УДК 657.339

Р.Н. СТРЕЛЬНИКОВ, к.э.н., доц., ДГМА, Краматорск
М.С. СТРЕЛЬНИКОВА, ст. преп., ДГМА, Краматорск

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

У даній статті розглянуті питання мінімізації транспортних, постачальницьких і реалізаційних витрат, шляхом створення економіко-математичної моделі автотранспортних перевезень при здійсненні зовнішньоекономічних операцій, заснованої на створенні логістичної схеми вибору оптимального маршруту.

The questions of minimization of transport, procurement and realization charges are considered in this article, by creation of ekonomiko-mathematical model of motor transport transportations during realization of external economic operations, logistic pattern of choice of optimum route based on creation.

Ключевые слова. экономико-математическая модель, минимизация расходов логистических операций, внешнеэкономические операции.

Введение. С целью минимизации расходов по транспортировке грузов, как при закупке, так и при реализации, все предприятия всегда пытаются использовать логистические и экономико-математические схемы, которые позволяют минимизировать снабженческие и сбытовые расходы. [1]. Основная цель логистики – это доставка груза в нужное время, в нужное место с минимальными затратами. Необходимость логистики резко возрастает в ходе расширения производства и потребности в оперативной деятельности с целью конкурентной борьбы [2]. Многообразие логистических операций и услуг позволяет значительно расширить возможности предприятий и организаций при осуществлении внешнеэкономических операций.

Актуальность темы исследования заключается в том, что для предприятий, осуществляющих внешнеэкономические операции, возникает острая необходимость обратить серьезное внимание на оптимизацию своей внешнеэкономической деятельности, так как в Украине во все большей степени укореняются принципы рыночной экономики, усиливается конкуренция. В этом контексте особое значение приобретает создание систем, позволяющих повысить эффективность управления материальными потоками, что улучшает всю хозяйственную деятельность. Резервы повышения конкурентоспособности в сфере производства для многих предприятий, практически исчерпаны. Поэтому необходимо больше внимания уделять оптимизации процессов, связанных с минимизацией расходов по внешнеэкономическим операциям.

Постановка задачи. Цель данной статьи – рассмотреть варианты оптимизации процесса перевозки грузов автомобильным транспортом при осуществлении внешнеэкономических операций методами экономико-математического моделирования.

В ходе написания статьи были поставлены следующие задачи: описать особенности транспортной логистики; охарактеризовать сущность и виды транспортных логистических услуг при осуществлении внешнеэкономических операций; охарактеризовать маршруты движения автотранспорта; проанализировать методы оптимизации маршрутов; построить экономико-математическую модель процесса перевозки грузов по маятниковому маршруту с обратным холостым пробегом при осуществлении внешнеэкономических операций.

Методология. Проблемы разработки оптимальных логистических схем для минимизации расходов предприятия при выполнении обязательств по внешнеэкономическим контрактам всегда находились в центре внимания ученых-экономистов. Значительный вклад в изучение отдельных теоретических проблем и разработку практических рекомендаций по логистическим операциям внесли такие отечественные исследователи, как Е.М. Крикавский, В.Е. Николайчук, В.Г. Кузнецов и др. [3-5].

Результаты исследования. Для оптимизации движения грузопотока на транспорте при осуществлении внешнеэкономических операций используют транспортные методы, которые дают возможность избрать наилучший вариант перевозки грузов из нескольких пунктов снабжения в несколько пунктов назначения (потребление), обеспечивая наименьшие суммарные расходы, связанные с производством и транспортировкой изделий. Для этого изучается мощность каждого из клиентов (поставщиков и потребителей).

На автомобильном транспорте наиболее часто встречаются следующие задачи, относящиеся к транспортным:

- прикрепление потребителей ресурса к производителям;
- привязка пунктов отправления к пунктам назначения;
- взаимная привязка грузопотоков прямого и обратного направлений.

Рассмотрим экономико-математическую модель прикрепления пунктов направления к пунктам назначения. Имеются m пунктов отправления груза при осуществлении внешнеэкономических операций и объемы отправления по каждому пункту $a_1, a_2,..., a_m$. Известна потребность в грузах $b_1, b_2,..., b_n$ по каждому из n пунктов назначения задана матрица стоимостей доставки по каждому варианту c_{ij}, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$. Необходимо рассчитать оптимальный план перевозок, т. е. определить сколько груза должно быть отправлено из каждого i-го пункта отправления (от поставщика) в каждый j-й пункт назначения (до потребителя) x_{ij} с минимальными транспортными издержками.

В общем виде исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 2.1 – Исходные даные

Поставщики	Потребители				Запасы (объемы отправки)
	B_1	B_2	…	B_n	
A_1	c_{11}	c_{12}	…	c_{1m}	a_1
A_2	c_{21}	c_{22}	…	c_{2m}	a_2
…	…	…	…	…	:
A_m	c_{1n}	c_{2n}	…	c_{nm}	a_m
Потребность	b_1	b_2	…	b_n	

Транспортная задача называется закрытой, если суммарный объем отправляемых грузов $\left(\sum_{i=1}^{m} a_i\right)$ равен суммарному объему потребности в этих грузах по пунктам назначения $\left(\sum_{j=1}^{n} b_j\right)$: $\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$ (1)

Если такого равенства нет (потребности выше запасов или наоборот), задачу называют открытой, т.е.: $\sum_{i=1}^{m} a_i \neq \sum_{j=1}^{n} b_j$ (2)

Для написания модели необходимо все условия (ограничения) и целевую функцию представить в виде математических уравнений.

Все грузы из i пунктов должны быть отправлены, т.е.: $\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i, i = \overline{1, m}$ (3)

Все j пункты (потребители) должны быть обеспечены грузами в плановом объеме: $\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = b_{ij}\ ,\ j = \overline{1, n}$ (4)

Суммарные объемы отправления должны равняться суммарным объемам назначения: $\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$ (5)

Должно выполняться условие неотрицательности переменных: $x_{ij} \geq 0$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$. Перевозки необходимо осуществить с минимальными транспортными издержками (функция цели): $Z_{\min} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} \cdot x_{ij}$ (6)

В модели вместо матрицы стоимостей перевозок (c_{ij}) при осуществлении внешнеэкономических операций могут задаваться матрицы расстояний. В таком случае в качестве целевой функции рассматривается минимум суммарной транспортной работы. Как видно из выражения (5), уравнение баланса является обязательным условием решения транспортной задачи при осуществлении внешнеэкономических операций. Поэтому, когда в исходных условиях дана открытая задача, то ее необходимо привести к закрытой форме. В случае если: потребности по пунктам назначения превышают запасы пунктов отправления, то вводится фиктивный поставщик с недостающим объемом отправления; запасы поставщиков превышают потребности потребителей, то вводится фиктивный потребитель с необходимым объемом потребления. Варианты, связывающие фиктивные пункты с реальными, имеют нулевые оценки. После введения фиктивных пунктов задача решается как закрытая.

Транспортным задачам присущи следующие особенности: распределению подлежат однородные ресурсы; условия задачи описываются только уравнениями; все переменные выражаются в одинаковых единицах измерения; во всех уравнениях коэффициенты при неизвестных равны единице; каждая неизвестная встречается только в двух уравнениях системы ограничений. Одним из распространенных методов решения транспортных задач при осуществлении внешнеэкономических операций является метод потенциалов. Решение задачи методом потенциалов включает следующие этапы: разработку начального плана (опорного решения); расчет потенциалов и проверка плана на оптимальность; поиск максимального звена неоптимальности; составление контура перераспределения ресурсов; определение минимального элемента в контуре перераспределения и перераспределение ресурсов по контуру и получение нового плана [6].

Описанная процедура повторяется несколько раз (итераций), пока не будет найдено оптимальное решение. Вычислительный алгоритм для каждой итерации не меняется. В процессе решения каждого этапа (в том числе и после получения допустимого плана) по загруженным клеткам выполняется проверка на условие (m+n-1). Если это условие не выполняется, то план называется вырожденным. В этом случае в любые свободные клетки нужно поставить столько нулей, чтобы с их учетом выполнялось условие. Клетка, в которой стоит ноль, считается занятой.

Расчет потенциалов производиться по загруженным клеткам, для которых должно выполняться следующее равенство: $\alpha_i + \beta_j = c_{ij}$ (7)

где α_i - потенциал i-й строки;

β_j - потенциал j-го столбца.

По незагруженным клеткам определяется план на оптимальность при помощи следующего равенства: $\alpha_i + \beta_j \le c_{ij}$

(8)

Если для незагруженных клеток это условие выполняется, то план является оптимальным. Если условие не выполняется, то начальный план требует улучшения.

Контур перераспределения ресурсов составляется по следующим правилам:

1) этот контур представляет собой замкнутый многоугольник с вершинами в загруженных клетках, с вершиной максимальной неопределенности и звеньями, лежащими вдоль строк и столбцов лежащих вдоль матрицы;
2) ломаная линия должна быть связана, т.е. из любой ее вершины можно попасть в любую другую вершину по строке или по столбцу;
3) в каждой вершине контура встречаются только 2 звена, одно из них располагается по строке, другое - по столбцу;
4) число вершин контура четное, все они в процессе распределения делятся на загружаемые и разгружаемые;
5) в каждой строке (столбце) имеется одна загружаемая другая разгружаемая.

Перераспределение ресурсов по контуру осуществляется с целью нахождения оптимального плана. В процессе распределения ни одна из вершин не должна принять отрицательное значение, поэтому анализируются только разгруженные клетки. Из клеток выбирается клетка с минимальным объемом перевоза.

Все перечисленные задачи базируются на математическом моделировании изучаемого процесса, т.е. на описании количественных закономерностей этого процесса, с помощью математических выражений (математической модели). Математическая модель является абстрактным изображением реального процесса и в меру своей абстрактности может его характеризовать более или менее точно.

Одной из задач в логистической системе является разработка стратегии и логистической концепции построения модели транспортного обслуживания потребителей и фирм при осуществлении внешнеэкономических операций. Эта стратегия основывается на расчете рациональных маршрутов перевозки и составлении оптимальных графиков (расписаний) доставки продукции потребителям, т.е. отвечает на вопросы когда, сколько и в какое время должны быть доставлены грузы.

Вариантом организации движения автомобиля может быть маятниковый маршрут с обратным холостым пробегом.

На практике при планировании работы автомобилей по маятниковым маршрутам с обратным холостым пробегом руководствуются единственным правилом: последний пункт разгрузки автомобилей должен быть как можно ближе к предприятию. Считается, что при соблюдении этой основанной на здравом смысле рекомендации обеспечивается минимум пробега без груза. Анализ транспортной задачи методом линейного программирования показал, что такое решение совсем неочевидно.

Постановка задачи. Допустим, что с базы А необходимо доставить продукцию потребителям $Б_1$ и $Б_2$. К обоим потребителям автомобиль может сделать за время в наряде две ездки. Необходимо составить маршрут движения автомобиля, обеспечивающий минимум холостого пробега [7].

При решении этой задачи могут возникнуть два случая:

1) продукция поставляется в пункт $Б_2$, а затем в $Б_1$,из $Б_1$ автомобиль поступает а АТП (пункт Г);

2) продукция поставляется в пункт $Б_1$, а потом в продукция поставляется в пункты $Б_2$, из $Б_2$ автомобиль возвращается в АТП (пункт Г).

Для выбора варианта перевозки продукции производиться расчет коэффициента использования пробега автомобиля и полученные значения сводятся в таблицу. Задача составления рациональных маршрутов, обеспечивающих минимальный холостой пробег транспортных средств, сводиться к следующей задаче линейного программирования:

Минимизировать линейную формулу $L = \sum_{j=1}^{n} (l_o^{Б_j} - l_{АБ_j}) X_j$

(9)

при условиях:
$$\begin{cases} X_j > 0 \\ X_j < Q_j \\ \sum_{j=1}^{n} X_j = N \end{cases} \quad (10)$$

где L - холостой пробег, км;

$l_o^{Б_j}$ - расстояние от пункта назначения $Б_j$ до предприятия (второй нулевой пробег), км;

$l_{АБ_j}$ - расстояние от А до $Б_j$ (груженый пробег), км;

j - номер (индекс) потребителя ($j = 1,2,...,n$);

X_j -количество автомобилей, работающих на маршрутах с последним пунктом разгрузки $Б_j$;

N – число автомобилей ,работающих на всех маршрутах;

Q_j - объем перевозок.

Допустим, что пункты назначения занумерованы в порядке возрастания разностей $(l_o^{Б_j} - l_{АБ_j})$: $l_o^{Б_1} - l_{АБ_1} \le l_o^{Б_2} - l_{АБ_2} \le l_o^{Б_3} - l_{АБ_3} \le ... \le l_o^{Б_n} - l_{АБ_n}$

(11)

Тогда оптимальное решение таково:

$$\begin{cases} X_1 = \min(Q_1, N) \\ X_2 = \min(Q_2, N - X_1) \\ X_3 = \min(Q_3, N - X_2) \\ \dots \\ X_n = \min(Q_m, N - \sum_{j=1}^{n=1} X_j) \end{cases} \qquad (12)$$

Решая эту задачу, мы должны знать, что наилучшее решение получается при такой системе маршрутов, когда максимальное число автомобилей заканчивает работу в пунктах назначения с минимальными разностями $l_o^{Б_j} - l_{АБ_j}$, т.е. второго нулевого и груженого пробегов.

Для решения задачи необходимо исходные данные записать в специальную таблицу, с помощью которого произвести все необходимые вычисления по составлению маршрутов (таблица 2).

Таблица 2 – Исходные данные для вычислений по составлению маршрутов при осуществлении внешнеэкономических операций

Пункт назначения	Количество груженых ездок			Столбец разностей
$Б_1$	$l_o^{Б_1}$	Q_1	l_{AB_1}	$l_o^{Б_1}$ - l_{AB_1}
$Б_2$	$l_o^{Б_2}$	Q_2	l_{AB_2}	$l_o^{Б_2}$ - l_{AB_2}
…		…		…
$Б_j$	$l_o^{Б_j}$	Q_j	l_{AB_j}	$l_o^{Б_j}$ - l_{AB_j}
…		…		…
$Б_n$	$l_o^{Б_n}$	Q_n	l_{AB_n}	$l_o^{Б_n}$ - l_{AB_n}

Для каждого пункта назначения, т.е. по каждой строке рассчитывают алгебраические разности $l_o^{Б_j} - l_{АБ_j}$, которые записывают в соответствующие клетки столбца разностей.

Расчет экономической эффективности применения экономико-математических методов при маршрутизации перевозок по внешнеэкономическим контрактам определяют по формуле:

$$Э = L_{гр}\left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2}\right)C_1 - З \qquad (13)$$

где $L_{гр}$ - пробег подвижного состав с грузом, тыс.км;

β_1, β_2 - коэффициенты использования пробега, вычисленные до применения ЭВМ и на ЭВМ;

C_1 - средние затраты на 1 км пробега подвижного состава, коп.;

$З$ - расходы на выполнение расчетов по решению задач, тыс.грн.

Выводы. Таким образом, можно сделать заключение, что логистика охватывает процессы, связанные с производством, транспортировкой, предоставлением различных видов услуг, функционирования элементов логистической системы, целью которой является доставка грузов точно в срок при минимальных расходах трудовых, материальных и денежных ресурсов при осуществлении внешнеэкономических операций.

Анализ видов маршрутов автомобильного транспорта позволил выделить из них маятниковый, т.к. он позволяет обеспечить наибольшую загрузку транспортного средства предприятия, занимающегося внешнеэкономической деятельностью.

Список литературы. 1. Неруш Ю.М. Коммерческая логистика. Москва, «Банки и биржи» издательское объединение «ЮНИТИ», 1997. – 424с. **2.** Аникин Б.А. Логистика. – М: ИНФРА, 1997. – 480с. **3.** Крикавский Е.М. Логистика предприятия–Львов: Львовский политехник, 1996. – 360с. **4.** Николайчук В.Е. Основы логистики. Донецк «КНТИС», 1999. – 280с. **5.** Николайчук В.Е., Кузнецов В.Г. Теория и практика управления материальными потоками (логистическая концепция) - Донецк «КНТИС», 1999. – 240с. **6.** Голиков Е.А. Основы логистики и бизнес логистики. – М: РЭА, 1993. – 420с. **7.** Неруш Ю.М. Логистика: учеб.-4-е изд., перераб. и доп.- М ТК Велби, издательство Проспект,2006.-520с.

Подано до редакції 16.02.2010