

УДК 65.012.34

Н.Н. Поддубная

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСЛОЖНЕННЫХ ПОСТАНОВОК
ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Представлены экономико-математические модели усложненной транспортной задачи, позволяющие оптимизировать структуру логистических систем с участием морского транспорта путем выбора портов отправления и назначения и поставщиков, а соответственно, и маршрутов движения материальных потоков.

Ключевые слова: логистическая система, порты перевалки, поставщики, материальный поток.

Наведено економіко-математичні моделі ускладненої транспортної задачі, що дозволяють оптимізувати структуру логістичних систем за участю морського транспорту шляхом вибору портів відправлення і призначення і постачальників, а відповідно, і маршрутів руху матеріальних потоків.

Ключові слова: логістична система, порти перевалки, постачальники, матеріальний потік.

Mathematical economic models of complex transport task are presented. Models give an opportunity to optimize logistics system's structure involving sea transport by selecting ports of departure, ports of arrival, suppliers, and accordingly to it, routes of material flows' movement.

Keywords: logistic system, ports of transshipment, suppliers, material flow.

Постановка проблемы. В практике организации перевозок грузов нередко требуется при доставке грузов из одних пунктов в другие везти его через промежуточные пункты, которые чаще всего представляют собой порты (либо склады). Возможны разнообразные варианты постановки транспортной задачи с учётом этого требования.

Решение транспортной задачи позволяет определить структуру логистической системы с точки зрения определения участников, маршрутов движения материального потока, а также его объемов на отдельных ее участках.

Общая экономико-математическая модель транспортной задачи представлена в базовых трудах по исследованию операций [1; 2]. Применение усложненных постановок транспортной задачи и их усложненных постановок при решении задач на управления на морском транспорте представлено в источнике [3], где рассматривается оптимизация однородных грузопотоков, следующих через порты перевалки с учетом сбалансированности системы: суммарный объем груза в пунктах отправки равен суммарному его количеству в пунктах назначения.

Предприняты попытки адаптации моделей транспортного типа для обоснования отдельных параметров логистических систем [4-7]. Однако, экономико-математические модели усложненных постановок транспортной задачи обоснования логистических систем, позволяющие выбрать и поставщиков, и пункты перевалки не представлены.

Целью статьи является построение экономико-математических моделей на базе транспортной задачи, позволяющих обосновывать структуру логистических систем. Суть этих моделей состоит в нахождении оптимального маршрута доставки однородного груза из пунктов отправления в пункты назначения через порты с учетом требования выбора поставщика.

При этом следует учитывать, что решение такой задачи в рамках единой экономико-математической модели применительно к проблеме обоснования логистической системы должно предполагать:

1. Минимизацию общих расходов, поскольку именно этот критерий является соответствующим логистической концепции. Под общими расходами в данном случае подразумевается стоимость приобретения у поставщиков товара, расходы на перевозку, перевалку, экспедирование, таможенное оформление, складские операции и прочие, не являющиеся технологическими операциями при производстве.

2. Оптимизация маршрутов должна осуществляться при условии, что его движение начинается от источников (добывающих, производственных предприятий или распределительных центров, включая находящиеся в портах) и до стоков (производственных предприятий, распределительных центров, включая находящиеся в портах, или конечных потребителей). Если, например, конечными пунктами оптимизируемой системы являются порты, в которых принципиально осуществляется только перевалка по прямому или складскому варианту, то такая система не является логистической, так как поглощения материального потока не происходит.

3. У материального потока должен быть один собственник, поскольку минимизация общих расходов может происходить при их увеличении на отдельных этапах движения материального потока, перекрываемом уменьшением на других. Если расходы на этих участках несут различные субъекты экономической деятельности, то одни из них могут улучшить свои позиции, а другие ухудшить.

Лицо, которое имеет право собственности на материальные ценности, образующие поток в логистической системе, и несет расходы на всем пути его перемещения определяется базисными условиями поставки в договорах купли-продажи.

Примером применимости экономико-математических моделей усложненной транспортно задачи может служить следующая ситуация. Торговая компания закупает товары у нескольких поставщиков с целью дальнейшей перепродажи. Торговая компания планирует заключать с поставщиком договор купли-продажи, в котором будут определены ба-

зисные условия поставки товара – «франко-завод». Условия «франко-завод» означают, что обязательства продавца по поставке считаются выполненными после того, как он предоставил покупателю товар на своем предприятии (склад, завод, фабрика), покупатель несет все расходы и риски, связанные с перевозкой товара от предприятия продавца до места назначения.

Далее торговая компания заключает договор купли-продажи с компанией-импортером в стране назначения. В этом договоре также будут оговорены базисные условия поставки СРТ – Carriage Paid To ... – перевозка оплачена до.... На основании этого базисного условия продавец обязан отправить товар за свой счет в установленный в контракте срок в согласованный пункт поставки в месте назначения. Покупатель несет все расходы с момента прибытия товара в пункт поставки.

В приведенной ситуации может решаться в рамках единой модели задача выбора поставщика и пунктов перевалки груза.

Изложение основного материала. Рассмотрим двухэтапную транспортную задачу с выбором поставщика. Пусть в пунктах $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m$ предъявлен однородный груз. Его надо завезти в порты $D_1, D_2, \dots, D_k, \dots, D_p$, а затем доставить потребителям, расположенным в пунктах $B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_n$.

Известны $a_i (i = \overline{1, m})$, $b_j (j = \overline{1, n})$ – объемы производства и потребления в каждом пункте, а также $d_k (k = \overline{1, p})$ – пропускные способности портов (квота для экспедитора в порту), $c_{ik} (i = \overline{1, m}, k = \overline{1, p})$, $c_{kj} (k = \overline{1, p}, j = \overline{1, n})$ – транспортные издержки за перевозку 1 тонны груза в порты и из портов в пункты назначения соответственно, а также стоимость приобретения 1 тонны товаров у поставщиков на условиях франко-завод – $C_i (i = \overline{1, m})$. Прямые перевозки из пунктов производства в пункты назначения, минуя пункты перевалки, невозможны. Необходимо удовлетворить требования по объемам поставки всех потребителей.

Требуется составить оптимальный план поставки грузов, минимизирующий общие затраты на закупку и перевозку на двух этапах. В результате решения задачи должны быть построены оптимальные маршруты доставки груза через порт перевалки и выбраны поставщики.

Рассматриваемая постановка задачи предполагает, что:

1) пропускная способность пунктов перевалки больше объема перевозок, т.е.

$$\sum_{k=1}^p d_k > \sum_{j=1}^n b_j.$$

В этом случае имеет место недоиспользование мощности пунктов перевалки, и схема перевозки грузов будет зависеть от схемы доставки грузов до порта, поэтому необходима оптимизация плана перевозки от пункта отправления к пункту получения в рамках одной модели.

2) предложение превышает спрос, т.е.

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j.$$

В этом случае необязательно все поставщики будут осуществлять поставку груза потребителям.

Итак, в качестве критерия оптимизации Z используется минимизация общих транспортных расходов и расходов на закупку. Смысл параметра управления – объем перевозок грузов; на 1 этапе отыскивается план перевозок от пункта отправления ($i = \overline{1, m}$) в пункты перевалки ($k = \overline{1, p}$), т.е. $\{x_{ik}\}$, а на 2 этапе – от пункта перевалки ($k = \overline{1, p}$) в пункт получения ($j = \overline{1, n}$) – $\{x_{kj}\}$.

Математическая модель многоэтапной транспортной задачи в рассматриваемом случае имеет вид

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p (C_i + c_{ik}) \cdot x_{ik} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n c_{kj} x_{kj} \Rightarrow \min; \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq a_i (i = \overline{1, m}); \quad (2)$$

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

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} - \sum_{j=1}^n x_{kj} = 0 (k = \overline{1, p}); \quad (4)$$

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

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ik} = \sum_{j=1}^n b_j; \quad (6)$$

$$x_{ik} \geq 0 (i = \overline{1, m}; k = \overline{1, p}); x_{kj} \geq 0 (k = \overline{1, p}; j = \overline{1, n}). \quad (7)$$

где (1) Z_{min} – целевая функция, минимизирующая затраты на закупку и транспортные расходы на перевозки из пункта отправления в пункт назначения через пункты перевалки;

(2) – ограничения по наличию груза у каждого поставщика: объем вывезенного груза не должен превышать его наличие у поставщика;

(3) – ограничения о использовании пропускной способности (квоты) каждого пункта перевалки (порта) по прибытию грузов: объемы перевалки через каждый порт не должны превышать квоту для экспедитора в этом порту;

(4) – ограничения по ввозу и вывозу груза из портов: весь груз, ввезенный в каждый порт должен быть вывезен из него в полном объеме;

(5) – ограничения обязательного удовлетворения потребности каждого пункта назначения;

(6) – ограничение об общем объеме материального потока в системе: суммарное количество груза, вывезенного от поставщиков во все промежуточные порты должно быть равно суммарной потребности в нем у получателей;

(7) – условие неотрицательности переменных.

Рассмотрим трехэтапную транспортную задачу с выбором поставщика.

Пусть в пунктах производства $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_m$ предъявлен однородный груз. Его надо завезти в порты отправления $D_1, D_2, \dots, D_k, \dots, D_p$, осуществить выгрузку в портах назначения $B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_n$, а затем доставить потребителям, расположенным в пунктах $F_1, F_2, \dots, F_l, \dots, F_L$.

Известны $a_i (i = \overline{1, m})$, $b_l (l = \overline{1, L})$ – объемы производства и потребления в каждом пункте, а также $d_k (k = \overline{1, p})$ – пропускные способности портов отправления (квота для экспедитора в портах отправления), $c_{ik} (i = \overline{1, m}, k = \overline{1, p})$, $c_{kj} (k = \overline{1, p}, j = \overline{1, n})$, $c_{jl} (j = \overline{1, n}, l = \overline{1, L})$ – транспортные издержки за перевозку 1 тонны груза в порты отправления, между портами и из портов назначения в пункты потребления, соответственно, а также стоимость приобретения 1 тонны товаров у поставщиков на условиях франко-завод – $C_i (i = \overline{1, m})$. Прямые перевозки из пунктов производства в пункты назначения, минуя пункты перевалки, невозможны. Необходимо удовлетворить требования по объемам поставки всех потребителей.

Требуется составить оптимальный план поставки грузов, минимизирующий общие затраты на закупку и перевозку на трех этапах. В результате решения задачи должны быть построены оптимальные маршруты доставки груза через порты перевалки и выбраны поставщики.

Рассматриваемая постановка задачи предполагает, что:

1) пропускная способность пунктов перевалки больше объема перевозок, т.е.

$$\sum_{k=1}^p d_k > \sum_{j=1}^n b_j .$$

В этом случае имеет место недоиспользование мощности пунктов перевалки, и схемы перевозки на этапах будут взаимозависимы, поэтому необходима оптимизация плана перевозки от пункта отправления к пункту получения в рамках одной модели;

2) предложение превышает спрос, т.е.

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j.$$

В этом случае необязательно все поставщики будут осуществлять поставку груза потребителям;

3) имеется квота для экспедитора в портах отправления;

4) в портах назначения возможный объем перевалки не ограничивается.

Итак, в качестве критерия оптимизации Z используется минимизация общих транспортных расходов и расходов на закупку. Смысл параметра управления – объем перевозок грузов; на 1 этапе отыскивается план перевозок от пункта отправления ($i = \overline{1, m}$) в порты отправления ($k = \overline{1, p}$), т.е. $\{x_{ik}\}$, а на 2 этапе – от порта отправления ($k = \overline{1, p}$) в порты назначения ($j = \overline{1, n}$) – $\{x_{kj}\}$, на 3 этапе – от портов назначения ($j = \overline{1, n}$) в пункты потребления ($l = \overline{1, L}$) – $\{x_{jl}\}$.

Математическая модель трехэтапной транспортной задачи с выбором поставщика в рассматриваемом случае имеет вид

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p (C_i + c_{ik}) \cdot x_{ik} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n c_{kj} x_{kj} + \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L c_{jl} x_{jl} \Rightarrow \min \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq a_i \quad (i = \overline{1, m}); \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} \leq d_k \quad (k = \overline{1, p}); \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} - \sum_{j=1}^n x_{kj} = 0 \quad (k = \overline{1, p}); \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^p x_{kj} - \sum_{l=1}^L x_{jl} = 0 \quad (j = \overline{1, n}); \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jl} = b_l \quad (l = \overline{1, L}); \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ik} = \sum_{l=1}^L b_l; \quad (14)$$

$$\begin{aligned} x_{ik} &\geq 0 \quad (i = \overline{1, m}; k = \overline{1, p}), x_{kj} \geq 0 \quad (k = \overline{1, p}; j = \overline{1, n}), \\ x_{jl} &\geq 0 \quad (j = \overline{1, n}; l = \overline{1, L}) \end{aligned} \quad (15)$$

где (8) Z_{min} – целевая функция, минимизирующая затраты на закупку и транспортные расходы на перевозки из пункта отправления в пункты назначения через пункты перевалки;

(9) – ограничения по наличию груза у каждого поставщика: объем вывезенного груза не должен превышать его наличие у поставщика;

(10) – ограничения о использовании пропускной способности (квоты) каждого пункта перевалки (порта) по прибытию грузов: объемы перевалки через каждый порт не должны превышать квоту для экспедитора в этом порту;

(11) – ограничения по ввозу и вывозу груза из портов отправления: весь груз, ввезенный в каждый порт отправления, должен быть вывезен из него в полном объеме;

(12) – ограничения по ввозу и вывозу груза из портов назначения: весь груз, ввезенный в каждый порт назначения, должен быть вывезен из него в полном объеме;

(13) – ограничения обязательного удовлетворения потребности каждого пункта назначения;

(14) – ограничение об общем объеме материального потока в системе: суммарное количество груза, вывезенного от поставщиков во все промежуточные порты должно быть равно суммарной потребности в нем у потребителей.

(15) – условие неотрицательности переменных.

Заключение. Применение математических моделей транспортной задачи возможно для решения самых разнообразных вопросов, таких как рационализация поставок важнейших видов продукции, разработка оптимальных планов перевозок, оптимизация схем грузопотоков для отдельных видов транспорта, оптимизация маршрутов движения транспортных средств, выбор оптимального порта перевалки, выбор вида транспорта для перевозок грузов. При использовании моделей транспортной задачи одним из главных вопросов является выбор и обоснование критерия оптимизации. Обоснование выбора критерия оптимизации процедура, которая не может быть полностью формализована, она должна выполняться тщательно, с учётом знания системы показателей работы транспорта, порта и взаимосвязей между ними. Общий подход к выбору и обоснованию критерия оптимизации обычно основывается на учёте следующих обстоятельств. В качестве критерия выбирается только такой показатель, который может быть количественно измерен. Чаще всего выполняется обоснование одного показателя, принимаемого в качестве критерия, реже – группы критериев, в зависимости от этого говорят о задачах с одним критерием или многокритериальных. Иногда говорят об эквивалентных критериях, разных по смыслу, но таких, при которых формируется одинаковое предпочтение на загрузку клеток и следовательно, один и тот же оптимальный план.

Дальнейшее развитие моделей данного класса предполагает рассмотрение постановок задачи с использованием других критериальных показателей, а также с учетом дополнительных ограничений.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Таха Хемди А. Введение в исследование операций [Текст] / А. Таха Хемди. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 912 с.
2. Кремер Н.Ш. Исследование операций в экономике: Учебное пособие для вузов [Текст] / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1999. – 407 с.
3. Воевудский Е.Н. Экономико-математические методы и модели в управлении [Текст] / Е.Н. Воевудский, Н.А. Коневцева, Г.С. Махуренко, И.П.Тарасова. – М.: Транспорт, 1988. – 384 с.
4. Миротин Л.Б. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах [Текст] / Л.Б. Миротин, В.А. Гудков, В.В. Зырянов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 704 с.
5. Миротин Л.Б. Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов [Текст] / Л.Б. Миротин. – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 448 с.
6. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики: Учебное пособие. [Текст] / В.С. Лукинский. – СПб.: Питер, 2007. – 448 с.
7. Николайчук В.Е. Транспортно-складская логистика: Учебное пособие [Текст] / В.Е. Николайчук. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о», 2006. – 452 с.

Стаття надійшла до редакції

Рецензенти: