EIP.2022.139.2.126
5. *Rossiya v tsifrakh: kratkiy statisticheskiy sbornik. 2021* [Russia in numbers: a brief statistical collection. 2021] [Electronic resource]. Rosstat. Moscow; 2021. 257 p. (In Russ.) Available at: <http://www.online-documents.ru/report/2021/russia/12/> (accessed 24 February 2023).
6. Kregel D.A. The role of transport industry in innovative development of economy. *Bulletin of Moscow state regional university. Series: Economics*. 2018;1:6–13. DOI: 10.18384/2310-6646-2018-1-6-13
7. Shchebeteeva S.M., Hayrapetyan M.K. The role and importance of logistics in the enterprise. *Economy and business: theory and practice*. 2015;4:34–37.
8. Speshilova, N.V., Speshilov E.A. [Features of the implementation of technological innovations in cargo transportation management in the digital economy]. In: *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 76-y godovshchine Pobedy v Velikoy Otechestvennoy voyne "Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie khozyaystvuyushchikh sub"ektov (v tom chisle uchrezhdeniy UIS), otrasley, regionov: problemy i perspektivy"*, g. Ryazan', 30 aprelya 2021 g. [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 76th anniversary of Victory in the Great Patriotic War "Socio-economic development of economic entities (including UIS institutions), industries, regions: problems and prospects", Ryazan, April 30. 2021]. Ryazan', 2021. P. 207–212. (In Russ.)
9. Stock J.R., Lambert D.M. *Strategic Logistics Management*. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2001. 872 p. ISBN 0256136874
10. Tarasenko E.A., Karkh D.A., Tyapukhin A.P. *Upravlenie logisticheskimi sistemami: monografiya* [Logistics systems management: monograph]. Moscow: LLC "KnoRus Publishing House"; 2021. 156 p. (In Russ.)
11. Panyukov A.V., Pivovarova Yu.V., Chalub Kh.Z. [A mathematical model for solving the operational problem of regional cargo transportation]. In: *Nauka YuUrGU: materialy 70-y nauchnoy*

konferentsii [SUSU Science: Proceedings of the 70th Scientific Conference]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ.; 2018. P. 71–76. (In Russ.)

12. Tripkosh V.A., Speshilov E.A. [Model representation of the organization of cargo flows of a transport company within the framework of the implementation of the logistics strategy]. In: *Sbornik materialov X vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Komp'yuternaya integratsiya proizvodstva i IPI-tehnologii"*, Orenburg, 18–19 noyabrya 2021 goda [Collection of materials of the X All-Russian conference with international participation "Computer integration of production and IPI-technology", Orenburg, November 18–19, 2021]. Orenburg; 2021. P. 385–389. (In Russ.)

13. Dib O., Manier M.-A., Moalic L. Advanced modeling approach for computing multicriteria shortest paths in multimodal transportation networks. In: *2016 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)*. Singapore; 2016. P. 40–44. DOI: 10.1109/ICITE.2016.7581304

14. Bronshtein E.M., Zaiko T.A. Deterministic optimizational problems of transportation logistics. *Automation and Remote Control*. 2010;71(10):2132–2144. DOI: 10.1134/S0005117910100127

15. Kozlov P.A., Vladimirskaia I.P. Optimization methods in interaction between railroad and sea-transport. *Transport of the Russian Federation*. 2009;1(20):53–55. (In Russ.)

16. Jabir E., Panicker V.V., Sridharan R. Multi-objective optimization model for a green vehicle routing problem. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015;189:33–39. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.03.189

17. Panchenko V.V. Market information: structure and features. *Scientific notes Kazan Bauman state academy of veterinary medicine*. 2015; 221(1):164–168. (In Russ.)

18. Yurchenkov V.A., Kotelev S.G. [Evaluation of the efficiency of the logistics system of the enterprise]. In: *Sbornik materialov X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendentsii i perspektivy razvitiya"*, Cheboksary, 21 maya 2018 g. [Collection of materials of the X International scientific and practical Conference "Science, education, society: trends and prospects of development", Cheboksary, May 21, 2018]. Publishing house: Interactive Plus Center for Scientific Cooperation, LLC; 2018. P. 262–264. (In Russ.)

19. Baran J., Dark J. Multiple criteria evaluation of transportation performance for selected agribusiness companies. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013;34(6):1561–1584.

20. L'och M., Dolinayova A. Evaluation quality the freight transport through application of methods multi-criteria decision. *Procedia Economics and Finance*. 2015;34:210–216. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)01621-4

21. Shepel V.N., Speshilova N.V., Kitaeva M.V. Technology of Management Decision-Making at Industrial Enterprises in the Digital Economy. *GCPMED 2018 – International Scientific Conference "Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development"*, Samara, Russia, 06–08 December 2018. *The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS*. 2019. Vol. 57. P. 1520–1531. DOI: 10.15405/epsbs.2019.03.155. Available at: <https://www.futureacademy.org.uk/files/images/upload/GCPMED%202018F155.pdf>.

22. Bolodurina I.P., Nugumanova A.A. Wiener's filter as a reprocessing method of information with GLONASS system. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii = Intellect. Innovations. Investments*. 2016;8:79–83. (In Russ.)

23. Kurmanova E.L. [As a 3PL provider – the basis for the formation of the market of transport and logistics services]. *Vestnik Universiteta*. 2013;2:61–64. (In Russ.)

24. Panyukov A.V., Pivovarova Yu.V. Development of Transport Logistics in the Chelyabinsk Region: Problems and the Prospects of Using Information Technologies. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*. 2017;11(1):7–11. (In Russ.). DOI: 10.14529/em170101

25. Andreychikov A.V., Andreychikova O.N. *Analiz, sintez, planirovanie resheniy v ekonomike* [Analysis, synthesis, decision planning in economics]. Moscow: Finansy i statistika; 2000. 368 p. (In Russ.)

26. Ojha A., Mondal M.K., Maiti M. Transportation policies for single and multi-objective transportation problem using fuzzy logic. *Mathematical and Computer Modelling*. 2011;53(9–10):1637–1646. DOI: 10.1016/j.mcm.2010.12.029

27. Danelyan T.Ya. Formal methods of expert estimations. *Economics, Statistics and Informatics*. 2015;1:183–187. (In Russ.)

28. Shepel V.N., Rakhmatullin R.R., Tripkosh V.A., Speshilov E.A. *Putevoy list* [Tour guide]. Certificate of official registration of a computer program, no. 2021660670, Rospatent, 30.06.2021.

Информация об авторах

Болодурина Ирина Павловна, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой прикладной математики, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия; ipbolodurina@yandex.ru.

Спешиллов Евгений Алексеевич, аспирант кафедры прикладной математики, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия; младший научный сотрудник, Оренбургский филиал Института экономики УрО РАН, Оренбург, Россия; evgenij.sp@mail.ru.

Information about the authors

Irina P. Bolodurina, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Applied Mathematics, Orenburg State University, Orenburg, Russia; ipbolodurina@yandex.ru.

Evgeny A. Speshilov, Postgraduate Student of the Department of Applied Mathematics, Orenburg State University, Orenburg, Russia; Junior Researcher, Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; evgenij.sp@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 18.03.2023

The article was submitted 18.03.2023