

Сравнительный анализ методов решения транспортных задач при оптимальном планировании перевозочного процесса

О. А. Лебедева¹, В. Е. Гозбенко^{1,2}✉, А. А. Пыхалов², Ю. Ф. Мухопад²

¹ Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

² Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ vgozbenko@yandex.ru

Резюме

Транспортное моделирование связано с оптимизацией (поиском наилучшего из возможных решений) транспортной сети. Данное исследование направлено на полное удовлетворение грузового спроса в рамках ограничений производственных мощностей при минимально возможных затратах. Рассмотрена постановка задачи транспортной модели относительно критериев оптимизации (стоимости, времени). Приведены основные алгоритмы, позволяющие находить базовые решения методами Фогеля, северо-западного угла, наименьшей стоимости, двойного предпочтения, а также методом потенциалов и распределительным методом поиска оптимального решения. Представлены базовые алгоритмы поиска начального пути. По результатам тестирования наименьшие транспортные затраты показал метод Фогеля, который считается наиболее трудозатратным, но план перевозок, построенный этим способом, часто близок или является оптимальным. С помощью протестированных методов построения первоначального плана можно получить опорный план. Для поиска оптимального решения применялись распределительный метод и метод потенциалов. Результаты тестирования показали, что оба метода при нахождении оптимального решения дали одинаковые значения. В результате можно сделать вывод, что при решении транспортных задач могут применяться различные методы линейного программирования, но результативность их будет зависеть от таких факторов, как особенности перевозок, ограничения, используемая целевая функция и др. Тестирование методов транспортного планирования позволяет найти оптимальное решение путем применения итеративного процесса. Это значительно снижает сложность и трудозатраты на проведение расчетов и допускает применение методов оптимизации при моделировании транспортной сети и транспортном планировании.

Ключевые слова

транспортное планирование, оптимизация, метод северо-западного угла, метод наименьшей стоимости, метод Фогеля, метод двойного предпочтения

Для цитирования

Лебедева О. А. Сравнительный анализ методов решения транспортных задач при оптимальном планировании перевозочного процесса / О. А. Лебедева, В. Е. Гозбенко, А. А. Пыхалов, Ю. Ф. Мухопад // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 3(67). – С. 134–139. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.3(67).134-139

Информация о статье

поступила в редакцию: 02.08.2020, поступила после рецензирования: 31.08.2020, принята к публикации: 02.09.2020

Comparative analysis of methods for solving transport problems with optimal planning of the transportation process

O. A. Lebedeva¹, V. E. Gozbenko^{1,2}✉, A. A. Pykhalov², Yu. F. Mukhopad²

¹ Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

² Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ vgozbenko@yandex.ru

Abstract

Transport modeling is associated with the optimization (finding the best possible solution) of the transportation network. This research aims to fully satisfy the freight demand within the limits of production capacity at the lowest possible cost. It considers the statement of the problem of the transport model with respect to optimization criteria (cost, time). The main algorithms are presented that allow finding basic solutions using Vogel's methods, methods of northwest corner, least cost, double preference, as well as the potential method and the distribution method for finding the optimal solution. Basic algorithms for finding the initial path are presented. According to the test results, the lowest transport costs were shown by the Vogel's method, which is considered the most labor-intensive, but the transportation plan constructed using this method is often close to or is optimal. Using tested methods for constructing an initial plan, a basic plan can be obtained. The distribution method and the potential method were used to find the optimal solution. Testing has shown that both the potential method and the distribution method gave the same values when finding the optimal solution, regardless of the initial solution method. As a result, we can conclude that it is possible to apply various methods of linear programming when solving transport problems, but their effectiveness will depend on many factors, such as the characteristics of transportation, restrictions, the used objective function and others. Testing transport

planning methods makes it possible to find the optimal solution by applying an iterative process. This significantly reduces the complexity and labor costs of calculations, and assumes the use of optimization methods in modeling the transport network and transport planning.

Keywords

transport planning, optimization, northwest corner method, least cost method, Vogel's method, double preference method.

For citation

Lebedeva O.A., Gozbenko V. E., Pykhalov A. A., Mukhopad Yu. F. Sravnitel'nyi analiz metodov resheniya transportnykh zadach pri optimal'nom planirovanii perevozhnogo protsessa [Comparative analysis of methods for solving transport problems with optimal planning of the transportation process]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 3(67), pp. 134–139. 10.26731/1813-9108.2020.3(67).134-139

Article info

Received: 02.08.2020, Revised: 31.08.2020, Accepted: 02.09.2020

Введение

Задачи оптимизации транспортного процесса относятся к подклассу линейного программирования, цель которых состоит в транспортировке определенного количества однородного продукта из транспортных терминалов (складов) в пункты назначения таким образом, чтобы минимизировать общие транспортные расходы. Транспортное моделирование в первую очередь связано с оптимизацией (поиском наилучшего из возможных решений) транспортной сети [1–6]. Цель транспортного исследования – полное удовлетворение пункта назначения в грузах в рамках ограничений производственных мощностей при минимально возможных затратах. Когда происходит физическое перемещение товаров от места производства к конечным потребителям через различные каналы распределения (оптовые фирмы, розничные продажи, дистрибьюторы), возникает необходимость минимизации затрат на транспортировку для увеличения прибыли [7–9]. Задача направлена на установление потребности в доставке конкретного продукта из точки отправления в точку назначения для удовлетворения общего спроса при сведении затрат на транспортировку к минимуму. Стоимость доставки от точки отправления до точки назначения прямо пропорциональна количеству отгруженных единиц.

Задача сформулирована так, что целевая функция и все ограничения являются линейными.

Исследования методов решения транспортных задач

Решать транспортные задачи в зависимости от имеющихся исходных данных и целей исследования можно несколькими способами: симплексным методом (начальное базовое решение, т. е. с использованием правила северо-западного угла, наименьшей стоимости или приближения), методом минимизации затрат [10, 11].

В 1955 г. был разработан венгерский метод, который представляет собой комбинаторный алгоритм оптимизации. Первоначально этот метод применялся для распределения группы людей по местам приложения труда [12].

В 1980 г. предложено решение задачи распределения жидкого груза в таре с помощью трехэтапной логистической системы. За счет распределения в виде модели целочисленного программирования с целевой функцией минимизации эксплуатационных расходов парка и затрат на доставку с учетом ограничений спроса и предложения, грузоподъемности подвижного состава и учета графика работы водителя [13, 14].

В 1989 г. был представлен алгоритм решения транспортной задачи с использованием метода Гаусса – Джордано, который применялся в симплекс-методе с постоптимальным анализом транспортной задачи [10].

В 1999 г. предложили решение многоцелевой транспортной задачи, в которой стоимостные коэффициенты целевых функций, а также параметры пункта отправления и назначения задаются как интервальные значения. Они преобразовали ограничения с параметрами пунктами отправления и назначения в детерминированные, решив эквивалентно преобразованную задачу методом нечеткого программирования [15].

В 2006 г. была представлена методология для оптимального планирования автомобильных перевозок на дальние расстояния посредством объединения заказов клиентов в перевозки с полной или меньшей загрузкой транспортных средств для минимизации общих транспортных расходов. Было доказано, что методы эволюционных вычислений могут быть эффективны в тактическом планировании транспортной деятельности. Модель показывает, что существенная экономия на общих транспортных расходах может быть достигнута путем применения методологии в реальном жизненном сценарии [16].

В 2010 г. решена задача минимизации затрат времени с нечеткими параметрами. Нечеткое параметрическое программирование использовалось для устранения неточностей, и результирующая многокритериальная проблема была решена с помощью целевого подхода.

В 2013 г. изучена минимизация складских и

транспортных затрат при оптимизации цепочки поставок. Результаты, полученные с помощью моделей транспортировки, показывают, что отдельные стратегии региональных центральных запасов более рентабельны [17].

В 2015 г. проведены исследования касательно оптимизации транспортных расходов на логистических предприятиях с ограничениями «временного окна». В основе исследований лежит модель решения многокритериальной задачи выбора маршрута с мягкими ограничениями временного интервала, которые определяют самое раннее и позднее время прибытия груза. В модели минимизированы общие транспортные расходы, требуемый размер автопарка, что также учитывает заданные ограничения вместимости каждого транспортного средства. Общая стоимость транспортировки состоит из прямых, дополнительных и штрафных затрат. Эта многокритериальная оптимизация решается с помощью модифицированного генетического алгоритма. Результатом работы алгоритма является набор оптимальных решений, которые представляют собой компромисс между общей стоимостью перевозки и размером парка, необходимого для обслуживания клиентов [18].

Модель

Одно из наиболее важных приложений линейного программирования – формулировка и решение транспортной задачи. Рассмотрим задачу определения оптимального графика доставки одного груза между пунктами отправления и назначения.

Цель исследования состоит в определении количества груза, которое должно быть перевезено из пункта отправления i в пункт назначения j для полного удовлетворения спроса с минимальными стоимостными затратами.

Пусть $x_{ij} \geq 0$ – количество груза, перевезенного

из пункта отправления i в пункт назначения j . Рассмотрим общую постановку задачи.

Общая стоимость перевозки

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij},$$

при условии поставки

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_{ij}.$$

Спрос по направлению

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j,$$

$$x_{ij} \geq 0, \text{ для всех } i \text{ и } j.$$

где Z – минимизированные общие транспортные затраты; C_{ij} – затраты на единицу груза от пункта отправления i до пункта назначения j ; X_{ij} – количество единиц груза, перевезенных из пункта отправления i в пункт назначения j ; a_i – «предложение» в пункте отправления i ; b_j – «спрос» в пункте назначения j .

Модель считается сбалансированной, если предложение равно спросу ($\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$). В противном случае модель не сбалансирована ($\sum_{i=1}^m a_i \neq \sum_{j=1}^n b_j$).

Обозначим m – количество строк, n – количество столбцов; ограничения – $m + n$; распределения – $(m + n - 1)$.

Алгоритм расчета модели сводится к следующему:

1. Определение начального базового возможного решения. Чаще всего на этом этапе используется любая из методов северо-западного угла, метод наименьшей стоимости, метод аппроксимации Фогеля для нахождения начального базового решения.

2. Условие оптимальности. Если решение оптимально, итерация останавливается, в противном случае происходит переход к 3 этапу.

3. Поиск оптимального решения. Использование любого метода поиска оптимального решения.

Общепринятая схема представления данных транспортной задачи приведена в табл. 1.

Таблица 1. Массив данных
Table 1. Data array

	D1		D2		D _n		Поставка	
							a _i	
S ₁	C ₁₁	X ₁₁	C ₁₂	X ₁₂	...	C _{1n}	X _{1n}	a ₁
S ₂	C ₂₁		C ₂₂		...	C _{2n}		X _{2n}
....
S _m	C _{m1}	X _{m1}	C _{m2}	X _{m2}	...	C _{mn}	X _{mn}	a _m
Спрос b _j	b ₁		b ₂		...	b _n		Сбалансированная модель $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$

Алгоритмы начального решения

Решение транспортных задач начинается с выбора алгоритма выбора первоначального оптимального плана.

Методы построения оптимального начального плана

Метод северо-западного угла:

1. Выбор ячейки в северо-западном углу транспортной таблицы. В зависимости от спроса и предложения производится распределение груза.

2. Как только потребность удовлетворена, происходит перемещение к следующей ячейке во втором столбце.

3. Если запас для первой строки исчерпан, переходим к первой ячейке во второй строке.

4. Процесс продолжается, пока не будут удовлетворены все значения спроса и предложения.

Метод наименьшей стоимости:

1. Исследование матрицы затрат и выбор ячейки с минимальной стоимостью, а затем в нее происходит максимальное распределение. Если такая ячейка не уникальна, выбирается любая.

2. Вычеркивается удовлетворяющая условиям строка или столбец. Если условие одновременно выполняется в столбце и строке, вычеркивается что одно.

3. Записывается сокращенная транспортная таблица и повторяется процесс с пункта 1 до 2, пока не останется одна строка или столбец.

Метод аппроксимации Фогеля:

1. Для каждой строки и столбца происходит нахождение штрафа, равного разнице затрат в строке или столбце.

2. Происходит поиск строки / столбца с наибольшим штрафом и присвоение максимально возможного значения переменной, имеющей наименьшую стоимость доставки в этой строке или столбце.

3. При удовлетворении условию – строка или столбец вычеркиваются.

4. Поиск новых штрафов происходит до момента пока останется одна строка или столбец.

Метод двойного предпочтения:

1. Выбор ячейки с наименьшей стоимостью в каждой строке и столбце.

2. В выбранные на первом этапе ячейки помещают максимальные объемы перевозок.

3. Распределение загрузки по ячейкам с минимальной стоимостью. В оставшейся части таблицы перевозки распределяют по наименьшей стоимости.

Проведем тестирование вышеприведенных способов на матрицах разной размерности.

Ниже приведена матрица затрат размерностью 3×4 (табл. 2). Решение проводилось для матриц разной размерности (3×4; 3×5; 3×6).

Таблица 2. Матрица затрат**Table 2.** Cost matrix

		Пункт назначения				Предложение
		Г	Д	Е	Ж	
Пункт отправления	А	17	20	18	5	130
	Б	30	35	10	6	70
	В	34	35	21	14	50
Спрос		70	40	30	150	250

По итогам тестирования начальных решений разными методами наименьшие транспортные затраты были достигнуты при применении метода Фогеля (табл. 3).

Таблица 3. Результаты начального решения с применением различных способов**Table 3.** Results of the initial solution using different methods

№ п/п	Размерность	1	2	3	4
1	3×4	3 330	3 670	4 130	4 130
2	3×5	3 150	3 510	4 250	4 250
3	3×6	3 110	3 410	4 150	4 150

Примечание. 1 – метод Фогеля; 2 – метод северо-западного угла; 3 – метод наименьшей стоимости; 4 – метод двойного предпочтения.

Получив первоначальные решения, проведем тестирование на примере метода потенциалов и распределительного метода (табл. 4).

Таблица 4. Результаты оптимального решения с применением метода потенциалов и распределительного метода**Table 4.** Results of the optimal solution using the potential method and distribution method

№ п/п	Размерность	1	2	3	4
1	3×4	3 330	3 330	3 330	3 330
2	3×5	3 150	3 150	3 150	3 150
3	3×6	3 110	3 110	3 110	3 110

Результаты тестирования показали, что и метод потенциалов, и распределительный метод дали одни и те же значения при нахождении оптимального решения (см. табл. 4) вне зависимости от метода начального решения.

Заключение

Для нахождения начального решения транспорт-

ной задачи были использованы метод Фогеля, северо-западного угла, метод наименьшей стоимости и двойного предпочтения. В результате проведенных расчетов метод Фогеля, который считается наиболее сложным в практическом применении, дал оптимальные результаты.

Применив протестированные методы построения первоначального плана, можно получить опорный план. Для поиска оптимального решения применялся распределительный метод и метод потенциалов. Недостатком распределительного метода является необходимость построения циклов пересчета в те-

чение всего итеративного процесса, что при больших размерах матрицы оказывается трудоемким.

В результате можно сделать вывод, что процесс планирования и распределения грузовых потоков относительно известного спроса и предложения возможно производить посредством линейного программирования.

Транспортное планирование с применением итеративного процесса позволяет найти оптимальное решение в зависимости от поставленного критерия (максимизация прибыли или минимизация затрат), что значительно снизит сложность и трудоемкость работ.

Список литературы

1. Лебедева О.А., Крипак М.Н. Моделирование грузовых перевозок в транспортной сети // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2016. № 10. С. 182–184.
2. Лебедева О.А., Крипак М.Н. Развитие городских грузовых систем с учетом концепции городского планирования / Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2016. Т. 1. № 1. С. 244–247.
3. Лебедева О.А. Применение интеллектуальных транспортных систем в области управления грузовыми перевозками // Развитие теории и практики автомобильных перевозок, транспортной логистики. сборник научных трудов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» в рамках Международной научно-практической конференции. Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). 2016. С. 102–107.
4. Полтавская Ю.О. Применение геоинформационных систем для обеспечения устойчивого развития транспортной системы города // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов VI Международной научной конференции / под ред. О.Г. Берестневой, В.В. Спицына, А.И. Труфанов, Т.А. Гладковой. 2019. С. 164–167.
5. Полтавская Ю.О. Оптимизация транспортной сети на основе минимума общих затрат на доставку грузов // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. № 13. С. 178–183.
6. Шаров М.И., Михайлов А.Ю., Дученкова А.В. Пример оценки транспортной доступности с использованием программного продукта PTV «VISUM» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2013. № 1(4). С. 133–138.
7. Гозбенко В.Е. Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажиро- и грузопотоков / В.Е. Гозбенко., А.Н. Иванков, М.Н. Колесник, А.С. Пашкова. Депонированная рукопись № 330-B2008 17.04.2008.
8. Гозбенко В.Е., Крипак М.Н., Иванков А.Н. Совершенствование транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2011. 176 с.
9. Lebedeva O., Kripak M., Gozbenko V. Increasing effectiveness of the transportation network through by using the automation of a Voronoi diagram. Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. Pp. 427–433.
10. Soomro A.S. A comparative study of initial basic feasible solution methods for transportation problems, Mathematical Theory and Modeling. 2014. Vol. 4. No. 1. Pp. 11–18.
11. Charnes A., Cooper W.W. The stepping stone method for explaining linear programming calculations in transportation problem. Management sciences. 1954. No. 1(1). Pp. 49–69.
12. Kuhn H.W. The Hungarian method for the assignment problem. Naval research logistics quarterly. Kuhn's original publication 2, 1955. Pp. 83–97.
13. Tony J. Van Roy, Ludo F., Gelder Solving a distribution problem with side constraints. Department of industrial management, Katholieke University, Leuvan, Belgium. 1980.
14. Tzeng G.H., Teodorovic D. Hwang M.J. Fuzzy bi criteria multi-index transportation problems for coal allocation planning of Taipower. European journal of operational research. 1996. No. 95. Pp. 62–72.
15. Das S.K., Goswami A., Alam S.S. European journal of operational research: multi-objective transportation problem with interval cost, source and destination parameter. Department of mathematics, Indian institute of technology, Kharagpur, India. 1999. Vol. 117. Iss. 1. Pp. 100–112.
16. Caputo A.C. The genetic approach for freight transportation planning, industrial management and data system. 2006. Vol. 106. No. 5. Pp. 719–738.
17. Dhakry N.S., Bangar A. Minimization of Inventory and Transportation Cost of an Industry – A Supply Chain Optimization. Nonihal Singh Dhakry et al. Int. Journal of Engineering Research and Applications. Sep. – Oct. 2013. Vol. 3. Iss. 5. Pp. 96–101.
18. Yan Q., Zhang Q. The Optimization of Transportation Costs in Logistics Enterprises with Time-Window Constraints. Hindawi Publishing Corporation Discrete Dynamics in Nature and Society Volume 2015, Article ID 365367, 10 p.

References

1. Lebedeva O.A., Kripak M.N. Modelirovanie gruzovykh perevozok v transportnoi seti [Modeling of freight traffic in the transport network]. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of AnSTU]*, 2016. No. 10. Pp. 182–184.
2. Lebedeva O.A., Kripak M.N. Razvitie gorodskikh gruzovykh sistem s uchetom kontseptsii gorodskogo planirovaniya [Development of urban cargo systems taking into account urban planning]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Scientific papers collection of the Angarsk State Technical University]*, 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 244–247.

3. Lebedeva O.A. Primenenie intellektual'nykh transportnykh sistem v oblasti upravleniya gruzovymi perevozkami [Application of intelligent transport systems in the field of freight traffic management]. *Razvitie teorii i praktiki avtomobil'nykh perevozok, transportnoi logistiki. Sbornik nauchnykh trudov kafedry «Organizatsiya perevozok i upravlenie na transporte» v ramkakh Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Sibirskaya gosudarstvennaya avtomobil'no-dorozhnaya akademiya (SibADI) [Development of the theory and practice of road transport, transport logistics. collection of scientific papers of the department "Organization of transportation and management of transport" in the framework of the scientific and practical conference. Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI)], 2016. Pp. 102–107.*
4. Poltavskaya Yu.O. Primenenie geoinformatsionnykh sistem dlya obespecheniya ustoichivogo razvitiya transportnoi sistemy goroda [Application of geographic information systems to ensure sustainable development of the city's transport system]. *Informatsionnye tekhnologii v nauke, upravlenii, sotsial'noi sfere i meditsine: sbornik nauchnykh trudov VI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii [Information technologies in the field of medicine and social sphere: collection of scientific papers of the VI scientific conference]*. In Berestneva O.G., Spitsyn V.V., Trufanov A.I., Gladkova T.A. (eds.), 2019. Pp. 164–167.
5. Poltavskaya Yu.O. Optimizatsiya transportnoi seti na osnove minimuma obshchikh zatrat na dostavku gruzov [Optimization of the transport network based on the minimum total costs for the cargo delivery]. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of AnSTU]*, 2019. No. 13. Pp. 178–183.
6. Sharov M.I., Mikhailov A.Yu., Duchenkova A.V. Primer otsenki transportnoi dostupnosti s ispol'zovaniem programmnogo produkta PTV «VISUM» [An example of assessing transport accessibility using the VISUM PTV product]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' [Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate]*, 2013. No. 1(4). Pp. 133–138.
7. Gozbenko V.E., Ivankov A.N., Kolesnik M.N., Pashkova A.S. Metody prognozirovaniya i optimizatsii transportnoi seti s uchetom moshchnosti passazhiro- i gruzopotokov. Deponirovannaya rukopis' No. 330-V2008 17.04.2008 [Methods of forecasting and optimization of the transport network taking into account passenger and cargo flows. Deposited manuscript No. 330-B2008 17.04.2008].
8. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Ivankov A.N. Sovershenstvovanie transportno-ekspeditsionnogo obsluzhivaniya gruzovladel'tsev [Improvement of freight forwarding services for cargo owners]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2011. 176 p.
9. Lebedeva O., Kripak M., Gozbenko V. Increasing effectiveness of the transportation network through by using the automation of a Voronoi diagram. *Transportation Research Procedia*, 2018. Vol. 36. Pp. 427–433.
10. Soomro A.S. A comparative study of initial basic feasible solution methods for transportation problems. *Mathematical Theory and Modeling*, 2014. Vol. 4. No. 1. Pp. 11–18.
11. Charnes A., Cooper W.W. The stepping stone method for explaining linear programming calculations in transportation problem. *Management sciences*, 1954. No. 1(1). Pp. 49–69.
12. Kuhn H.W. The Hungarian method for the assignment problem. *Naval research logistics quarterly*. Kuhn's original publication 2, 1955. Pp. 83–97.
13. Tony J. Van Roy, Ludo F., Gelder Solving a distribution problem with side constraints. Department of industrial management, Katholieke University, Leuvan, Belgium. 1980.
14. Tzeng G.H., Teodorovic D. Hwang M.J. Fuzzy bi criteria multi-index transportation problems for coal allocation planning of Taipower. *European journal of operational research*. 1996. No. 95. Pp. 62–72.
15. Das S.K., Goswami A., Alam S.S. European journal of operational research: multi-objective transportation problem with interval cost, source and destination parameter. Department of mathematics, Indian institute of technology, Kharagpur, India. 1999. Vol. 117. Iss. 1. Pp. 100–112.
16. Caputo A.C. The genetic approach for freight transportation planning, industrial management and data system. 2006. Vol. 106. No. 5. Pp. 719–738.
17. Dhakry N.S., Bangar A. Minimization of Inventory and Transportation Cost of an Industry – A Supply Chain Optimization. Nonihal Singh Dhakry et al. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*. Sep. – Oct. 2013. Vol. 3. Iss. 5. Pp. 96–101.
18. Yan Q., Zhang Q. The Optimization of Transportation Costs in Logistics Enterprises with Time-Window Constraints. *Hindawi Publishing Corporation Discrete Dynamics in Nature and Society Volume 2015*, Article ID 365367, 10 p.

Информация об авторах

Лебедева Ольга Анатольевна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры управления на автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: kravhome@mail.ru

Гозбенко Валерий Ерофеевич – д-р техн. наук, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Пыхалов Анатолий Александрович – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск. e-mail: rykhalov_aa@mail.ru

Мухопад Юрий Федорович – д. т. н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: muhopad_yuf@irgups.ru

Information about the authors

Ol'ga A. Lebedeva – Ph.D. in Engineering Sciences, Assoc. Prof., Assoc. Prof. at the Subdepartment of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: kravhome@mail.ru

Valerii E. Gozbenko – Doctor of Engineering Sciences, Prof., Prof. at the Professor, Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

Pykhalov A. Alexandrovich – Doctor of Engineering Science, Professor, Irkutsk State Transport University, Irkutsk. e-mail: pykhalov_aa@mail.ru

Yuri F. Mukhopad – Irkutsk State Transport University, Dr. Tech. Sc., professor, Irkutsk, e-mail: muhopad_yuf@irgups.ru