**Решение задач транспортной модели и их применение на железнодорожном**

**транспорте**

*В.В. Заяшникова*

*Улан-Удэнский колледж железнодорожного транспорта-*

*Филиал ФГБОУ ВО ИрГУПС*

*zaasnikovavioletta@gmail.com*

**SOLVING TRANSPORTATION PROBLEM AND THEIR APPLICATION IN RAILWAY TRANSPORT**

***V.V. Zayashnikova***

*Ulan-Ude Railway Transport College*

*Branch of FSBEI HE IrGUPS*

**Аннотация**

В данной статье рассматриваются основные алгоритмы, позволяющие находить базовые решения задач транспортной модели методами северо-западного угла, минимальных элементов (наименьшей стоимости), а также методом потенциалов для поиска оптимального решения. Проанализированы примеры применения транспортных моделей для оптимизации грузопотоков, планировании маршрутов, управления вагонным парком и организации перевозок в условиях ограниченной инфраструктуры. Показана экономическая эффективность внедрения транспортных моделей в железнодорожную отрасль и перспективы дальнейшего развития методов оптимизации логистических процессов.

**Abstract**

This article examines the main algorithms used to find basic solutions to transportation model problems using the northwest corner method, the least cost method, and the potential method for identifying optimal solutions. Examples of applying transportation models to optimize freight flows, route planning, wagon fleet management, and organizing transportation under limited infrastructure conditions are analyzed. The economic efficiency of implementing transportation models in the railway industry and the prospects for further development of logistics process optimization methods are demonstrated.

**Ключевые слова.** Транспортная модель, грузопоток, маршрутизация, железнодорожная отрасль, логистика.

**Keywords.** Transportation model, freight flow, routing, railway industry, logistics.

Железнодорожный транспорт является одной из важнейших составляющих транспортной инфраструктуры любой страны. Он обеспечивает не только пассажирские перевозки, но и грузовые, что делает его незаменимым в экономике. В связи с этим, эффективное управление движением поездов и составление маршрутов их движения становятся ключевыми задачами, требующими применения математических методов и моделей. Математика на железной дороге охватывает широкий спектр вопросов, начиная от простых задач на движение и заканчивая сложными алгоритмами оптимизации, что делает данную тему актуальной и востребованной.

Транспортная задача − одна из распространенных задач линейного программирования. Ее цель − разработка наиболее рациональных путей и способов транспортирования товаров, устранение чрезмерно дальних, встречных, повторных перевозок. Все это сокращает время продвижения товаров, уменьшает затраты предприятий, фирм, связанные с осуществлением процессов снабжения сырьем, материалами, топливом, оборудованием и т.д.

К транспортным задачам относится широкий круг задач с общей математической моделью. В таблице 1 приведено несколько примеров экономических задач, решение которых может быть найдено с помощью транспортной модели.

***Таблица 1***

**Экономические задачи, сводящиеся к транспортной**

**модели**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид задачи | Краткое описание | Методы решения | Применение на практике |
| Классическая транспортная задача | Задача на минимизацию суммарных затрат на перевозку груза от поставщиков к потребителям с учетом запасов и потребностей | Метод северо-западного угла, метод минимальной стоимости, метод потенциалов, симплекс-метод | Оптимизация логистики, планирование перевозок, распределение ресурсов |
| Транспортная задача об оптимальных назначениях, или проблеме выбора | Задача на назначение исполнителей на выполнение задач таким образом, чтобы минимизировать суммарные затраты или максимизировать эффективность | Венгерский метод, метод ветвей и границ, методы линейного программирования | Распределение персонала, назначение оборудования на выполнение работ, планирование ресурсов |
| Задача об оптимальном закреплении за станками операций по обработке деталей | Распределение операций по обработке деталей по станкам для увеличения производительности | Методы линейного программирования, целочисленное программирование | Оптимизация расписания работ, планирование загрузки оборудования |
| Задача на увеличение производительности транспорта за счет минимизации порожнего пробега | Планирование маршрутов с целью сокращения холостых пробегов и повышения эффективности использования транспортных средств | Метод теории графов, динамическое программирование, эвристические алгоритмы | Оптимизация маршрутов грузовых автомобилей и пассажирского транспорта, планирование развозки товаров, логистика в карьерных службах |
| Задача о размещении производства/складов | Определение оптимального местоположения производственных предприятий или складов с учетом затрат на производство и транспортировку | Метод дискретного программирования, эвристические алгоритмы, методы имитационного моделирования | Размещение производственных предприятий, выбор оптимальных мест для складов, планирование логистической сети |

Решение транспортной задачи начинается с построения первоначального плана поставленной задачи. Используются следующие методы построения первоначального плана:

‒ северо-западного угла;

‒ наименьшей стоимости;

‒ двойного предпочтения;

‒ аппроксимации Фогеля;

‒ дельта-метод.

Рассмотрим применение методов северо-западного угла и наименьшей стоимости для построения оптимального плана перевозки груза на примере следующей задачи.

*На станциях Киров, Казань, Уфа сосредоточены запасы угля в количествах 175, 100, 95 т соответственно. Груз необходимо поставить на станции Сургут, Тюмень, Омск, Новосибирск, потребность которых составляет 110, 50, 130, 80 т соответственно. Стоимость доставки 1 т угля со станции Киров в пункты назначения соответственно равна – 30, 20, 26, 28 ден.ед.; со станции Казань – 29, 21, 27, 30 ден. ед.; со станции Уфа – 32, 20, 26, 27 ден. ед. Составить оптимальный план перевозок, при котором цена перевозки (сij) была наименьшая.* Исходные данные записаны в виде таблицы 2.

***Таблица 2***

**Исходные данные задачи**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Станции назначения  Станции отправления | ст. Сургут | ст. Тюмень | ст. Омск | ст. Новосибирск | Запасы (ai) |
| ст. Киров | *30* | *20* | *26* | *28* | 175 |
| ст. Казань | *29* | *21* | *27* | *30* | 100 |
| ст. Уфа | *32* | *20* | *26* | *27* | 95 |
| Потребности (bi) | 110 | 50 | 130 | 80 |  |

**– количество угля, перевозимого со станции отправления i на станцию назначения j.

** (Киров), 2 (Казань), 3 (Уфа)

**(Сургут), 2 (Тюмень), 3 (Омск), 4 (Новосибирск)

Минимизировать суммарные затраты:

**Для построения математической модели задачи необходимо составить систему уравнений запасов и потребностей в грузе:





xij ≥ 0 для всех i и j (количество перевозимого угля не может быть отрицательным)

С помощь метода северо-западного угла составим первоначальный план перевозок (таблица 3), взяв данные из таблицы 2.

***Таблица 3***

**Первоначальный план методом северо-западного угла**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Заказы  Запасы | | ст. Сургут | ст. Тюмень | ст. Омск | ст. Новосибирск |
| 110 | 50 | 130 | 80 |
| ст. Киров | 175 | *30*  110 | *20*  50 | *26*  15 | 28 |
| ст. Казань | 100 | *29* | *21* | *27*  100 | 30 |
| ст. Уфа | 95 | *32* | *20* | *26*  15 | 27 |

Распределяя запасы со станции Киров сначала на станцию Сургут, потом Тюмень, получаем: x11=110, x12=50. После этого на станции Киров остается еще 15 т. угля, а на станцию Омск требуется 130 т. Удовлетворим спрос станции Омск, отправив ей со стаций Казань, Киров и Уфа 100, 15 и 15 т соответственно. Оставшиеся 80 т на станции Уфа отправим на станцию Новосибирск. Следовательно, X13=15, x23=100, x33=15 и x34=80.

Таким образом все запасы вывезены и все потребители довольны.

Теперь можем рассчитать общую стоимость перевозок по данному плану:

Z = 30 ⋅ 110 + 20 ⋅ 50 + 27 ⋅ 100 + 26 ⋅ 15 + 26 ⋅ 15 + 27 ⋅ 80 = 9940.

Далее для нахождения базового плана применим метод наименьшей стоимости (таблица 4).

***Таблица 4***

**Опорный план методом наименьшей стоимости**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Заказы  Запасы | | ст. Сургут | ст. Тюмень | ст. Омск | ст. Новосибирск |
| 110 | 50 | 130 | 80 |
| ст. Киров | 175 | *30*  0 | *20*  50 | *26*  125 | *28*  0 |
| ст. Казань | 100 | *29*  100 | *21*  0 | *27*  0 | *30*  0 |
| ст. Уфа | 95 | *32*  10 | *20*  0 | *26*  5 | *27*  80 |

Рассчитаем суммарные затраты по полученному плану, вычислив сумму произведений цен и перевозок:

Z = 20 · 50 + 26 · 125 + 26 · 5 + 27 · 80 + 29 · 100 + 32 · 10 = 9760 ден. ед.

Сравнивая это значение со стоимостью плана, полученного по методу наименьшей стоимости, видим, что 9940>9760, то есть мы получили более выгодный план перевозок.

Метод наименьшей стоимости решения транспортной задачи один из самых эффективных, потому что с помощью этого метода можно получить более близкий к оптимальному план.

В качестве начального опорного плана выберем план, найденный пометоду минимальной стоимости (табл. 4). В итоге получим следующую таблицу 5.

***Таблица 5***

**Оптимальный план перевозок**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Станции  назначения (Bj)  Станции  отправления (Ai) | ст. Сургут | ст. Тюмень | ст. Омск | ст. Новосибирск | **ui** |
| ст. Киров | *30*  10 | *20*  40 | *26*  125 | *28* | 32 |
| ст. Казань | *29*  100 | *21* | *27* | *30* | 29 |
| ст. Уфа | *32* | *20*  10 | *26*  5 | *27*  80 | 32 |
| **vj** | 0 | -12 | -6 | -5 |  |

Далее для анализа полученного плана и его последующего улучшения вводятся дополнительные характеристики пунктов отправления и назначения, называемые потенциалами. Такой метод улучшения плана перевозок называется методом потенциалов. При этом на каждом этапе строится разгрузочный цикл, который позволяет снижать расходы на перевозку.

Суммарная стоимость по оптимальному плану равна 9740:

Z = 30·10 + 20·40 + 26·125 + 29·100 + 20·10 + 26·5 + 27·80 = 9740 ден. ед.

Для проверки плана на оптимальность вычислим для нового плана потенциалы и найдем разности ΔCij, взяв v1=0

Вычислим потенциалы:



Разности:

14 = 28 – (-3 + 30) = 1 > 0

22 = 21 – (-10 + 29) = 2 > 0

23 =27 – (-4 + 29) = 2 > 0

24 =30 – (-3 + 29) = 4 > 0

31 = 32 – (0 + 30) = 2 > 0

Видим, что все разности ΔCij положительны, значит, получившийся план является оптимальным.

Таким образом мы нашли оптимальный план перевозки угля со станций Киров, Казань и Уфа на станции Сургут, Тюмень, Омск и Новосибирск, при котором суммарная стоимость перевозок будет наименьшая.

В итоге, нахождение опорного плана перевозок методом наименьшей стоимости позволяет предприятию сгенерировать наиболее приближенное к оптимальному плану первоначальное опорное решение. А перераспределение с помощью метода потенциалов способствует эффективному распределению имеющихся ресурсов, удовлетворяя потребности каналов сбыта и заказчиков. При минимизации всех издержек предприятие получает наибольший экономический эффект. Поэтому транспортная задача линейного программирования является эффективным инструментом решения экономических проблем транспортных компаний.

Подводя итоги, мы можем с уверенностью сказать о том, что транспортные задачи являются важным средством решения многих экономических проблем, возникающих перед предприятиями. С их помощью возможно не только рациональное планирование путей, но и устранение дальних, повторных перевозок. Это ведет к более быстрой доставке товаров, сокращению затрат производства на топливо, ремонт машин, т.е. к сокращению транспортных издержек.

Библиографический список

1. Зелова М.И., Косачева Н.А., Черняева Т.Н. Применение линейного программирования в организации железнодорожных перевозок: научная статья / М.И. Зелова, Н.А. Косачева, Т.Н. Черняева – Молодая наука Сибири. – 2021. - №2(12).

2. Сидоров О.Л. Статистический анализ производительности железнодорожного транспорта // Вестник транспорта. – 2022. – № 2. – С. 56–62.

3. Линейное программирование: транспортные и сетевые модели : учеб. Пособие / О. В. Болотникова, Д. В. Тарасов, Р. В. Тарасов. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – 88 с.

4. Прудникова, Н. А. Использование программных средств для решения транспортной задачи / Н. А. Прудникова // XI Машеровские чтения : материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Витебск, 18 октября 2017 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2017. – С. 31-32. – Библиогр.: с. 32 (2 назв.)