

УДК: 656.2, 519.6

## МОДИФИЦИРОВАННОЕ РЕШЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

**Павловский А.А.**

к.т.н., заместитель Генерального директора, АО «НИИАС»,  
E-mail: A.Pavlovskiy@vniias.ru Москва, Россия

### Аннотация

Развитие транспортных систем характеризуется информатизацией и цифровизацией, и это определяет методы управления и анализа транспортных систем. Основной задачей перевозочного процесса является оптимизация перевозки грузов из пунктов отправления в пункты потребления с минимальными затратами на перевозки (транспортная задача). Современные условия перевозки и рыночные отношения все больше исключают возможность применения классических методов решения транспортной задачи. Предлагается новый метод решения транспортной задачи при дополнительных условиях, при этом допускается рассогласование действий поставщиков, потребителей, нарушение баланса между потребностями и отгрузкой. Для этих условий предложен метод модифицированного решения транспортной задачи, который уменьшает разбалансировку решения при любых условиях перевозки.

### Ключевые слова:

Транспорт, спрос, предложение, транспортная задача, модифицированная транспортная задача.

## MODIFIED SOLUTION OF THE TRANSPORT PROBLEM

**Pavlovskiy A.A.**

PhD., Deputy General Director, JSC «NIIAS»,  
E-mail: A.Pavlovskiy@vniias.ru, Moscow, Russia

### Abstract

The development of transport systems is characterized by informatization and digitalization, and this determines the methods of management and analysis of transport systems. The main task of the transportation process is to optimize the transportation of goods from points of departure to points of consumption, with minimal transportation costs (transport problem). Modern transportation conditions and market relations increasingly exclude the possibility of using classical methods for solving the transport problem. A new method for solving the transport problem under additional conditions is proposed, while allowing for a mismatch in the actions of suppliers, consumers, and an imbalance between needs and shipment. For these conditions, a modified method for solving the transport problem is proposed, which reduces the imbalance of the solution under any transportation conditions.

### Keywords:

Transport, demand, supply, transport problem, modified transport problem.

## Введение

Современное развитие транспортных систем характеризуется цифровой трансформацией [2]. Общемировая тенденция глобализация [2,3] также охватывает сферу транспорта в области глобальных и интермодальных перевозок. Технологическую основу автоматизации в сфере транспорта составляют науки прикладная информатика [4] и прикладная геоинформатика [5]. Последнее обусловлено тем, что движение транспорта происходит в реальном пространстве, и оно требует применения пространственной информации. Наука, которая занимается обработкой и применением пространственной информации, есть геоинформатика. Основу технологического преобразования транспорта составляют информационные и цифровые технологии. Основу методического преобразования транспорта составляют математические методы и математические модели, к числу которых относятся методы линейного программирования, включающие транспортную задачу. На эти методы влияет развитие транспорта и изменение условий его движения. Изменение условий движения создает предпосылки для модификации известных математических методов, включая решение транспортной задачи. Еще одной особенностью совершенствования транспортной системы и управления транспортом является применение информационных технологий и информационных пространств [6]. Основой применения информационных моделей является информационное поле [7,8]. Информационное поле содержит явное знание и неявное знание. Это дает основание при управлении транспортом не только принимать правильные решения, но и получать новые знания и накапливать их в виде опыта, формализованного в информационные модели. В статье рассмотрен метод модификации решения транспортной задачи, использующий условия конкуренции.

## Фактор информационного моделирования при управлении транспортом

Современное управление транспортом широко использует методы моделирования. Ведущим моделированием является информационное моделирование. Основной информационной моделью, применяемой при информационном моделировании, является модель информационного поля. Информационное поле объединяет разные модели. Информационное поле создает возможность комплексной обработки моделей объектов и явлений в единой среде. Информационное поле содержит модели объектов и модели процессов. Между ними также может быть связь, соответствие и отношение. В информационном поле исследуют процессы моделирования и метамоделирования [9,10].

Ресурсную основу преобразований в транспортной сфере составляют различные информационные феномены: информационные модели [11,

12], информационные конструкции [13], модели информационных единиц [14], модели информационных отношений [15], модели пространственных отношений [16], модели информационных связей, модели информационных ситуаций [17], модели информационных взаимодействий [18], метамодели, модели информационных процессов [19, 20], модели первого и второго рода, модели информационного соответствия [21], модели сложности, модели цифровых рисков [22] и другие. Соответственно моделям существуют разные виды моделирования.

Главной информационной моделью является модель информационного поля. Она есть интегральная модель реальности. Информационное поле содержит модели объектов, модели процессов, модели информационных и пространственных отношений, модели информационных связей. Однако информационное поле содержит не только определенность, но и модели информационной неопределенности.

Развитие автоматизации и цифровизации имеет внешнее и внутреннее проявление. Внешнее проявление состоит в создании новых технологий и моделей. Внутреннее проявление информатизации состоит из модификации существовавших методов с помощью вычислительных технологий. Именно к таким внутренним совершенствованиям относятся методы модификации решения транспортной задачи (МРТЗ).

## Модифицированная транспортная задача.

Теоретическая транспортная задача (ТЗ) решается по трем параметрам: затраты по перевозкам из точек отгрузки в точки доставки, запасы в точках загрузки и потребности в точках доставки. Решение получают методом линейного программирования и находят корректный оптимум [23]. Услуги по поставкам являются однородными. Между потребителями нет конкуренции и для поставщиков, нет разницы, кому поставлять товар, все упирается в стоимость перевозки.

В современной практике ТЗ решается с учетом информационного взаимодействия между потребителем и поставщиком. Кроме того, возникает предпочтительность или заинтересованность в доставке. Наконец, возможны институциональные отношения между поставщиками и потребителями. В общем, и на рынке перевозок существуют интересы поставщиков и интересы потребителей. Все это делает неоднородной среду поставок. В такой среде существует схема предложений (рис.1), отражающих интересы поставщиков. В такой среде существует схема спроса (рис.3), отражающего интересы потребителей. Схеме предложений соответствует матрица поставщиков (рис.2) [24,25]. Поставщики на рис.1 изображены символом (В), потребители изображены символом (А). То же самое на рисунке 3. Стрелки на рис.1 показывают направление предложений. На рисунке 1 и в матрице (рисунок 2) видно, что первый поставщик предлагает свои услуги только второму потребителю.

Второй предлагает услуги первому и второму потребителю.

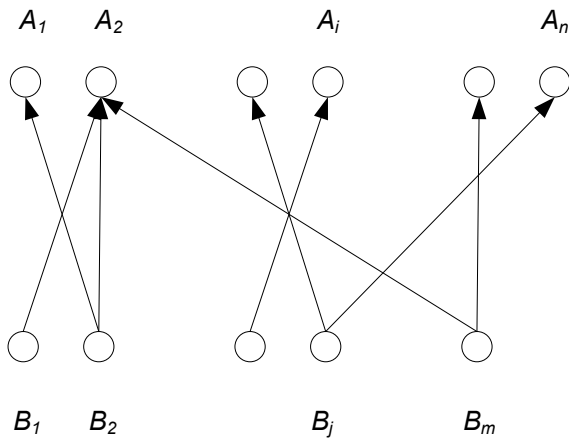


Рисунок 1. Схема предложений

	A1	A2				An
B1		t				
B2	t	t	t			
			t	t	t	
		t	t		t	t
			t			t
Bm	t	t		t	t	

Рисунок 2. Матрица предложений

Последний поставщик предлагает услуги первому потребителю и (n-1) потребителю. Схема на рисунке 1 показывает, что отношения между поставщиками не согласованы или не комплементарны. Между поставщиками существует конкуренция за выгодного потребителя. Предложения на рисунке 2 выделены символом *t*, от английского tender. Наличие нулевого символа в строке матрицы В означает отсутствие интереса поставщика к потребителю. Наличие *t* в матрице В показывает интерес данного поставщика (строка) к данному потребителю (столбец), определяемый численным значением величины *t*.

Для потребителя существует своя схема и своя матрица. Интересы потребителя показаны на рисунке 3, в виде схемы спроса (рисунок 3) и матрицы потребителя (рисунок 4).

Стрелки на рисунке 3 показывают направления спроса. На рисунке 3 и в матрице (рисунок 4) видно, что первого потребителя интересуют услуги второго поставщика, *i*-го поставщик, и последнего поставщика. Второго потребителя интересуют услуги первого поставщика, второго поставщика и последнего поставщика. В сравнении с рисунком 1 видно, что интересы поставщиков и потребителей не сбалансированы. Необходимо искать компромиссное решение.

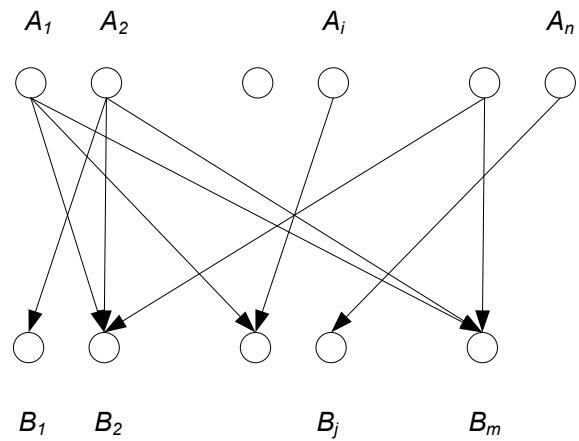


Рисунок 3. Схема спроса [55]

	A1	A2				An
B1	d	d				d
B2		d	d			
			d	d	d	
		d	d	d	d	
	d	d		d		d
Bm				d	d	

Рисунок 4. Матрица спроса A

Матрица потребителей на рисунке 4 условно названа матрица А. Схема спроса на рисунке 3 показывает, что между потребителями также существует конкуренция за поставщика.

В матрице А символом *d* обозначен спрос. Это обозначение от английского demand (спрос). Символа *d* в строке матрицы А показывает интерес потребителя (столбец) к поставщику (строка), Интерес определяется количественной величиной *d*. Величины *d* и *t* противоположны по знаку. Это вытекает из направлений векторов на рисунке 1 и рисунке 3. Направления векторов противоположны.

Можно констатировать, что постановка модернизированной транспортной задачи приводит не к одной матрице интересов, а к трем матрицам, в которых интересы различаются, и показано различие интересов. Эти матрицы отражают разные отдельные интересы среди поставщиков и отдельные интересы среди потребителей, а также наличие рассогласования между поставщиками и потребителями.

Матрицы А и В формируют на основе статистики, в частности, ежегодных плановых отчетов. Зачастую они копируют план предыдущего года, но вносят в него корректировки. Их аналогом в канонической ТЗ является опорный план.

Решение получают на основе сравнения векторных схем и комбинации матриц А и В. В сбалансированной системе равенство спроса и предложения будет иметь место.

$$A+B=0 \quad (1)$$

В этом случае оптимизация не нужна и опорные планы оптимальны. При отсутствии балансировки

$$A+B=N \quad (2)$$

В выражении (2)  $N$  определяется как матрица несоответствия (рис. 5). Для сбалансированных интересов  $N=0$ .

	$A1$	$A2$				$A_n$
$B1$	$d$	$0$	$0$	$0$	$0$	$d$
$B2$	$t$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
	$0$	$0$	$0$	$d$	$d$	$0$
	$d$	$d$	$t$	$d$	$0$	$0$
$Bm$	$t$	$t$	$0$	$0$	$0$	$0$

Рисунок 5. Матрица разбалансировки

В матрице разбалансировки элементы будут определяться как суммы элементов  $A$  и  $B$ . Они будут равны  $d$  и  $t$ , а также  $\Delta d$  и  $\Delta t$ . Величины  $d$  и  $t$ , свидетельствуют о наличии несоответствия по данному элементу. Величины  $\Delta d$  и  $\Delta t$  констатируют частичное несоответствие между спросом и предложением. При  $\Delta d$  в качестве элемента существует неудовлетворённый спрос. При  $\Delta t$  в качестве элемента существует избыточное предложение.

Задача оптимальной поставки или модифицированная транспортная задача сводится к минимизации матрицы  $N$  с помощью комбинаторных методов

$$A+B=\text{Min}(N) \quad (3)$$

Технически эта задача решается методами комбинаторной математики. Методически она описана в теории игр. При этом разбалансировка может быть устранена полностью. Это соответствует оптимальному решению. Балансировка может быть уменьшена. Это соответствует рациональному решению. Таким образом, предлагаемый метод уменьшает разбалансировку при любых условиях перевозки.

## Заключение

Модифицированная транспортная задача отличается от канонической транспортной задачи. Каноническая транспортная задача решается симплекс-методом, но при меньших размерностях ее можно решить более простым методом. Ее решают инкрементным методом путем улучшения плана перевозок. Иногда этот метод некорректно называют итерационным. Но это чистый инкрементный метод. Инкрементный метод также использует итерации, но он на каждой итерации создает ресурс или решение, которое использует и улучшает на следующей итерации. Каноническая транспортная задача решается симплекс-методом по одной матрице, которая не учитывает интересы поставщиков и потребителей и разницу их интересов. Модифицированная транспортная задача использует три матрицы. Одна матрица учитывает интересы поставщиков, вторая матрица учитывает интересы потребителей, третья матрица

описывает рассогласование между интересами поставщиков и потребителей. Именно работа с третьей матрицей решает задачу оптимизации. Она решается технически. В ходе исследования установлена разница между оптимальным решением и рациональным решением. Оптимальное решение возможно при нахождении глобального оптимума целевой функции. Рациональное возможно при условной оптимизации.

**Список литературы**

1. Зайченко И. М. и др. Цифровая трансформация бизнеса: подходы и определение // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2020. – №. 2. – С. 205-212.
2. Гранин Ю. Что такое «глобализация»? // Высшее образование в России. – 2007. – №. 10. – С. 116-121.
3. Цветков В.Я. Глобализация и информатизация // Информационные технологии. – 2005. – №2. – С.2-4
4. Господинов С.Г. Современная информатика. – Saarbruken, 2023. –157 с. ISBN 978-620-6-14625-4.
5. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. – М.: МАКС Пресс, 2005. –360 с.
6. Ознамец В.В. Цифровое управляющее пространство// ИТ – Стандарт. 2021. 2(27). С.35-39.
7. Кудж С.А. Информационное поле: Монография. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 97 с.
8. Цветков В.Я. Информационное поле и информационное пространство // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №1-3. – С.455-456.
9. Ожерельева Т. А. Метамоделирование и информационный морфизм // Славянский форум. 2021, 3(33). С.69-78.
10. Цветков В.Я., Булгаков С.В., Титов В.К., Рогов И.Е. Метамоделирование в геоинформатике // Информация и космос. 2020. – №1. – С .112-119.
11. Савиных В.П. Информационные модели в дистанционных исследованиях Земли // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – 1 (13). – С.109-121.
12. Раев В.К. Информационные модели как метод познания // Славянский форум. -2020. – 2(28). –С.84-93.
13. Чехарин Е. Е. Информационные конструкции и информационная интерпретация// Славянский форум. -2018. – 1(19). - С.88-95.
14. Кудж С.А. Тринитарные информационные единицы // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.137-143.
15. Ознамец В. В. Отношения естественного и искусственного в информационном поле // Перспективы науки и образования. – 2018. – №1(31). – С.16-22.
16. Бахарева Н.А. Пространственные отношения как фактор оценки земель // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2018. – № 6 (10). –С.61-69.
17. Титов Е.К. Информационная ситуация при управлении транспортом с магнитной левитацией // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 4(12). – С.30-38.
18. Бахарева Н.А. Информационное взаимодействие в автоматизированных системах мониторинга и кадастра // Славянский форум. – 2012. – 1(1). – С.58-62.
19. Wickens C. D., Carswell C. M. Information processing //Handbook of human factors and ergonomics. – 2021. – С.114-158.
20. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2014. – 5(83). – С.4- 11.
21. Номоконова О. Ю. Виды информационных соответствий // Славянский форум. -2018. – 2(20). - С.44-49.
22. Нестеров Е.А., Цветков В.Я. Информационные коммуникационные риски цифрового развития // Транспортное право и безопасность. 2023. № 2 (46). С. 58-65.
23. Гольштейн Е. Г., Давид Б. Ю. Задачи линейного программирования транспортного типа. – М.: Наука, 1969.
24. Gomory R. E. An Algorithm for integer solutions to linear programs. Recent Advances Math. Programm. McGraw-Hill Book, 1963.
25. Беллман Р., Дрейфус С, Прикладные задачи динамического программирования. «Наука», 1965.