

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 519.85:164

Многокритериальный подход к оптимизации транспортных перевозок: разнообразие средств и тарифов

Д.В. Богомоленко, Д.В. Сазонова, Д.В. Тринц

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Представлена математическая модель (ММ), предназначенная для оптимизации затрат на транспортировку грузов с учетом вариативности тарифов, которые определяются характеристиками транспортных средств. Ключевой особенностью данной модели является интеграция ограничений, связанных с грузоподъемностью и габаритами транспортных средств, что позволяет эффективно моделировать реальные логистические сценарии.

Ключевые слова: математическое программирование, оптимизация транспортных перевозок, многокритериальный подход

Для цитирования. Богомоленко Д.В., Сазонова Д.В., Тринц Д.В. Многокритериальный подход к оптимизации транспортных перевозок: разнообразие средств и тарифов. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(4):79–83.

Multi-Criteria Approach to Optimisation of Transportation: Diversity of Means and Tariffs

Darya V. Bogomolenko, Darya V. Sazonova, Dmitry V. Trints

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article presents a mathematical model (MM) designated to optimise cargo transportation costs taking into account the variability of tariffs depending on vehicle characteristics. The key feature of this model is its ability to integrate constraints related to vehicle cargo-carrying capacity and dimensions, which enables efficient modeling of real logistics scenarios.

Keywords: mathematical programming, optimisation of transportation, multi-criteria approach

For Citation. Bogomolenko DV, Sazonova DV, Trints DV. Multi-Criteria Approach to Optimisation of Transportation: Diversity of Means and Tariffs. *Young Researcher of Don*. 2025;10(4):79–83.

Введение. Современные логистические системы отличаются высокой степенью сложности, что обусловлено необходимостью эффективной организации транспортировки грузов в условиях ограниченных ресурсов и постоянно меняющегося рыночного окружения. Один из ключевых факторов, влияющих на общие затраты на логистику, — это выбор оптимального тарифа на транспортировку, который зависит от характеристик использованных транспортных средств. В настоящее время оптимизация затрат на транспортировку грузов представляет собой актуальную задачу, требующую применения современных методов математического моделирования (ММ) [1]. В работе также рассматриваются примеры успешного внедрения данных методов в практику логистических компаний, что подтверждает их эффективность и значимость. Результаты исследования могут быть полезны для специалистов в области логистики, стремящихся повысить конкурентоспособность своих предприятий за счет снижения затрат и улучшения качества обслуживания клиентов.

Цель данной работы заключается в определении ключевых логистических показателей проекта. Реализация этой цели позволит решить задачи, такие как минимизация затрат на транспортировку с учетом характеристик транспортных средств и ограничения на груз, а также оптимизация выбора транспортных средств и тарифных планов.

Новизна работы состоит в разработке специализированной математической модели для оптимизации транспортировки, которая учитывает специфические требования к транспортным средствам (например, перевозка однотипного товара) и тарифным планам. Это позволяет достичь значительного снижения затрат по сравнению с использованием универсальных моделей.

Основная часть. Представленная математическая модель предназначена для минимизации затрат на транспортировку грузов от поставщиков к предприятиям посредством выбора оптимального тарифа транспортного средства [2]. Модель учитывает следующие параметры: количество поставщиков (p), количество предприятий (n), количество доступных тарифных планов (q), а также соответствующие индексы: $i \in I = \{1, 2, \dots, p\}, j \in J = \{1, 2, \dots, n\}, e \in E = \{1, 2, \dots, q\}$; $x_{ij}, i \in I, j \in J$ — объем товара, необходимого для транспортировки от поставщика i к предприятию j ; $V_b, e \in E$ — максимальная грузоподъемность транспортного средства, соответствующую тарифу e ; $r_{ij}, i \in I, j \in J$ — расстояние между поставщиком i и предприятием j в километрах; $s_{ij}, i \in I, j \in J$ — стоимость перевозки товара на километр (в рублях); $k_{ij}, i \in I, j \in J$ — количество маршрутов транспортного средства между поставщиком i и предприятием j .

Целевая функция (ЦФ) (1) направлена на минимизацию общей стоимости транспортировки и рассчитывается как:

$$(2 \cdot k_{ij} + 1) \cdot r_{ij} \cdot s_{ij} \rightarrow \min. \tag{1}$$

Вспомогательная переменная V_0 , характеризующая загрузку транспортного средства, определяется выражением (2):

$$V_0 = \frac{x_{ij}}{V_b}. \tag{2}$$

Количество маршрутов транспортного средства (k_{ij}) определяется как целая часть V_0 :

$$k_{ij} = \lfloor V_0 \rfloor, \tag{3}$$

где $\lfloor V_0 \rfloor$ — это целая часть числа V_0 , то есть наибольшее целое число, которое не больше V_0 .

Алгоритм решения модели предусматривает вычисление целевой функции (1) для каждого доступного тарифа (q). В следующем шаге выбирается тариф, обеспечивающий минимальное значение целевой функции, который и считается оптимальным для данной пары поставщик-предприятие. В случае, если объем перевозимого товара x_{ij} равен нулю, минимальная стоимость транспортировки также приравнивается к нулю.

Для реализации предложенной математической модели (1) был использован программный пакет Excel [3]. В качестве исходных данных были введены следующие параметры: матрица расстояний r (км) между поставщиками ($p = 3$) и потребителями ($n = 3$); матрица объемов товаров, подлежащих транспортировке; таблица, содержащая параметры доступных транспортных средств (максимальная грузоподъемность) и соответствующие тарифные ставки (руб/км) (рис. 1).

Поставщик	Расстояние, км			
	B1	B2	B3	B4
A1	40	85	62	0
A2	56	12	36	0
A3	98	36	95	0

Поставщик	Объем который нужен, кг					Вмещаемый max вес товара	Цена за км- руб
	B1	B2	B3	B4	Запасы		
A1	9	21	20	0	50	10	15
A2	21	19	0	40	80	15	17
A3	0	0	30	0	30	25	30
Потребитель	30	40	50	40			

Рис. 1. Исходные данные оптимизационной задачи

На основе введенных исходных данных для каждого доступного тарифа (q) было произведено вычисление целевой функции (1) с использованием математических выражений (2) и (3). В результате вычислений получены матрицы стоимости транспортировки и количества маршрутов, необходимых для перевозки заданного объема товара между каждым поставщиком и потребителем (рис. 2).

	B	C	D	E	F
11	Ц.Ф. 10	600	6375	2790	0
12		4200	540	540	0
13		1470	540	7125	0
14					
15	V_0	0,9	2,1	2	0
16		2,1	1,9	0	4
17		0	0	3	0
18					
19		k - количество перевозок			
20		0	2	1	0
21		2	1	0	3
22		0	0	2	0

Рис. 2. Вычисление ЦФ (тариф 10) ММ (1)

Реализация предложенной модели оптимизации перевозок в среде Excel осуществлялась в несколько этапов. Вначале была определена целевая функция. Для каждой ячейки в диапазоне C11:F13 установлена целевая функция (1), отражающая стоимость перевозки груза с учётом выбранного тарифа.

Затем было произведено вычисление загрузки транспортного средства. В диапазоне C15:F17 вычислялась загрузка транспортного средства V_0 с использованием выражения (2) для каждого конкретного тарифа. Этот параметр характеризует степень использования грузоподъемности транспортного средства при перевозке заданного объема товара.

Следующим этапом стало определение количества маршрутов. В ячейках диапазона C20:F22 вычислялось необходимое количество маршрутов k_{ij} для перевозки товара с использованием выражения (3). Этот параметр вычислялся как целая часть значения V_0 , полученного на предыдущем этапе.

После выполнения указанных действий производилось сравнение полученных матриц значений целевой функции (1) для каждого тарифа q с целью выявления минимальной стоимости транспортировки для каждой пары «поставщик-предприятие» (рис. 3).

Ц.Ф. 10	600	6375	2790	0
	4200	540	540	0
	1470	540	7125	0
Ц.Ф. 15	680	4335	3162	0
	2856	612	612	0
	1666	612	4845	0
Ц.Ф. 25	1200	2550	1860	0
	1680	360	1080	0
	2940	1080	8550	0

Рис. 3. Вычисление оптимизационной стоимости пути перевозки по q — количества тарифам

Далее, на основании выше вычисленных значений целевой функции для каждого тарифа, минимальная стоимость перевозок x_{ij} , что отражено в итоговой оптимизационной матрице при условии $x_{ij} \neq 0$ (рис. 4).

Найти минимальное

	к1	к2	к3	к4
П1	600	2550	1860	0
П2	1680	360	0	0
П3	0	0	4845	0

Рис.4. Конечная оптимизационная матрица перевозок

Для численного решения предложенной математической модели (1) был применён программный пакет MATLAB. Реализация алгоритма представлена в виде блок-схемы на рис. 5. Данный подход позволяет эффективно визуализировать последовательность вычислительных операций и взаимодействие между различными компонентами модели.

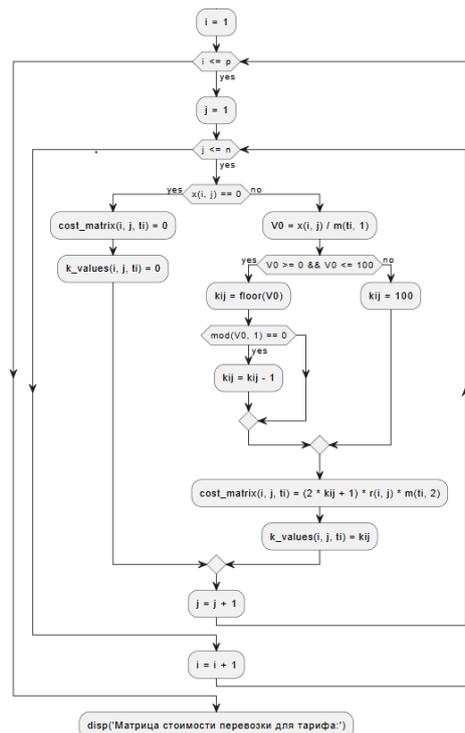


Рис. 5. Фрагмент блок схемы реализации ЦФ (1) для q тарифам

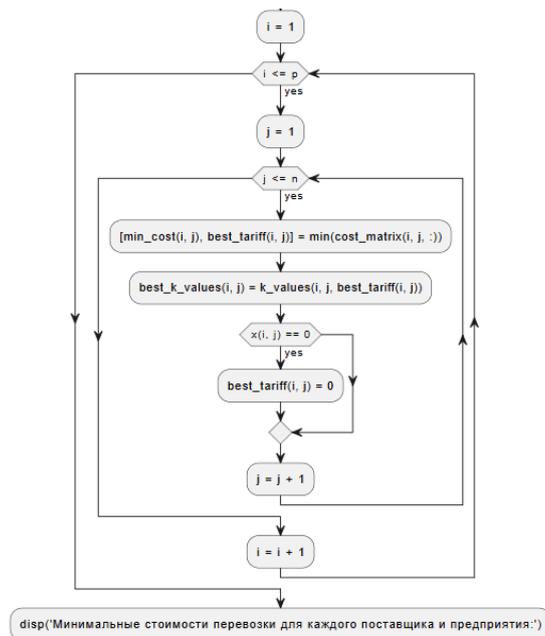


Рис. 6. Часть блок-схемы, иллюстрирующая процесс нахождения минимального значения среди заданного количества тарифов

Результат выполнения программного кода в среде MATLAB (рис. 7), демонстрирует совпадение с результатом, представленным на рис. 3, что свидетельствует о верной реализации кода.

Минимальные стоимости перевозки для каждого поставщика и предприятия:

600	2550	1860	0
1680	360	0	0
0	0	4845	0

Индексы выбранных тарифов для каждого поставщика и предприятия:

1	3	3	1
3	3	1	1
1	1	2	1

Количество путей k для выбранных тарифов:

0	0	0	0
0	0	0	3
0	0	1	0

Рис. 7. Результат программного кода в пакете Matlab

Заключение. Разработанная модель, которая учитывает специфические характеристики транспортных средств и тарифных планов, позволяет значительно снизить затраты на транспортировку. Это становится особенно важным фактором в условиях конкурентного рынка. Результаты, полученные в процессе реализации модели в средах Excel и MATLAB, демонстрируют высокую степень согласованности, что подтверждает корректность алгоритма и его практическую применимость. Выбор оптимального тарифа на транспортировку, основанный на детальном анализе таких параметров, как расстояние, стоимость перевозки и грузоподъемность, обеспечивает более эффективное распределение ресурсов и улучшает качество обслуживания клиентов.

Список литературы

1. Ксенофонтова В.А. Обобщенная математическая модель процессов перевозок грузов. *Вестник Ростовского Государственного Университета Путей Сообщения*. 2021;(2(82)):158–167. https://doi.org/10.46973/0201-727X_2021_2_158
2. Юрченко К.А. Применение математических моделей для составления оптимального плана перевозок. *Актуальные вопросы экономических наук*. 2011;(21–1):225–231.
3. Шадрин Н.И., Берман Н.Д. *Решение задач оптимизации в Microsoft Excel 2010*. Учебное пособие. Хабаровск: Издательство ТОГУ; 2016. 102 с.

Об авторах:

Дарья Вадимовна Богомоленко, студент кафедры прикладной математики Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), bogomolenko04@mail.ru

Дарья Вячеславовна Сазонова, студент кафедры прикладной математики Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), 119080@bk.ru

Дмитрий Викторович Тринц, старший преподаватель кафедры электротехники и электроники Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), dtrinc@donstu.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Darya V. Bogomolenko, Student of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), bogomolenko04@mail.ru

Darya V. Sazonova, Student of the Applied Mathematics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), 119080@bk.ru

Dmitry V. Trints, Senior Lecturer of the Electrical Engineering and Electronics Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), dtrinc@donstu.ru

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.