

materialy XI mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii [Multitransport systems: materials of the XI international scientific and technical conference]. Novosibirsk: SGUPS Publ., 2020. Pp. 276–280.

9. Anardovich S.S., Rush E.A. Otsenka ushcherbov ot chrezvychainykh situatsii tekhnogenno kharaktera na zheleznodorozhnom transporte [Risk assessment methods and forecasting emergency development scenarios for railway transportation]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2020. Vol. 66. No. 2. Pp. 121–128.

10. ISO/IEC Guide 51:2014 Safety Aspect – Guidelines for their inclusion in standards [Electronic media]. URL: <https://www.era.europa.eu/> Accessed: November 02, 2020.

11. Directive (EU) 2016/798 on railway safety [Electronic media]. URL: <https://www.era.europa.eu/> Accessed: October 30, 2020.

12. Common safety method for risk evaluation and assessment (CSM-RA) [Electronic media]. URL: <https://www.era.europa.eu/> Accessed: October 30, 2020.

13. Leitner B. A general model for railway systems risk assessment with the use of railway accident scenarios analysis. 10th International Scientific Conference Transbaltica 2017: Transportation Science and Technology. ScienceDirect. *Procedia Engineering* 187. 2017. Pp. 150–159.

14. Dvořák Z., Čížlák M., Leitner B., Soušek R., Sventeková E. Risk management in railway transport (in Slovak). Monograph. Pardubice: Institute of Jan Perner. 2010. 283 p.

15. Safety Assurance Guidance [Electronic media]. URL: <http://www.rssb.co.uk/Library/improving-industry-performance/2013-guidance-safetyassurance-guide.pdf>.

16. Safety Management Systems [Electronic media]. URL: <http://www.rssb.co.uk/improving-industry-performance/safety-management-systems>.

17. Kim M.S., Wang J.B., Park Ch.W., Cho Y.O. Development of the risk assessment model for railway level-crossing accidents by using the ETA and FTA. *Journal of the Korean Society for Railway*, 2009. 12(6). Pp. 936–943.

18. Novotný P., Markuci J., Titko M., Slivková S., Řehák D. Practical application of a model for assessing the criticality of railway infrastructure elements. *Proceedings of scientific works, VŠB – Technical university Ostrava*, 2015. Pp. 26–32.

Информация об авторах

Киселёва Ольга Геннадьевна – канд. техн. наук, ассоциированный профессор кафедры организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, e-mail: kisaolya.77@mail.ru

Альтаева Жанара Жаксыбаевна – канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, e-mail: zh.altava79@mail.ru

Кунебаев Адилет Джамбулулы – магистрант по образовательной программе «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, e-mail: adilet_97.kz@bk.ru

Information about the authors

Ol'ga G. Kiseleva – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Organization of Transportation, Traffic and Transport Operation, Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications, Almaty, e-mail: kisaolya.77@mail.ru

Zhanara Zh. Al'taeva – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Subdepartment of Organization of Transportation, Traffic and Transport Operation, Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications, Almaty, e-mail: zh.altava79@mail.ru

Adilet D. Kunebaev – Master's student in the education program “Organization of Transportation, Traffic and Transport Operation”, Tynyshpaev Kazakh Academy of Transport and Communications, Almaty, e-mail: adilet_97.kz@bk.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.4(68).183-189

УДК 656.2

Сравнительный анализ методов решения транспортных задач при оптимальном планировании перевозочного процесса

О. А. Лебедева¹, В. Е. Гозбенко^{1,2}✉

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

²Иркутский 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. Используются также метод потенциалов и распределительный метод для поиска оптимального решения. Представлены базовые алгоритмы поиска начального пути. По результатам тестирования наименьшие транспортные затраты показал метод Фогеля, который считается наиболее трудоемким, однако начальный план перевозок, построенный с его использованием, 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, они при тестировании дали одни и те же значения при нахождении оптимального решения, в независимости от метода начального решения. В результате можно сделать вывод, что транспортные задачи могут успешно решаться методами линейного программирования, которые в настоящее время являются наиболее разработанными, по сравнению с другими методами, используемыми при решении задач оптимального планирования. Разработка математических методов планирования позволит найти решение не путем перебора и сравнения на оптимальность всех возможных вариантов, а путем применения математических действий, которые рядом последовательных приближений (итераций) приводят к окончательному оптимальному решению. Это значительно сокращает трудоемкость расчетов и дает возможность использовать их решение для планирования.

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 решение транспортных задач при оптимальном планировании перевозочного процесса / О. А. Лебедева, В. Е. Гозбенко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 183–189. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).183-189

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 of solving transport problems with optimal planning of the transportation process

О. А. Lebedeva¹, V. E. Gozbenko^{1,2}✉

¹ Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

² Irkutsk State University of Transport, 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. The potential method and the distribution method are also used to find the optimal solution. Basic algorithms for finding the initial path are presented. According to the test results, the lowest transport costs were shown by Vogel's method, which is considered the most labor-intensive, but the initial transportation plan built with its use is often close or 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. During the testing they yielded the same values when finding the optimal solution, regardless of the initial solution method. As a result, it can be concluded that transport problems can be successfully solved by linear programming methods, which are currently the most developed ones in comparison with other methods used to solve optimal planning problems. The development of mathematical planning methods will allow finding solutions not by enumerating and comparing all possible options for the optimality, but by applying mathematical actions that, by a series of successive approximations (iterations), lead to the final optimal solution. This significantly reduces the complexity of calculations and makes it possible to use their solution for 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. Strategicheskoe planirovanie gruzopotokov na osnove modeli raspredeleniya produktov [The comparative analysis of methods of solution of transportation problems with optimal planning of the transportation process]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 4 (68), pp. 183–189. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).183-189

Article info

Received: 02.08.2020, Revised: 31.08.2020, Accepted: 02.09.2020

Введение

Задачи оптимизации транспортного процесса относят к подклассу линейного программирования, цель которых состоит в транспортировке опреде-

ленного количества однородного продукта из транспортных терминалов (складов) в пункты назначения таким образом, чтобы минимизировать общие транспортные расходы. Транспортное моделирова-

ние 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 минимизировать затраты 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 к минимуму затрат на транспортировку. Стоимость доставки от точки отправления до точки назначения прямо пропорциональна количеству отгруженных единиц.

Задача сформулирована так, что целевая функция и все ограничения являются линейными. Одним из возможных вариантов решения может быть метод оптимизации.

Исследования методов решения транспортных задач

Решение транспортных задач в зависимости от имеющихся исходных данных и целей исследования возможно производить несколькими способами: симплексным методом (начальное базовое решение – 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 и решает задачу о назначении за полиномиальное время. 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. Было смоделировано распределение в виде модели целочисленного программирования с целевой функцией минимизации эксплуатационных расходов парка и затрат на доставку с учетом ограничений спроса и предложения, ограничений 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 ин-

тервальные 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 сценарии жизни [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 соответственно более рентабельны [17].

В 2015 г. проведены исследования касательно оптимизации транспортных расходов на логистических предприятиях с ограничениями «временного окна». В основе исследований заложена 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 единиц груза, которые должны быть отправлены из пункта i в пункт назначения j , чтобы общий спрос в пунктах назначения был полностью удовлетворен, а стоимость транспортировки была минимальной.

Пусть $x_{ij} \geq 0$ будет количеством, отправленным из пункта i в пункт j . Математическая постановка 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

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

$x_{ij} \geq 0$, для всех i и j ,

где Z – общие транспортные расходы должны быть минимизированы; C_{ij} – стоимость транспортировки единицы груза от каждого пункта i до пункта назначения j ; X_{ij} – количество единиц груза, отправленных из пункта i в пункт назначения j ; a_i – уровень предложения в каждом пункте отправления i ; b_j – уровень спроса в каждом пункте назначения j .

Транспортная модель сбалансирована, если поставка ($\sum_{i=1}^m a_i$) равна спросу ($\sum_{j=1}^n b_j$). В противном случае не сбалансирована, если ($\sum_{i=1}^m a_i$) не равна спросу ($\sum_{j=1}^n b_j$).

Общее количество переменных m, n . Общее количество ограничений равно $m + n$, в то время как общее количество распределений ($m + n - 1$) должно быть в допустимом решении. Здесь m – количество строк, а n – количество столбцов.

Общая процедура расчета транспортной модели сводится к следующим этапам:

1. Определение начального базового возможного решения. Чаще всего на этом этапе используется любой 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 с использованием любого метода.

Таблица 1. Массив данных

Table 1. Data array

	D1		D2..... D _n		Поставка			
S ₁	C ₁₁	X ₁₁	C ₁₂	X ₁₂	...	C _{1n}	X _{1n}	a ₁
S ₂	C ₂₁	X ₂₁	C ₂₂	X ₂₂	...	C _{2n}	X _{2n}	a ₂
⋮

	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

Рассмотрим существующие алгоритмы построения опорного плана транспортных задач.

1. Метод северо-западного угла.

1.1. Выбирается ячейка северо-западного (верхнего левого) угла транспортной таблицы и в соответствии со спросом и предложением распределяются единицы груза.

1.2. Если потребность в первой ячейке удовлетворена, происходит перемещение по горизонтали к следующей ячейке во втором столбце.

1.3. Если запас для первой строки исчерпан, происходит переход к первой ячейке во второй строке.

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

2. Метод наименьшей стоимости.

2.1. Проводится исследование матрицы затрат и выбирается ячейка с минимальной стоимостью, а затем в нее происходит максимальное распределение. Если такая ячейка не уникальна, произвольно выбирается любая.

2.2. Вычеркивается удовлетворяющие условие строка или столбец. Если условие одновременно выполняется в столбце и строке, вычеркивается что-то одно.

2.3. Записывается сокращенная транспортная таблица и повторяется процесс с пункта 2.1 до пункта 2.2, пока не останется одна строка или один столбец.

3. Метод аппроксимации Фогеля.

3.1. Вычисляется штраф для каждой строки и столбца. Штраф будет равен разнице между двумя наименьшими затратами на доставку в строке или столбце.

3.2. Определяется строка или столбец с наибольшим штрафом и присваивается максимально возможное значение переменной, имеющей наименьшую стоимость доставки в этой строке или столбце.

3.3. Вычеркивается удовлетворяющая условие строка или столбец.

3.4. Вычисляются новые штрафы, пока не останется одна строка или столбец.

4. Метод двойного предпочтения.

4.1. В каждом столбце выбирается клетка с наименьшей стоимостью. Затем то же проделывают в каждой строке. В таких клетках находится минимальная стоимость, как по столбцу, так и по строке.

4.2. В эти клетки помещают максимально возмож-

ные объемы перевозок, каждый раз исключаются из рассмотрения соответствующие столбцы или строки.

4.3. Затем распределяются перевозки по ячейкам с минимальной стоимостью. В оставшейся части таблицы перевозки распределяют по наименьшей стоимости.

Проведем тестирование приведенных способов на матрицах разной размерности. Далее приведена матрица затрат размерностью 3×4 (табл. 2). Решение проводилась 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.

Результаты тестирования показали, что и метод потенциалов, и распределительный метод дали одни и те же значения при нахождении оптимального

решения (табл. 4) вне зависимости от метода начального решения.

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

Заключение

Для нахождения начального базового решения транспортной задачи использовались метод Фогеля, метод северо-западного угла, метод наименьшей стоимости и метод двойного предпочтения. По результатам тестирования наименьшие транспортные затраты показал метод Фогеля, который считается наиболее трудоемким, однако начальный план перевозок, построенный с его использованием, часто близок к оптимальному или является таковым.

С помощью протестированных методов построения первоначального плана можно получить опорный план. Для поиска оптимального решения применялись распределительный метод и метод потенциалов. Важно отметить, что алгоритм распределительного метода является не лучшим методом решения транспортных задач, так как на каждой итерации для проверки опорного плана на оптимальность приходилось строить $[mn - (m + n - 1)]$ циклов пересчета, что при больших размерах матрицы оказывается трудозатратным.

В результате можно сделать вывод, что транспортные задачи могут успешно решаться методами линейного программирования, которые в настоящее время являются наиболее разработанными по сравнению с другими методами, используемыми при решении задач оптимального планирования.

Разработка математических методов планирования позволит найти решения не путем перебора и сравнения на оптимальность всех возможных вариантов, а путем применения математических действий, которые рядом последовательных приближений (итераций) приводят к окончательному оптимальному решению. Это значительно сокращает трудоемкость расчетов и дает возможность использовать их решение для планирования.

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. Полтавская Ю.О. Методика оценки качества обслуживания пассажиров в сфере общественного транспорта // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2019. Т. 1, № 16. С. 184–187.
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 РТВ «VISUM» // Изв. 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-V2008 17.04.2008.
8. Гозбенко В.Е., Крипак М.Н., Иванков А.Н. Совершенствование транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев. Иркутск, 2011.
9. Lebedeva O.A., Kripak M.N., Gozbenko V.E. 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. Abdul Sattar Soomro 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* 95, 1996. 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*, 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, 2015. 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. Poltavskaya Yu.O. Metodika otsenki kachestva obsluzhivaniya passazhirov v sfere obshchestvennogo transporta [The methodology of assessing the quality of passenger service in the field of public transport]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Scientific papers collection of the Angarsk State Technical University], 2019. Vol. 1, No. 16. Pp. 184–187.
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 programmnoogo produkta РТВ «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 forecast-

ing 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

Information about the authors

Ol'ga A. Lebedeva – Ph.D. in Engineering Science, 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, Professor, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: vgozbenko@yandex.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2020.4(68).189-195

УДК 656.2

Модернизированная силовая схема управления мотор-вентиляторами тепловоза серии 2ТЭ116УМ

Н. П. Асташков✉, **В. А. Оленцевич**, **Ю. И. Белоголов**

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

✉ astashkovnp@yandex.ru

Резюме

Основные задачи железнодорожной отрасли ориентированы на снижение затрат, связанных с эксплуатацией и ремонтом технологического оборудования, решение которых возможно за счет разработки технических средств, оптимально учитывающих природно-климатические, географические и технические условия эксплуатации. В данных условиях эксплуатации развитие локомотивной тяги предусматривает модернизацию существующего парка тягового подвижного состава, совершенствование выпускаемых локомотивов, разработку концептуально новой платформы линеек инновационных локомотивов, замену оборудования на более надежное и современное. На основании отчетов и статистических данных показателей работы локомотивного ремонтного депо Улан-Баторской железной дороги авторами выполнен анализ надежности эксплуатации тепловозов серии 2ТЭ116УМ, ввиду их большего процентного отношения к другим сериям локомотивов эксплуатируемого инвентарного парка дороги. Выявлено, что на долю повреждений электрической части электродвигателей приходится более 70 % от общего количества неисправностей. Разработка технического решения, использование которого позволит минимизировать количество отказов вспомогательных машин и оборудования тепловоза данной серии, является целью представленной статьи, для реализации которой рассмотрены основные конструктивные особенности электродвигателей, схема их подключения и наличие элементов защиты для определения «слабых» мест и обоснования предложенного технического решения.