

УДК 658.286.2:669.013 (477.62)

© Булгакова Ю.В.¹, Гуцал Т.А.²**ПЛАНИРОВАНИЕ МАРШРУТА ДОСТАВКИ СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ
МАРИУПОЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА**

На основании анализа транспортной системы Украины составлены возможные маршруты доставки железорудного концентрата (ЖРК) на металлургические комбинаты Мариуполя в смешанном сообщении. Учитывая особенности технологии поставок ЖРК, разработана модель многокритериального принятия решений для оценки и выбора оптимального маршрута доставки ЖРК, основанная на теории нечетких множеств. Модель реализована в программной среде MATLAB Fuzzy Logic Tool Box.

Ключевые слова: планирование перевозок, выбор маршрута доставки грузов, многокритериальная задача принятия решений, нечеткий логический вывод Мамдани.

Булгакова Ю.В., Гуцал Т.А. Планування маршруту поставки сировини в умовах Маріупольського промислового вузла. На підставі аналізу транспортної системи України складено можливі маршрути доставки залізорудного концентрату (ЗРК) на металургійної комбінати Маріуполя в змішаному сполученні. Враховуючи особливості технології поставок ЗРК, розроблено модель багатокритеріального прийняття рішень для оцінки та вибору оптимального маршруту доставки ЗРК, засновану на теорії нечітких множин. Модель реалізована в програмному середовищі MATLAB Fuzzy Logic Tool Box.

Ключові слова: планування перевезень, вибір маршруту доставки, багатокритеріальна задача прийняття рішень, нечіткий логічний висновок Мамдані.

J.V. Bulgakova, T.A. Hutsal. Route planning of raw materials transportation in the industrial hub of Mariupol city. The multi-modal freight transportation routes planning problem is viewed in this paper. The case study of iron ore deliveries to the metallurgical enterprises of Mariupol from Kryvyi Rih is presented. Based on the analysis of Ukrainian railroads and sea ports infrastructures six possible routes of multi-modal iron ore transportation are built. The paper presents a short review of route planning problem in multi-modal freight transportations, which are use sea and land parts together, regarding decision support methods of routes evaluation and selection. The lack of studies dedicated to fuzzy logic theory application for solving the stated problems is identified. The relevance of fuzzy set application to the route planning problem is proved. Taking into account the peculiarities of iron ore transportations technology, the following criterions of routes evaluation are chosen: «transportation costs», «delivery times», «transportation risks». The model of multicriterion decision-making of routes evaluation and the optimal route selection, based on fuzzy logic theory, is developed. Criteria of routes evaluation are set by three terms Gaussian and sigmoidal membership functions. The approach to each function construction is practice-based and executed together with iron ore supply chain manager. The model is created in MATLAB Fuzzy Logic Tool Box environment using Mamdani's fuzzy inference.

Keywords: freight transportations planning, delivery route selection, multicriterion decision making problem, Mamdani's fuzzy inference.

Постановка проблемы. Для металлургических предприятий особо важным является своевременное обеспечение производства сырьем, как с точки зрения поддержания непрерыв-

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, jlbulgakova@gmail.com

² аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, tata_gutsal@mail.ru

ного производственного процесса и сокращения логистических затрат, так и с точки зрения предотвращения остановки основных производственных агрегатов, что без их замены делает дальнейшее производство невозможным.

Актуальность вопроса планирования маршрутов доставки сырья наиболее высока для металлургических предприятий Мариуполя, поскольку в современных политико-экономических условиях транспортная система региона наиболее подвержена рискам сбоев работы. Вопрос рассмотрен на примере поставок железорудного концентрата (ЖРК) из Кривого Рога. Существующий маршрут прямой доставки ЖРК железнодорожным транспортом на данный момент не обеспечивает поставку суточного объема ЖРК, необходимого для обеспечения непрерывного производственного процесса. В связи с этим металлургические предприятия в предельно сжатые сроки вынуждены искать альтернативные технологии и маршруты смешанной доставки ЖРК с использованием каботажных перевозок.

Быстрый выбор эффективного варианта доставки груза усложняется необходимостью учета множества факторов и критериев, формирующих оптимальность технологии и маршрута. Помимо общепринятых критериев оценки маршрутов при планировании перевозок «время» и «стоимость транспортировки» существует ряд факторов, которые должны быть учтены, например, такие как экологичность перевозок, риски сбоев поставок и др. Кроме того, необходимо обеспечить своевременность принятия решений о выборе маршрута доставки ЖРК и учет факторов лингвистической неопределенности, связанной с субъективным характером некоторых критериев оценки маршрутов и суждениями лица, принимающего решение (ЛПР).

Анализ последних исследований и публикаций. Решению проблем выбора маршрутов в смешанном сообщении при планировании перевозок посвящено достаточное количество трудов в основном зарубежных авторов. Особенность обозначенной проблемы состоит в ее прикладной направленности, что требует учета особенностей конкретной цепи поставок и усложняет создание единого универсального метода выбора маршрута доставки груза. Большинство трудов посвящено проблеме планирования маршрута в интермодальном сообщении на примере различных контейнерных линий.

Условно существующие подходы к выбору маршрутов доставки в смешанном сообщении можно разделить на однокритериальные, двухкритериальные и многокритериальные [1].

В качестве критерия оценки маршрутов в однокритериальных моделях планирования смешанных маршрутов доставки грузов в большинстве случаев применяется критерий суммарных затрат на доставку морским и наземным видами транспорта. При этом задача состоит в нахождении минимума оптимизационной функции затрат [2-4]. Несколько трудов используют в качестве единственного критерия объем выброса углекислого газа [5].

Поскольку существующие модели оперируют постоянными, линейными и случайными величинами, в качестве методов решения однокритериальных задач применяются методы линейного [6] (включая Парето-оптимизацию [7]) и целочисленного программирования [3], модели массового обслуживания [8], аналитические методы [9], методы сетевого планирования [10, 11].

Двухкритериальные модели выбора маршрута доставки грузов в смешанном сообщении основаны на парах критериев: суммарные затраты на доставку грузов и объем выбросов углекислого газа [12], суммарные затраты на транспортировку и сроки поставки [7, 10, 11].

В многокритериальных моделях выбора маршрута доставки грузов фигурирует ряд критериев: транспортные затраты (которые включают: затраты на транспортировку всеми видами транспорта, затраты на погрузочно-разгрузочные работы, возможные штрафы, затраты на содержание страхового запаса по причине несовершенства системы доставки, затраты, связанные с повреждением груза) [9, 13], сроки доставки [9, 13], уровень экологичности [13], риски доставки [9, 13].

Двух- и многокритериальные модели выбора маршрута доставки грузов в смешанном сообщении являются более целесообразными, чем однокритериальные, поскольку большее количество критериев дает возможность составить более четкое описание системы. Однако большее количество критериев, особенно конфликтующих между собой, требуют применения более сложных методов решения таких задач, например, Парето-оптимизации, многокритериальных методов поддержки принятия решений, выбор которых основан на объеме имеющихся данных об объекте и степени влияния ЛПР на процесс принятия решений [14].

Анализ литературы показал, что методы выбора маршрутов доставки груза разрабатываются на примере конкретного грузопотока, что позволяет учесть особенности транспортной инфраструктуры при формировании подходящей системы критериев. Выявлено недостаточное применение теории нечетких множеств для решения многокритериальных задач по выбору маршрутов доставки грузов в смешанном сообщении, несмотря на все преимущества этой теории: простоту построения и расчетов, возможность учета лингвистической неопределенности. Среди изученных источников нечеткая модель применена лишь к формированию технологии доставки контейнеров [15].

Целью статьи является разработка метода многокритериального принятия решений по выбору маршрута доставки груза в смешанном сообщении с учетом лингвистической неопределенности среды принятия решения на примере планирования перевозок ЖРК в условиях Мариупольского промышленного узла.

Изложение основного материала. На основании анализа транспортной инфраструктуры портов Украины выявлено 6 альтернативных вариантов доставки ЖРК из Кривого Рога в Мариуполь в смешанном сообщении, в которых от грузоотправителя (ГО) до первого порта перевалки и от второго порта перевалки до грузополучателя (ГП) ЖРК доставляется по железной дороге: М1. ГО – порт Николаев – порт Мариуполь – ГП; М2. ГО – порт Николаев – порт Азовсталь – ГП; М3. ГО – порт Южный – порт Мариуполь – ГП; М4. ГО – порт Южный – порт Азовсталь – ГП; М5. ГО – порт Бердянск – порт Мариуполь – ГП; М6. ГО – порт Бердянск – порт Азовсталь – ГП. Для принятия решения об оптимальном маршруте доставки необходимо решить многокритериальную задачу, которая включает количественные и качественные критерии оценки альтернатив (маршрутов) и субъективного подхода ЛПР.

На основании анализа особенностей организации цепи поставок ЖРК из Кривого Рога на металлургические предприятия Мариуполя в качестве критериев оценки маршрутов доставки выбраны: 1. себестоимость доставки 1 т ЖРК – G ; 2. расстояние перевозки – L ; 3. риск доставки – R . В качестве математического аппарата для решения поставленной задачи выбран нечеткий логический вывод (НЛВ) Мамдани (рис. 1) теории нечетких множеств, которая позволяет формализовать и обосновать неуловимые внешние характеристики с помощью лингвистического и визуального представления информации в условиях ее неполноты, ненадежности, нечеткости и приоритетности.

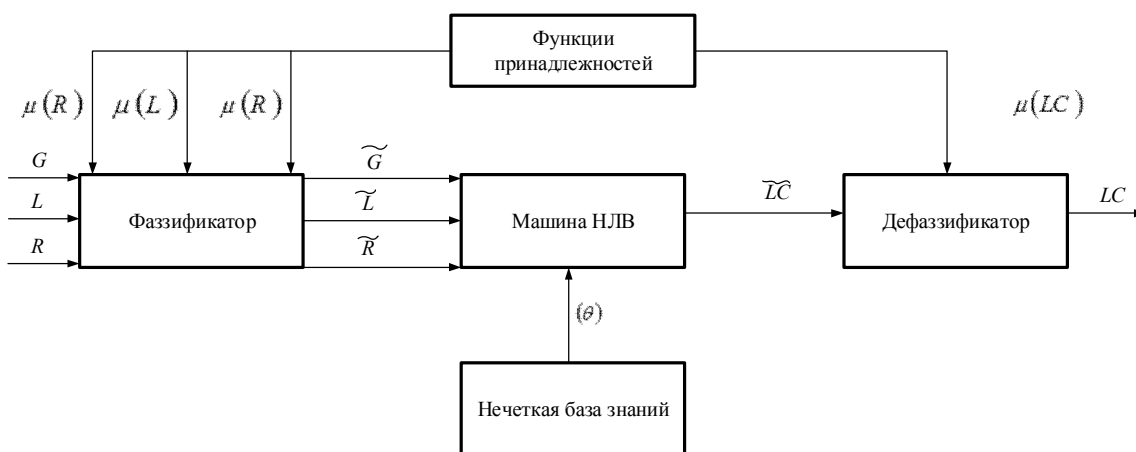


Рис. 1 – Система НЛВ, реализующая принятие решений по выбору маршрута доставки ЖРК на металлургические предприятия Мариуполя

Входными данными для реализации НЛВ являются:

1. Четкие значения входных лингвистических переменных, которыми являются критерии оценки альтернатив (табл. 1). Для получения оценок маршрутов по критериям «себестоимость доставки 1т ЖРК» и «расстояние перевозки» использованы программные продукты ТМ-Карта (для расчета расстояния и стоимости железнодорожных составляющих смешанной перевозки), Sea Rates (для расчета расстояния и стоимости морских составляющих).

Оценки альтернатив по критерию «риск поставки» получены экспертным методом на основе анализа факторов: количество операций по перевалке ЖРК, возможность экстренного изменения маршрута, прохождение Керченского пролива. При этом значения оценок находятся в диапазоне от 0 до 1, от менее предпочтительного маршрута к более предпочтительному.

Таблица 1

Значения оценок альтернатив по критериям

Маршрут	G , USD/т	L , км	R
М1	28,78	1126,84	0,77
М2	29,33	1097,08	0,75
М3	28,87	1278,02	0,72
М4	29,44	1248,24	0,69
М5	28,77	572,78	0,88
М6	28,29	543	0,85

2. *Функции принадлежности термов входных и выходной лингвистических переменных*, которые непосредственно выражают экспертное мнение ЛПП касательно оценки и выбора маршрута доставки ЖРК. В основу построения функций положена система трех термов: хорошо (X), удовлетворительно (Y), плохо (П). Выбраны типы функций: для терма «удовлетворительно» – Гаусса, который задается двумя параметрами: экстремум (b) и коэффициент концентрации (a) [16]; для термов «хорошо», «плохо» – сигмоидальный, заданный параметрами c и d, которые выбраны в зависимости от значений лингвистических переменных со степенью принадлежности нечеткому множеству терма равной 1 (далее экстремумы) [16].

Экстремум функции терма «хорошо» переменной «себестоимость доставки 1 т ЖРК» установлен на уровне 15% транспортных расходов от суммарной стоимости приобретения, экстремум терма «удовлетворительно» фиксирован максимально допустимой долей транспортных расходов, которая позволяет поддерживать рентабельную цену на ЖРК и не превышать отметку 40%. Экстремум терма «плохо» привязывается к показателю доли транспортных расходов в 60%, что в среднем по отрасли принято считать уровнем безубыточности (рис. 2, а).

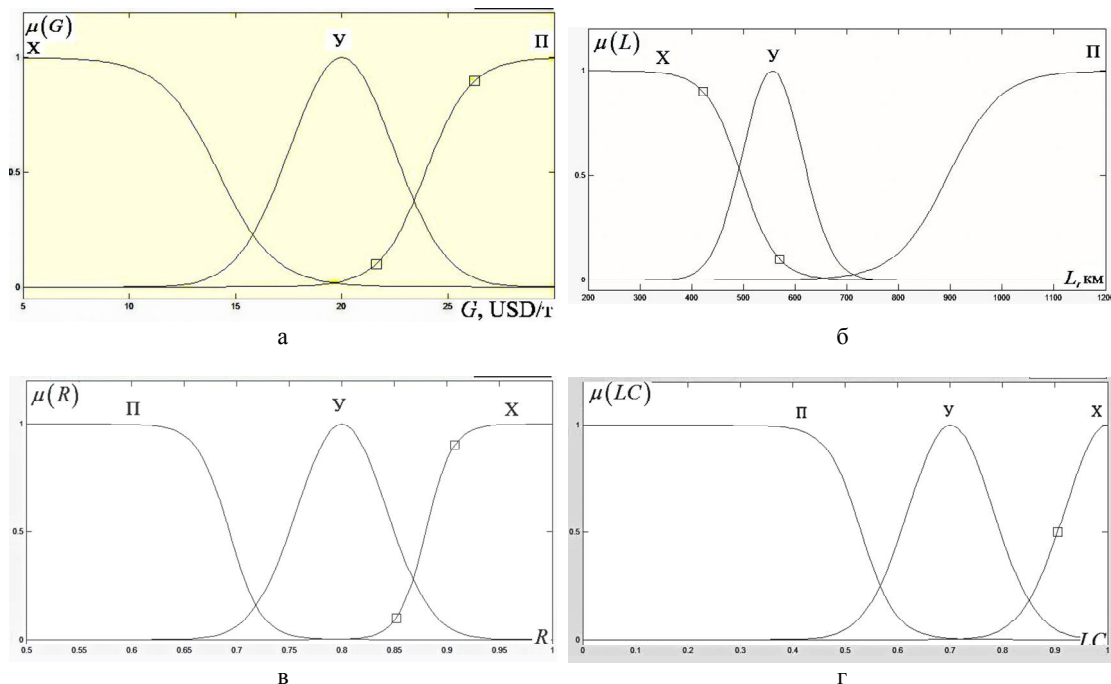


Рис. 2 – Функции принадлежности термов входных лингвистических переменных: а – «себестоимость доставки 1т ЖРК»; б – «расстояние перевозки»; в – «риск доставки»; г – выходной лингвистической переменной «уровень логистических издержек»

Графики функций принадлежности термов входной лингвистической переменной «расстояние перевозки» (рис. 2, б) построены на основании анализа расстояния между грузоотправителем и грузополучателем. Минимальное расстояние между г. Кривой Рог и г. Мариуполь по прямой составляет 323 км, в то время как оптимальное расстояние с использованием железнодорожной транспортной сети – 556 км. Данные показатели и будут являться точками экстремума функций принадлежности термов «хорошо» и «удовлетворительно». Экстремум функции принадлежности терма «плохо» равен наибольшему расстоянию всех исследуемых маршрутов – 1278,02 км, что соответствует маршруту с перевалкой в портах Южный и Мариуполь (МЗ).

Выходной лингвистической переменной является «логистические затраты» (LC), графики функций принадлежности термов заданы по шкале оценки качественных показателей (табл. 2), так же как и графики функций переменной «риск доставки» (рис. 2, в, г). Параметры функций принадлежности приведены в табл. 3.

Таблица 2

Оценка лингвистической интерпретации значений качественных показателей «уровень логистических издержек»

Лингвистическая оценка	Значения функции принадлежности
Хорошо	1,00 – 0,63
Удовлетворительно	0,63 – 0,37
Плохо	0,37 – 0,00

Таблица 3

Параметры функций принадлежности лингвистических переменных [a b], [c d]

Терм множества	$\mu(G)$	$\mu(R)$	$\mu(L)$	$\mu(LC)$
X	[-0,75 14,2]	[79,3 0,9]	[-0,03 496]	[37,2 0,83]
Y	[2,44 20]	[0,042 0,8]	[56,24 556]	[0,08 0,63]
П	[0,95 24]	[-66,42 0,69]	[0,02 896]	[-31 0,53]

3. База правил нечеткого логического вывода, которая также вносит субъективные оценки ЛПР. Правила НЛВ заданы на базе логического оператора «И» [16].

Совокупность таких правил является базой знаний нечетких продукций. Правила формируются таким образом, чтобы получить все возможные комбинации всех функций принадлежности термов входных переменных. Фрагмент базы правил для рассматриваемой задачи принятия решений по определению оптимального маршрута доставки ЖРК приведен в табл. 4.

Таблица 4

Фрагмент базы правил нечеткого логического вывода

№ правила	G	R	L	LC	№ правила	G	R	L	LC
1	П	П	П	П	11	П	X	X	П
2	П	П	У	П	12	X	П	X	У
3	П	У	П	П	13	X	X	П	X
4	У	П	П	П	14	X	X	X	X
5	П	У	У	П	15	У	X	X	У
6	У	У	П	У	16	X	У	X	X
7	У	П	У	П	17	X	X	У	X
8	У	У	У	У	18	X	У	У	X
9	П	П	X	П	19	У	X	У	У
10	X	П	П	У	20	У	У	X	У

Создание расчетной модели и реализация основных этапов НЛВ (фаззификация, агрегирование, активизация, аккумулярование, дефаззификация) [16] выполнены с помощью про-

граммного продукта MATLAB Fuzzy Logic Tool Box. Результатом расчета нечеткого логического вывода являются четкие оценки всех маршрутов по критерию «логистические издержки» – *LC*. Значения выходной лингвистической переменной «логистические издержки» для всех альтернатив приведены в табл. 5.

Таблица 5

Значения выходной лингвистической переменной для всех альтернатив

Альтернатива	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<i>LC</i>	0,276	0,287	0,3	0,285	0,3	0,288

Выбор альтернативы осуществляется по максимальному значению выходной лингвистической переменной «логистические затраты». Предпочтение отдано альтернативе M5 – маршруту доставки с перевалкой в портах Бердянск и Мариуполь.

Выводы

Результатом исследования является решение прикладной задачи планирования маршрута доставки ЖРК на металлургические предприятия Мариуполя в смешанном сообщении путем разработки метода выбора оптимального маршрута в условиях множества критериев, основанного на теории нечеткой логики.

Предложенный метод не является универсальным, поскольку учитывает особенности конкретной цепи поставки, но основные этапы его реализации могут стать основой для решения подобных задач, особенно для принятия решений о выборе маршрута в смешанном сообщении, что является весьма актуальным в свете развития системы интермодальных перевозок в Украине.

Список использованных источников:

1. A review of multi-objective optimization of container flow using sea and land legs together / R.Z. Rajković [et al.] // FME Transactions. – № 44 (2). – 2016. – P. 204-211.
2. Infante D. Ship-truck Intermodal Transport Problem / D. Infante, D. Paletta, F.A. Vocaturo // Maritime Economics & Logistics. – Vol. 11 (3). – 2009. – P. 247-259.
3. Optimizing the Transportation of International Container Cargoes in Korea / H.J. Kim [et al.] // Maritime Policy & Management. – Vol. 35 (1). – 2008. – P. 103-122.
4. Newman A.M. Scheduling Direct and Indirect Trains and Containers in an Intermodal Setting / A.M. Newman, C.A. Yano // Transportation Science. – Vol. 34, № 3. – 2000. – P. 256-270.
5. Kim N.S. Trade-Off Between Carbon Dioxide Emissions and Logistics Costs Based on Multi-objective Optimization / N.S. Kim, M. Janic, V.W. Bert // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – № 2139. – 2009. – P. 107-116.
6. Han M.M. A Linear Programming Model for Short Sea Shipping and Multi-modal Inland Transportation in Myanmar / M.M. Han, L. Guolong, Y. Bin // Report and Opinion. – Vol. 3, Issue 1. – 2011. – P. 37-43.
7. Sun Y. Bi-objective Optimization for Multi-modal Transportation Routing Planning Problem Based on Pareto Optimality / Y. Sun, M. Lang // Journal of Industrial Engineering and Management JIEM. – Issue. 8 (4). – 2015. – P. 1195-1217.
8. Payman J. Long- and Short-Run supply-chain optimization models for the allocation and congestion management of containerized imports from Asia to the United States / J. Payman, C.L. Robert // Transportation Research Part E. – Vol. 47. – 2011. – P. 593-608.
9. Kitazume K. Case Study: Multiple Objective Analysis of Intermodal Freight Transportation Routes for REI's Inbound Logistics: Master Thesis of Environmental Management and Business Administration / K. Kitazume. – Durham : Nicholas School of the Environment of Duke University, 2012. – 63 p.
10. Лебедева Н.Г. Планирование маршрута доставки груза в смешанном сообщении на основе сетевого графика / Н.Г. Лебедева, С.Н. Митричева // Научные труды Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета. – Вып. 25. – 2012. – С. 1-8.
11. Domuța C. Application for Intermodal Transportation Routing using Bi-objective Time-dependent

- Modified Algorithm / C. Domuța, D. Radu, M. Enache // Acta Electrotehnica: Academic Journal. – Vol. 53, Issue 2. – 2012. – P. 154-159.
12. Логистические транспортно-грузовые системы : учебник для студ. высших учебных заведений / В.И. Апатцев [и др.]; под ред. В.М. Николашина. – М. : Академия, 2003. – 304 с.
 13. Sawadogo M. Sustainable Intermodal Freight by Route Choice with Practicality Constraints / M. Sawadogo, D. Anciaux, D. Roy [Электронный ресурс] // Association for European Transport and Contributors: European Transport Conference, October, 2011. – Glasgow, 2011. – (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00713429/PDF/Sustainable_intermodal_freight_by_route_choice_with_practicality_constraints_etc.pdf).
 14. Губенко В.К. Динамика металлопотоков в ситилогистической среде Приазовья (имплементация методов нечетких множеств и искусственного интеллекта) : монография / В.К. Губенко, Я.И. Нефедова. – Мариуполь : ГВУЗ «ПГУ», 2013. – 245 с.
 15. Построение нечеткой нейросетевой модели информационной системы управления транспортно-логистическим процессом / С.В. Глушков [и др.] // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – Вып. № 6 (22). – 2013. – С. 101-111.
 16. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.

References:

1. Rajković R.Z., Zrnić N.Đ., Kirin S.D., Dragović B.M. A review of multi-objective optimization of container flow using sea and land legs together. *FME Transactions*, 2016, no. 44 (2), pp. 204-211. (Eng.)
2. Infante D., Paletta D., Vocaturo F.A. *Ship-truck Intermodal Transport Problem Maritime Economics & Logistics*, no. 11 (3), 2009, pp. 247-259. (Eng.)
3. Kim H.J., Chang Y.T., Lee P.T.W., Sin S.H., Kim M.J. Optimizing the Transportation of International Container Cargoes in Korea. *Maritime Policy & Management*, 2008, no. 35 (1), pp. 103-122. (Eng.)
4. Newman A.M., Yano C.A. Scheduling Direct and Indirect Trains and Containers in an Intermodal Setting. *Transportation Science*, 2000, no. 34(3), pp. 256-270. (Eng.)
5. Kim N.S., Janic M., Bert V.W. Trade-Off Between Carbon Dioxide Emissions and Logistics Costs Based on Multi-objective Optimization. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2009, no. 2139, pp. 107-116. (Eng.)
6. Han M.M., Guolong L., Bin Y. A Linear Programming Model for Short Sea Shipping and Multi-modal Inland Transportation in Myanmar. *Report and Opinion*, 2011, no. 3 (1), pp. 37-43. (Eng.)
7. Sun Y., Lang M. Bi-objective Optimization for Multi-modal Transportation Routing Planning Problem Based on Pareto Optimality. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2015, no. 8 (4), pp. 1195-1217. (Eng.)
8. Payman J., Robert C.L. Long- and Short-Run supply-chain optimization models for the allocation and congestion management of containerized imports from Asia to the United States. *Transportation Research Part E*, 2011, no. 47, pp. 593-608. (Eng.)
9. Kitazume K. Case Study: Multiple Objective Analysis of Intermodal Freight Transportation Routes for REI's Inbound Logistics. Master Thesis of Environmental Management and Business Administration. Durham, Nicholas School of the Environment of Duke University Publ., 2012, 63 p. (Eng.)
10. Lebedeva N.G., Mitricheva S.N. Planirovanie marshruta dostavki gruzu v smeshannom soobshchenii na osnove setevogo grafika [Multimodal cargo delivery route planning based on network schedule]. *Nauchnyie trudyi Dalnevostochnogo gosudarstvennogo tehnikeskogo rybohozyaystvennogo universiteta – Scientific Works of Far Eastern State Technical Fisheries University*, 2012, no. 25, pp.1-8. (Rus.)
11. Domuța C., Radu D. Application for Intermodal Transportation Routing using Bi-objective Time-dependent Modified Algorithm. *Acta Electrotehnica: Academic Journal*, 2012, no. 53 (2), pp. 154-159. (Eng.)
12. Apattsev V.I., Nikolashina V.M. *Logisticheskie transportno-gruzovyye sistemy: uchebnyy dlya*

- studentov vyisshih uchebnyh zavedeniy* [Logistic transport-cargo systems: a textbook for students of higher educational institutions]. Moscow, Academy Publ., 2003. 304 p. (Rus.)
13. Sawadogo M., Didier A., Roy D. Sustainable Intermodal Freight by Route Choice with Practicality Constraints. *Association for European Transport and Contributors: European Transport Conference*, Glasgow, 2011, 21 p. Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00713429/PDF/Sustainable_intermodal_freight_by_route_choice_with_practicality_constraints_etc.pdf. (Accessed October 2011). (Eng.)
 14. Gubenko V.K., Nefedova Ya.I. *Dinamika metalopotokov v sitilogisticheskoy srede Priazovya (implementatsiya metodov nechetkih mnozhestv i iskusstvennogo intellekta): monografiya* [Dynamics of metal flows in the city logistics environment of the Azov Sea region (implementation of fuzzy sets and artificial intelligence methods): monograph]. Mariupol, SHIE «PSTU» Publ., 2013. 245 p. (Rus.)
 15. Glushkov S.V., Levchenko N.G., Pochesueva Yu.Yu., Konkov E.M. Postroenie nechetkoy neyrosetevoy modeli informatsionnoy sistemyi upravleniya transportno-logisticheskim protsessom [Construction of fuzzy neural network model of information management system of transport and logistics process]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S.O. Makarova – Bulletin of the State University of Marine and River Fleet of Admiral S.O. Makarov*, 2013, no. 6 (22), pp. 101-111. (Rus.)
 16. Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB* [Fuzzy systems design in MATLAB]. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom Publ., 2007. 288 p. (Rus.)

Рецензент: В.К. Губенко
д-р техн. наук, проф., ГБУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 11.04.2017