разработки и принятие закона о государственных научные и научно-технические программах.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Амоша А. И. Инновационное развитие промышленных предприятий в регионах: проблемы и перспективы / А. И. Амоша, Л. Н. Саломатина // Экономика Украины. - 2017. - № 3. - С. 20-34.

2. Геец В.М. Економіка України: ключові проблеми і перспективи / В.М. Геец // Економіка і прогнозування – 2016. - №1. – С. 7-22

3. Данько М. Інноваційний потенціал у промисловості України / М. Данько // Економіст. –1999. – № 10. – С. 26-32.

4. Дикань В.Л. Концепція інноваційного розвитку економіки України /В.Л. Дикань // Вісник економіки транспорту і промисловості – 2015. - № 51. – С. 9-20.

5. Патон Б.И. Наука-інноваціям / Б.И. Патон // Видавничий дім" Академперіодика" НАН України – 2008. - С.19-20.

6. Зверяков М.И Промышленная политика и механизм ее реализации /М.И. Зверяков// Экономика Украины. – Киев. - 2016.- №6. - С.3-18.

7. Мазур В. Проблеми та перспективи розвитку інноваційної діяльності підприємств в Україні /В. Мазур / Винницкий научный институт економики ТНЕУ – 2016. – С. 45-52

8. Данько М. Проблеми прогнозування інноваційно-технологічного розвитку економіки / М. Данько // Економіка України. – 2000. – № 5. – С. 35–40.

9. Патон Б. Інноваційний шлях розвитку економіки України / Б. Патон // Вісн. НАН України. – 2001. – № 2. – С. 11–16.

10. Мазур В.Л. Проблемы промышленной политики в Украине /В.Л. Мазур// Экономика Украины – Киев. 2016. - №11. - С.3-18.

УДК 65. 018: 656. 076

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ МНОГОЭТАПНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ПРИ НАЛИЧИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

Каретникова И.С., ассистент (ОНМУ)

В статье рассмотрена особенность решения усложненной постановки многоэтапной транспортной задачи на примере двухэтапной. В качестве дополнительных условий принято наличие прямых поставок между пунктами производства и потребления груза, а также соотношение между суммарными объемами производства, потребления и емкостей пунктов перевалки груза. Учитывая вариации этих условий, разработана последовательность решения такой задачи в матричной форме. Задача может быть решена с использованием стандартных алгоритмов, а наличие дополнительных условий лишь влияет на последовательность распределения грузопотоков.

Ключевые слова: оптимизация, пропускная способность, транспортная задача, прямые поставки.

ОСОБЛИВОСТІ ВИРІШЕННЯ БАГАТОЕТАПНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ ПРИ НАЯВНОСТІ ДОДАТКОВИХ УМОВ

Каретнікова І.С., асистент (ОНМУ)

У статті розглянута особливість рішення ускладненої постановки багатоетапної транспортної задачі на прикладі двоетапної. В якості додаткових умов прийнято наявність прямих поставок між пунктами виробництва і споживання вантажу, а також співвідношення між сумарними обсягами виробництва, споживання і ємностей пунктів перевалки вантажу. З огляду на варіації цих умов, розроблена послідовність розв'язання такої задачі в матричній формі. Задача може бути вирішена з використанням стандартних алгоритмів, а наявність додаткових умов лише впливає на послідовність розподілу вантажопотоків.

Ключові слова: оптимізація, пропускна здатність, транспортна задача, прямі поставки.

FEATURES OF THE SOLUTION OF A MULTI-STAGE TRANSPORT PROBLEM IN THE PRESENCE OF ADDITIONAL CONDITIONS

Karetnikova I., assistant (ONMU)

The multi-stage transport problem (TP) is a complicated formulation of a classical TP. The main difference is the presence of transshipment points. The multi-stage TP with direct deliveries also presupposes the choice between direct delivery and delivery through a transfer point. And important point in preparing the initial plan for a multi-stage TP with direct deliveries is to determine the sequence of distribution of cargo flows.

The goal of solving this problem is to obtain an optimal plan for the carriage of cargo by the criterion of minimum total transportation costs. The problem is solved by the type of a two-stage transport problem of linear programming in matrix form. The task is distributed using the minimal element method. However, other methods of solution can be used.

The article presents a mathematical model of a two-stage TP with direct deliveries and a description of the matrix in which the problem is solved. As in the classical TP, the necessary and sufficient condition for the solvability of the problem is the requirement of a balanced production volume of consumption volumes.

To determine the sequence of distribution of cargo flows, it is proposed to compare the total throughput capacity of transshipment points with production volumes and consumption volumes. Given the variation in the ratio of these conditions, a sequence of distribution of cargo flows in a matrix form was developed.

The problem is solved using standard algorithms, and the presence of additional conditions only affects the sequence of the solution.

Keywords: optimization, throughput, transport problem, delivery.

Постановка проблемы. Многоэтапная транспортная задача (ТЗ) представляет собой усложненную постановку классической ТЗ. Основное ее отличие состоит в наличии перевалочных пунктов. А многоэтапная ТЗ с прямыми поставками предполагает еще и возможность выбора между прямой поставкой и поставкой через перевалочный пункт.

Важным моментом при составлении исходного плана многоэтапной ТЗ с прямыми поставками является определение последовательности распределения грузопотоков.

В источнике [1] рассматривается оптимизация двухэтапной ТЗ задачи без наличия прямых поставок. Однако при наличии дополнительных условий, таких как, прямые поставки между пунктами производства и потребления груза, а также вариации соотношений между суммарными объемами производства, потребления и емкостей пунктов перевалки, не всегда можно получить решение, если придерживаться последовательности, описанной в источнике [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Транспортная задача относится к фундаментальным задачам теории оптимизации. Задача была рассмотрена французским математиком Гаспаром Монжем [2] в 1781 г. Позднее разработкой методов решения ТЗ занимались Канторович Л. В., Гавурин М. К.[3], Дж. Данциг, Кумпанс Т. [4], Таха Хемди А. [5] и другие ученые.

Впервые способ решения транспортных задач с двумя и более этапами перевозки предложен американским ученым А. Орденом [4]. Впоследствии этот способ был назван способом фиктивной диагонали. Этот же способ решения многоэтапной ТЗ рассматривался Г.В. Виноградовым [6]. В своей работе И. Брезина (Brezina Ivan) [7] предложил решение трехэтапной ТЗ методом Фогеля.

Выделение нерешенных частей общей проблемы. Как было отмечено выше, многоэтапная ТЗ линейного программирования может быть решена с использованием стандартных алгоритмов. Наличие дополнительных условий лишь влияет на последовательность решения задачи. Поэтому возникает необходимость определения степени влияния дополнительных условий на последовательность распределения грузопотоков.

Целью статьи является - на основе известного метода минимального элемента, разработать последовательность распределения грузопотоков для частных случаев многоэтапной ТЗ, возникающих при сочетании соотношений между суммарными объемами производства, потребления и емкостей пунктов перевалки, а также при наличии прямых перевозок между пунктами производства и потребления груза.

Изложение основного материала исследования. Имеется множество методов решения ТЗ, из которых наиболее распространены: метод условных стоимостей, потенциалов, распределительный, венгерский, Форда-Фулкерсона, отклонений от средних значений, разрешающих слагаемых, дифференциальных рент и А-метод [8-11].

Многоэтапная ТЗ состоит в том, чтобы распределить перевозки груза между пунктами таким образом, чтобы суммарные затраты на перевозку были минимальными. Задача решается по типу двухэтапной транспортной задачи линейного программирования в матричной форме. Распределение грузопотоков в задаче осуществляется по методу минимального элемента.

Перед рассмотрением основных особенностей последовательности распределения грузопотоков двухэтапной ТЗ с прямыми поставками, приведем ее математическую модель:

$$Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{p} c_{ik} x_{ik} + \sum_{k=1}^{p}\sum_{j=1}^{n} c_{kj} x_{kj} + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \to \min \qquad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{p} x_{ik} + \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i; \quad (i = \overline{1, m}) \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ik} \le d_k; \quad (k = \overline{1, p}) \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^{p} x_{kj} + \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j; \quad (j = \overline{1, n}) \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{kj} \le d_k; \quad (k = \overline{1, p}) \tag{5}$$

$$x_{ik} \ge 0 \ (i = \overline{1, m}; k = \overline{1, p});$$

$$x_{kj} \ge 0 \ (k = \overline{1, p}; j = \overline{1, n});$$

$$x_{kk} \ge 0 \ (k = \overline{1, p}); \ x_{kk} = 0 \ (k \ne k; k = \overline{1, p}); \ x_{ij} \ge 0 \ (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}) \tag{6}$$

где (1) Zmin – целевая функция, минимизирующая затраты на транспортировку груза из пунктов отправления в пункты назначения через пункты перевалки;

(2) - ограничения о полном вывозе груза из пунктов отправления;

(3) - ограничения о возможном недоиспользовании емкости каждого пункта перевалки при прибытии груза;

(4) - ограничения обязательного удовлетворения потребности каждого пункта назначения;

(5) - ограничения о возможном недоиспользовании емкости каждого пункта перевалки при отправлении груза.

(6) - ограничения на возможные значения переменных.

Для решения задачи оптимизации распределения перевозок по типу двухэтапной транспортной задачи линейного программирования составляется матрица, в которую заносятся ресурсы поставщиков a_i, потребности потребителей b_j и перерабатывающие способности пунктов перевалки d_k.

Матрица состоит из 4 блоков, каждый из которых представляет собой определенный этап перевозки. В I блоке матрицы отражается связь поставщиков с пунктами перевалки груза. II блок отражает связь поставщиков с потребителями. В этом блоке могут быть заблокированные ячейки, если отсутствует прямая поставка груза. III блок показывает связь между пунктами перевалки груза, где все клетки заблокированы, кроме диагональных. На диагонали отражается нулевая стоимость перевозки груза, а количество груза, получаемое в результате решения задачи, показывает резерв мощности пункта перевалки. IV блок задачи отражает связь между пунктами перевалки груза и потребителями.

В табл. 1. представлена объединенная матрица двухэтапной транспортной задачи с прямыми поставками.

Как и в классической ТЗ, необходимым и достаточным условием разрешимости задачи является требование сбалансированности объемов производства объемам потребления: $\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$. Если же сумма ресурсов больше (меньше) суммы потребностей, то для преобразования открытой транспортной задачи в закрытую, вводится столбец фиктивного потребителя (строка фиктивного отправителя), потребности которого равны избытку ресурсов (запасы которого равны избытку потребностей).

Для определения последовательности распределения грузопотоков необходимо сравнить общую пропускную способность пунктов перевалки $\sum_{k=1}^{p} d_k$ с объемами производства $\sum_{i=1}^{m} a_i$ и объемами потребления $\sum_{j=1}^{n} b_j$.

Таблица 1.

Объединенная матрица двухэтапной ТЗ с прямыми поставками

	D_1	…	D_k	…	D_p	B_1	…	B_j	…	B_n	a_i, d_k
A_1											a_1
…			**I**					**II**			…
A_i			x_{ik}					x_{ij}			a_i
…											…
A_m											a_m
D_1											d_1
…			**III**					**IV**			…
D_k			x_{kk}					x_{kj}			d_k
…											…
D_p											d_p
d_k, b_j	d_1	…	d_k	…	d_p	b_1	…	b_j	…	b_n	

1) Если общая пропускная способность пунктов перевалки больше или равна суммарным объемам производства и потребления, т.е.:

$$\sum_{k=1}^{p} d_k \geq \sum_{i=1}^{m} a_i \text{ и } \sum_{k=1}^{p} d_k \geq \sum_{j=1}^{n} b_j \text{ -}$$

это говорит о том, что суммарные емкости пунктов перевалки могут быть использованы либо полностью, либо с резервом. Последовательность решения задачи в данном случае такая же, как и в многоэтапной ТЗ без прямых поставок.

Основное отличие такой задачи в том, что при равенстве общей пропускной способности пунктов перевалки объемам производства и потребления, необходимо оптимизировать план перевозок на I и II этапах в рамках единой модели, так как во II блоке задачи есть незаблокированные клетки. Более того, при таких условиях распределение грузопотоков можно начинать со II блока, в последовательности II, I, III, IV или в последовательности II, IV, III, I.

2) Если общая пропускная способность пунктов перевалки меньше суммарных объемов производства и потребления, т.е.:

$$\sum_{k=1}^{p} d_k < \sum_{i=1}^{m} a_i \text{ и } \sum_{k=1}^{p} d_k < \sum_{j=1}^{n} b_j \text{ -}$$

это говорит о том, что суммарных емкостей пунктов перевалки недостаточно для проходящих через них всех объемов груза. Поэтому распределение задачи начинают только со II блока, в последовательности II, I, III, IV или в последовательности II, IV, III, I. Но в данном случае возможны следующие ситуации:

а) Задача решается в рамках единой модели, если после распределения во II блоке (прямых поставок) суммарных мощностей пунктов перевалки больше, чем оставшихся объемов производства и потребления, т.е.:

$\sum_{i=1}^{m} a_i$ - $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} < \sum_{k=1}^{p} d_k$ и $\sum_{j=1}^{n} b_j$ - $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} < \sum_{k=1}^{p} d_k$, суммирование x_{ij} проводится для таких i и j, для которых $c_{ij} \neq M$.

Тогда на фиктивной диагонали в III блоке задачи будут отражены недоиспользованные емкости пунктов перевалки.

б) В случае равенства суммарных мощностей пунктов перевалки с оставшимися объемами производства и потребления, когда:

$\sum_{i=1}^{m} a_i$ - $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = \sum_{k=1}^{p} d_k$ и $\sum_{j=1}^{n} b_j$ - $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = \sum_{k=1}^{p} d_k$,

емкость каждого пункта перевалки в любом плане перевозок однородного груза будет использована полностью. При этом условии вариантов недоиспользования емкости пунктов перевалки нет, следовательно, схема перевозки груза на I этапе – из пунктов отправления в пункты перевалки – на зависит от схемы перевозки груза на II этапе – от пунктов перевалки потребителям и не зависит от схемы перевозки груза по прямому варианту. В этом случае имеют место три ТЗ с однородным грузом. Оптимизацию плана следует проводить отдельно для прямых поставок, для I и II этапов перевозки. Общий оптимум значений целевой функции Z* равен сумме частных оптимумов: $Z^* = Z_{п/п} + Z_I + Z_{II}$,

где $Z_{п/п}$ - целевая функция, минимизирующая затраты на транспортировку груза из пунктов отправления в пункты назначения;

Z_I - целевая функция, минимизирующая затраты на транспортировку груза из пунктов отправления в пункты перевалки;

Z_{II} - целевая функция, минимизирующая затраты на транспортировку груза из пунктов перевалки в пункты назначения;

На основе вышеизложенного, отметим основные особенности решения двухэтапной ТЗ с прямыми поставками (табл. 2.).

Таблица 2

Основные особенности решения в двухэтапной ТЗ с прямыми поставками

Соотношение между объемами производства, потребления и емкостями пунктов перевалки	Способ решения задачи
1) $\sum_{k=1}^{p} d_k \geq \sum_{i=1}^{m} a_i$ и $\sum_{k=1}^{p} d_k \geq \sum_{j=1}^{n} b_j$	Распределение грузопотоков можно начинать с любого блока, кроме блока III.
2) $\sum_{k=1}^{p} d_k < \sum_{i=1}^{m} a_i$ и $\sum_{k=1}^{p} d_k < \sum_{j=1}^{n} b_j$	
а) если $\sum_{i=1}^{m} a_i$ - $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} < \sum_{k=1}^{p} d_k$ и $\sum_{j=1}^{n} b_j$ - $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} < \sum_{k=1}^{p} d_k$	Распределение грузопотоков начинается только со II блока.
б) если $\sum_{i=1}^{m} a_i$ - $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = \sum_{k=1}^{p} d_k$ и $\sum_{j=1}^{n} b_j$ - $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = \sum_{k=1}^{p} d_k$,	Каждый блок задачи - II, I и IV (за исключением III блока) представляет собой отдельную ТЗ. Многоэтапной ТЗ не возникает.

Выводы. В данной статье рассматривалась особенность решения усложненной постановки многоэтапной ТЗ на примере двухэтапной. В качестве дополнительных условий были приняты наличие прямых поставок между пунктами производства и потребления груза, а также соотношение между суммарными объемами производства, потребления и емкостями пунктов перевалки груза. Учитывая вариации соотношений этих условий, была предложена последовательность распределения грузопотоков в матричной форме. Задача решается с использованием стандартных алгоритмов, а наличие дополнительных условий лишь влияет на последовательность распределения грузопотоков.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воевудский Е.Н. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом / Е.Н. Воевудский, Н.А. Коневцева, Г.С. Махуренко, И.П.Тарасова. − М.: Транспорт, 1988. – 384 с.

2. Andrianov A. The full Monge problem solution based on the linear programming (LP) // Proceedings of the 8th Congress of the International Society for Analysis, its Applications, and Computation (22–27 August 2011) V.3. – M.: Peoples' Friendship University of Russia, 2012. – P.94–101.

3. Канторович Л. В. Математико-экономические работы / Л. В. Канторович. — Новосибирск: Наука, 2011. — 760 с. — (Избранные труды).

4. Андрианов А.Л. Джордж Б.Данциг и история линейного программирования (ЛП) в США // Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2011. – М.: «Янус-К», 2011. – С.315–318.

5. Таха Хемди А. Введение в исследование операций /А. Таха Хемди. − М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. − 912 с.

6. Моделирование производственно-инвестиционной деятельности фирмы: «Профессиональный учебник» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений. Под редакцией профессора Г.В. Виноградова. – М.: UNITY, 2002. – 320 с.

7. Berzina, Istranikova, The way of solving two-stage transportation problems, Mathematical Methods in Economics, 1999. - p. 39 – 44.

8. Кремер Н.Ш. Исследование операций в экономике: Учебное пособие для вузов / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман. − М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1999. − 407 с.

9. Лунгу К.Н. Линейное программирование. Руководство к решению задач/ К.Н. Лунгу. М.: ФИЗМАЛИТ, 2005. - 128 с.

10. Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем: Учеб. Пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 432 с.

11. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики / В.С. Лукинский, И.А. Цвиринько, Ю.В. Малевич. Спб.: ПИТЕР, 2003. - 175 с.