

УДК 004.94

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ MS EXCEL ДЛЯ РЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Нюркина Э. Е.

Волжский государственный университет водного транспорта, Россия, Нижний Новгород

Статья поступила 21.05.2025, принята к публикации 30.06.2025. Опубликована онлайн.

Аннотация. В статье описываются возможные способы применения методов определения оптимальных логистических маршрутов движения транспортных средств в условиях совмещения многих пунктов отправления и назначения с последовательным охватом нескольких промежуточных пунктов. Повышенный интерес к проблеме нахождения кратчайших маршрутов объясняется тем, что эта задача является одним из этапов решения большинства проблем, связанных с грузоперевозками. При этом результат решения задачи напрямую влияет как на сроки доставки грузов, так и на общую эффективность деятельности транспортного предприятия. Для решения задач подобного рода используются различные алгоритмы.

Алгоритм Дейкстры находит применение в случаях определения кратчайшего пути между начальными и конечными точками как при программировании автоматизации подготовки и формирования исходных данных, так и при маршрутизации перевозок, а алгоритм Литтла используют для определения кругового маршрута. Универсальным инструментом для подобных расчетов является MS Excel, который предлагается использовать для решения задач оптимизации.

Ключевые слова: оптимизация, минимальные затраты, транспорт, логистика, кратчайший маршрут, методы, алгоритмы, программирование

THE USE OF MS EXCEL TOOLS FOR SOLVING VARIOUS PRODUCTION TASKS OF TRANSPORT ENTERPRISES USING OPTIMIZATION ELEMENTS

Niurkina E. E.

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article describes possible ways to apply methods for determining optimal logistics routes for vehicles in conditions of combining many points of origin and destination with sequential coverage of several intermediate points. The increased interest in the problem of finding the shortest routes is explained by the fact that this task is one of the stages in solving most problems related to cargo transportation. At the same time, the result of solving the problem directly affects both the delivery time of goods and the overall efficiency of the transport company. Various

algorithms are used to solve problems of this kind. Dijkstra's algorithm is used in cases of determining the shortest path between start and end points both in programming automation of preparation and generation of initial data, and in routing transportation, and Little's algorithm is used to determine a circular route. A universal tool for such calculations is MS Excel, which is proposed to be used to solve optimization problems.

Keywords: optimization, minimum cost, transport, logistics, shortest route, methods, algorithms, programming

Введение

Для современных условий рынка ведущими условиями определения маршрутов грузоперевозки выступают два фактора, а именно, скорость доставки и экономическая эффективность. Учет этих и иных факторов в решении вопросов логистики может осуществляться с использованием достаточно широкого спектра методов. Существующие методы, применяемые при разработке маршрутов движения транспортных средств, позволяют в той или иной степени вести речь об оптимизации логистических цепочек [1-10].

Наиболее известными из них являются: классические методы, например, «жадные» алгоритмы; алгоритмы на основе графов; различные методы динамического программирования [10]. Однако, стоит отметить, что с развитием цифровизации все большую популярность приобретают методы, в основе которых лежит искусственный интеллект. Примером такого подхода являются генетические алгоритмы [2].

Методы

Потребность в решении задачи поиска кратчайшего маршрута в транспортной логистике появляется постоянно, но часто усложняется дополнительными ограничениями, такими как пробки на дорогах, ограничения по скорости и времени доставки. Поэтому часто приходится выбирать различные алгоритмы и решать одну и ту же задачу несколько раз.

Существует несколько наиболее распространенных алгоритмов, предназначенных для решения задачи поиска кратчайшего маршрута [8]:

- алгоритм Дейкстры – используется для определения кратчайшего пути от одной вершины до всех остальных в графе с неотрицательными весами ребер;
- алгоритм Литгла – используется для решения задачи «коммивояжера» (TSP задачи).

Несмотря на свою теоретическую сложность, TSP задача широко используется в реальном мире:

- логистика и транспорт: оптимизация маршрутов доставки товаров и передвижения транспорта;
- робототехника: планирование передвижений автономных роботов, дронов и производственных механизмов;
- молекулярная биология: анализ последовательностей ДНК;
- производственные процессы: маршрутизация станков и оптимизация производства;
- коммуникационные сети: минимизация затрат на соединение узлов сети.

Целесообразно рассмотреть вышеуказанные алгоритмы для решения задач в области логистики и транспорта.

Результаты

Для решения подобных задач можно рассмотреть возможность применения элементов программирования с помощью языка VBA для серийного расчета параметров рациональных маршрутов доставки в MS Excel или надстройкой «Поиск решения». Это позволит значительно сократить время на формирование исходных данных [7].

Для иллюстративного примера представим результат реализации алгоритма Дейкстры в MS Excel на условном примере, который можно увидеть на рис.1. В качестве исходных данных представлена таблица, которая полностью реализует рисунок, показывающий схематично предполагаемые варианты движения между одиннадцатью пунктами. Их число при данном алгоритме реализации ограничено возможностями MS Excel [4]. Создание и программирование кнопки «Найти маршрут» для автоматизированного нахождения оптимального маршрута позволяет динамически менять число объектов и находить его между различными точками.

По существу, в основе алгоритма Дейкстры лежит «жадный» алгоритм. Мы можем найти кратчайшее расстояние от начальной вершины графа ко всем остальным. Зная эти расстояния, можно построить

кратчайший маршрут между начальной и любыми другими точками. На каждом шаге алгоритм выбирает наименее отдалённую вершину и двигается к ней, затем к следующей — и так, пока не доберётся до цели.

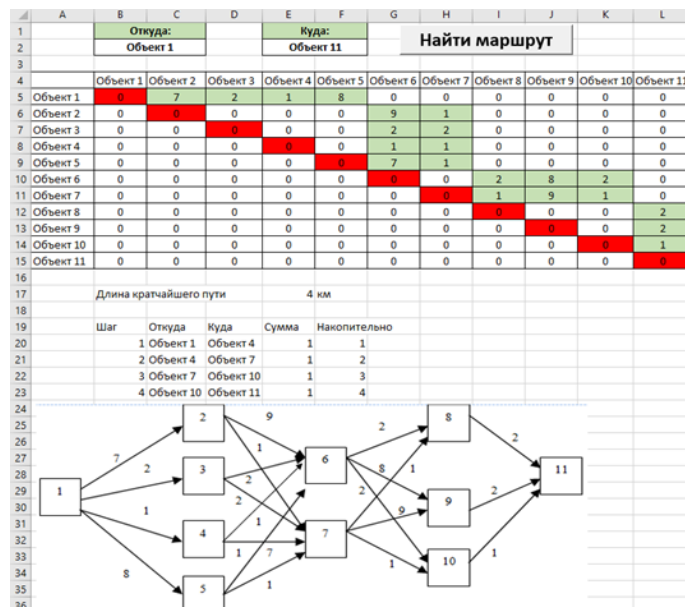


Рисунок 1. Решение задачи нахождения оптимального маршрута алгоритмом Дейкстры с помощью языка VBA в MS Excel (источник: разработано автором)

Этот же пример решим с помощью надстройки «Поиск решения» (заложен симплекс-метод) и увидим, что результат

совпадает (рис.2), хотя алгоритмы решения использованы разные. Получен маршрут 1 → 4 → 7 → 10 → 11 длиной 4 км.

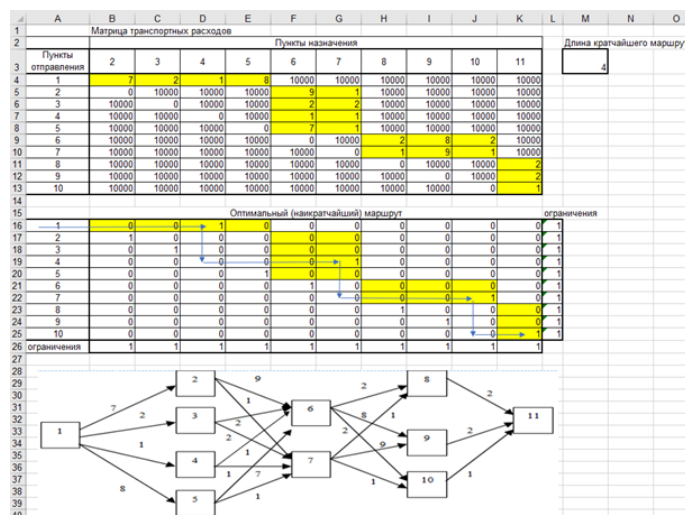


Рисунок 2. Решение задачи нахождения оптимального маршрута надстройкой «Поиск решения» в MS Excel (источник: разработано автором)

Можно попробовать представить исходные данные немного иначе – зададим расстояние между пунктами не в виде матрицы [6], как указано на рис.1 и рис.2, а в

виде наиболее привычной формы таблицы (пункты отправления, пункты назначения), общий вид которой представлен на рис.3.

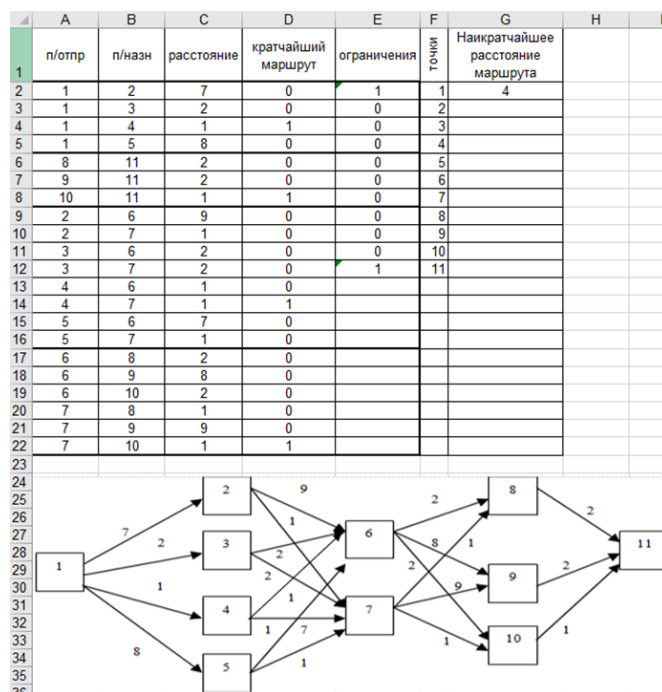


Рисунок 3. Решение задачи нахождения оптимального маршрута надстройкой «Поиск решения» в MS Excel (источник: разработано автором)

В данном случае для успешного решения этой же задачи требуется задать с помощью уравнений, описывающих возможные варианты перехода в каждой точке, которые нужно поместить в столбец Е.

Это выглядит следующим образом:

– из начального пункта необходимо обязательно куда-нибудь выйти:

$$X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} = 1$$

– в конечный пункт обязательно нужно прийти:

$$X_{8\ 11} + X_{9\ 11} + X_{10\ 11} = 1$$

– предложить варианты входа и выхода для промежуточных пунктов (сумма входов минус сумма выходов) согласно рисунку задачи:

$$X_{12} - (X_{26} + X_{27}) = 0$$

$$X_{13} - (X_{36} + X_{37}) = 0$$

$$X_{14} - (X_{46} + X_{47}) = 0$$

$$X_{15} - (X_{56} + X_{57}) = 0$$

$$(X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56}) - (X_{68} + X_{69} + X_{6\ 10}) = 0$$

$$(X_{27} + X_{37} + X_{47} + X_{57}) - (X_{78} + X_{79} + X_{7\ 10}) = 0$$

$$(X_{68} + X_{78}) - (X_{8\ 11}) = 0$$

$$(X_{69} + X_{79}) - (X_{9\ 11}) = 0$$

$$(X_{6\ 10} + X_{7\ 10}) - (X_{10\ 11}) = 0$$

То есть эти три алгоритма дают возможность получать оптимальные значения пути по критерию минимального пробега. Как видим, они дают одинаковое значение функции.

Усложним задачу, приведя ее к постановке TSP задачи. В рассмотренном нами примере мы взяли за основу города Нижегородской области и построили кратчайший маршрут с помощью алгоритма Литтла, получив маршрут 1→2→3→8→6→4→7→5→1 с длиной пути 357 км, правда для этого задачу нужно решать «вручную».

Но в данном алгоритме есть огромное преимущество – им можно решать задачи практически неограниченных размеров.

Реализация этого примера в MS Excel с помощью надстройки «Поиск решения» происходит симплекс-методом, а целочисленное решение получается методом ветвей и границ [9]. Внесем в исходную матрицу расстояния между городами, все ограничения и получим

оптимальный маршрут, представленный на рис.4, имеющий последовательность Нижний Новгород → Богородск → Ворсма → Павлово → Кулебаки → Выкса → Навашино → → Горбатов → Нижний Новгород с длиной пути 357 км. Как видим, результат совпал с алгоритмом Литгла.

Полученный на карте оптимальный маршрут представлен на рис. 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Н.Новгород	Богородск	Ворсма	Выкса	Горбатов	Кулебаки	Навашино	Павлово		
2	Н.Новгород	1000	42	62	169	66	145	150	74		357
3	Богородск	42	1000	20	127	29	103	108	32		
4	Ворсма	62	20	1000	107	22	83	88	13		
5	Выкса	169	127	107	1000	112	26	27	96		
6	Горбатов	66	29	22	112	1000	91	89	20		
7	Кулебаки	145	103	83	26	91	1000	28	74		
8	Навашино	150	108	88	27	89	28	1000	76		
9	Павлово	74	32	13	96	20	74	76	1000		
10											
11		Н.Новгород	Богородск	Ворсма	Выкса	Горбатов	Кулебаки	Навашино	Павлово		
12	Н.Новгород	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
13	Богородск	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
14	Ворсма	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
15	Выкса	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
16	Горбатов	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
17	Кулебаки	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
18	Навашино	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
19	Павлово	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	Переменные		0	1	5	7	4	6	3		
22											
23											
24	u2-ц#8*2		0	7	-5	-7	-4	-6	-3		
25	u3-ц#8*3		1	0	-4	-6	-3	-5	6		
26	u4-ц#8*4		5	4	0	-2	1	7	2		
27	u5-ц#8*5		7	6	2	0	3	1	4		
28	u6-ц#8*6		4	3	7	-3	0	-2	1		
29	u7-ц#8*7		6	5	1	7	2	0	3		
30	u8-ц#8*8		3	2	-2	-4	7	-3	0		
31											

Рисунок 4. Решение TSP задачи надстройкой «Поиск решения» в MS Excel (источник: разработано автором)



Рисунок 5. Отмеченный на карте оптимальный маршрут TSP задачи (источник: разработано автором)

С помощью точечной диаграммы, которую можно увидеть на рис.6, маршрут, который представляет собой последовательность посещения городов, построится

автоматически на базе координат этих городов, полученных в сервисе Яндекс-карты.

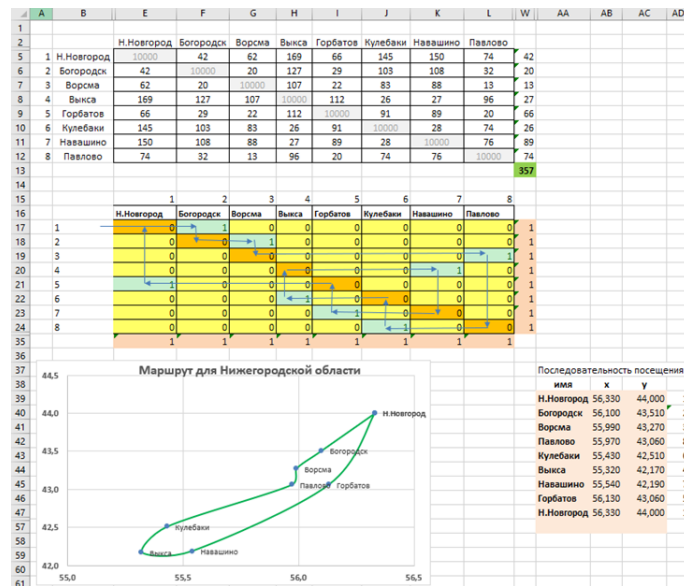


Рисунок 6. Построение оптимального маршрута TSP задачи с помощью точечной диаграммы (источник: разработано автором)

Как видим, общая картинка оптимального маршрута очень похожа в этих двух вариантах. Характер кривой зависит, как отложить координаты широты и долготы по осям координат.

Обсуждение

В исследовательских целях был проведен замер времени, необходимого на реализацию выполнения рассматриваемых алгоритмов.

Время, затрачиваемое на решение, варьируется от нескольких секунд до 20-30 минут в зависимости от числа пунктов, входящих в маршрут и расстояний между ними. Но следует иметь ввиду, что при этом ограничения ресурсов бесплатного пакета на число переменных составляют не более 200 [5], что явно затрудняет возможности его использования для решения практических задач транспортной логистики.

Заключение

Таким образом, в ближайшей перспективе можно, наверное, ожидать дальнейшего развития алгоритмов поиска кратчайшего маршрута и их более широкого применения в транспортной логистике за счет развития телекоммуникаций, робототехники и искусственного интеллекта [3]. А также расширения возможностей программного обеспечения для решения задач больших размеров.

Список литературы

1. Акулин Е. В. Задачи и математические модели оптимизации / Е.В. Акулин, Л.Е. Свиридова // Исследования молодых ученых: материалы XIX Междунар. науч. конф. (г. Казань, апрель 2021 г.) / [под ред. И.Г. Ахметова и др.] – Казань: Молодой ученый, 2021. – с. 1-2.

2. Альпидовский А. Д. Применение генетического алгоритма для решения задачи путешественника // Каспийский научный журнал: периодическое сетевое научное издание. 2024 3(4). URL: <https://www.kaspianjournal.ru/jour> (дата обращения: 07.05.2025).
3. Арифджанова Н. З. Применение искусственного интеллекта для оптимизации маршрутов транспорта // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2023. 5(110). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15404> (дата обращения: 07.04.2025).
4. Берзин Е. А. Решение задачи коммивояжера методом расширения цикла и оценка его эффективности / Е.А. Березин, Д.В. Смирнов // Программные продукты и системы. 2001. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadachi-kommivoyazhera-metodom-rasshireniya-tsikla-i-otsenka-ego-effektivnosti> (дата обращения: 30.03.2025).
5. Борознов В. О. Исследование решения задачи коммивояжера // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-resheniya-zadachi-kommivoyazhera> (дата обращения: 20.03.2025).
6. Димова Е. С. Решение модифицированной задачи о нахождении оптимального маршрута // π-Economy. 2008. №6 (68). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-modifitsirovannoy-zadachi-o-nahozhdenii-optimalnogo-marshruta> (дата обращения: 01.04.2025).
7. Замаева Т. В. Применение методов оптимизации для решения производственных задач в области транспорта / Т.В. Замаева, Э.Е. Нюркина // Фундаментальные и прикладные научные исследования: современные проблемы, достижения и инновации: сборник статей Международной научно-практической конференции (12 февраля 2025 г., г. Таганрог). – Уфа: Omega Science, 2025. – с.8 – 10.
8. Замаева Т. В. Применение различных методов оптимизации для решения задачи нахождения кратчайшего маршрута с помощью языка VBA в MS Excel / Т.В. Замаева, Э.Е. Нюркина // Современные тенденции развития исследовательских компетенций в условиях инновационного кластера: сборник статей Международной научно-практической конференции (10 апреля 2025 г., г. Казань). – Уфа: Аэтерна, 2025. – с.16 – 18.
9. Николаева Д. С. Решение задачи коммивояжера с использованием метода ветвей и границ / Д.С. Николаева, Е.С. Копылова, Е.В. Бунтова // Human Progress. 2018. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadachi-kommivoyazhyora-s-ispolzovaniem-metoda-vetvey-i-granits> (дата обращения: 10.05.2025).
10. Пенкин М. А. Методы оптимизации транспортной инфраструктуры // Экономика и социум. 2018. №7 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-optimizatsii-transportnoy-infrastruktury> (дата обращения: 10.02.2025).

References

1. Akulin E. V., Sviridova L.E. Zadachi i matematicheskie modeli optimizatsii [Problems and mathematical models of optimization], Issledovaniya molodykh uchenykh: materialy XIX Mezhdunar. nauch. konf. (g. Kazan', aprel' 2021 g.), pod red. I.G. Akhmetova i dr. [Research by young scientists: Proceedings of the XIX International Scientific Conf. (Kazan, April 2021) edited by I.G. Akhmetov et al.]. Kazan, Molodoi uchenyi publ., 2021, – pp. 1-2.
2. Alpidovskii A. D. Primenenie geneticheskogo algoritma dlya resheniya zadachi puteshestvennika [Application of genetic algorithm to solve the traveler's problem], Kaspiskii nauchnyi zhurnal: periodicheskoe setevoe nauchnoe izdanie [Caspian Scientific Journal: a periodical online scientific publication], 2024, №3(4), URL: <https://www.kaspianjournal.ru/jour> (date of access 07.05.2025).

3. Arifdzhanova N. Z. *Primenenie iskusstvennogo intellekta dlya optimizatsii marshrutov transporta* [Application of artificial intelligence for optimization of transport routes], *Universum: tekhnicheskie nauki: ehlektron. nauchn. zhurn.* [Universum: technical sciences: electronic scientific journal], 2023, №5(110), URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15404> (date of access 07.04.2025).
4. Berzin E. A., Smirnov D. V. *Reshenie zadachi kommivoyazhera metodom rasshireniya tsikla i otsenka ego ehffektivnosti* [Solution of the traveling salesman problem by the cycle expansion method and evaluation of its efficiency], *Programmnye produkty i sistemy* [Software products and systems], 2001, №2, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadachi-kommivoyazhera-metodom-rasshireniya-tsikla-i-otsenka-ego-ehffektivnosti> (date of access 30.03.2025).
5. Boroznov V. O. *Issledovanie resheniya zadachi kommivoyazhera* [Study of the solution of the traveling salesman problem], *Vestnik AGTU. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of ASTU. Series: Management, computing engineering and informatics.], 2009, №2, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-resheniya-zadachi-kommivoyazhera> (date of access 20.03.2025).
6. Dimova E. S. *Reshenie modifitsirovannoi zadachi o nakhozhenii optimal'nogo marshruta* [Solution of the modified optimal route problem], *π -Economy* publ., 2008, №6 (68), URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-modifitsirovannoy-zadachi-ona-hozhenii-optimal'nogo-marshruta> (date of access 01.04.2025).
7. Zamaraeva T. V., Nyurkina E.E. *Primenenie metodov optimizatsii dlya resheniya proizvodstvennykh zadach v oblasti transporta* [Application of optimization methods to solve production problems in the field of transport], *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: sovremennye problemy, dostizheniya i innovatsii: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (12 fevralya 2025 g., g. Taganrog) [Fundamental and applied scientific research: modern problems, achievements and innovations: collection of articles from the International scientific and practical conference (February 12, 2025, Taganrog)], Ufa, Omega Science publ., 2025, – pp.8-10.
8. Zamaraeva T. V., Nyurkina E.E. *Primenenie razlichnykh metodov optimizatsii dlya resheniya zadachi nakhozheniya kratchaishego marshruta s pomoshch'yu yazyka VBA v MS Excel* [Application of various optimization methods to solve the problem of finding the shortest route using the VBA language in MS Excel], *Sovremennye tendentsii razvitiya issledovatel'skikh kompetentsii v usloviyakh innovatsionnogo klastera: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (10 aprelya 2025 g., g. Kazan') [Modern trends in the development of research competencies in the context of an innovation cluster: a collection of articles from the International Scientific and Practical Conference (April 10, 2025, Kazan)], Ufa: Aehterna publ., 2025, pp.16-18.
9. Nikolaeva D. S., Kopylova E. S., Buntova E. V. *Reshenie zadachi kommivoyazhera s ispol'zovaniem metoda vetvei i granits* [Solving the traveling salesman problem using the branch and bound method], *Human Progress* publ., 2018, №4, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadachi-kommivoyazhyora-s-ispolzovaniem-metoda-vetvey-i-granits> (date of access 10.05.2025).
10. Penkin M.A. *Metody optimizatsii transportnoi infrastruktury* [Methods of Optimizing Transport Infrastructure], *Ehkonomika i sotsium* [Economy and Society], 2018, №7 (50), URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-optimizatsii-transportnoy-infrastruktury> (date of access 10.02.2025).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / ABOUT THE AUTHOR

Элла Евгеньевна Нюркина, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления транспортом, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, niurkina.ee@vsuwt.ru

ORCID: 0000-0003-0407-363X

Ella Evgenievna Niurkina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Transport Management, Volga State University of Water Transport, 5, str. Nesterov, Nizhny Novgorod, Russia, 603951

ORCID: 0000-0003-0407-363X