

4. Хомутский Д.Ю. Управление инновациями в компании — М.: Солон-Пресс, 2008.
5. Логистика. Учебное пособие. /Под ред. Б.А.Аникина, Т.А. Родкиной. — М.: Проспект, 2008.
6. Новиков Д.Т., Степанов В.И. Использование инновационной логистики в индустрии гостеприимства. Учебное пособие. — М.: РЭА им. Г.В. Плеханова, 2009.
7. Степанов В.И. Логистика. Учебник. — М.: Проспект, 2010.

УДК 519.863

### ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА

*Онищенко С.П.*, д.э.н., заведующая кафедрой «Организация таможенного контроля на транспорте» Одесского национального морского университета

*Смолянинов Е.Л.*, аспирант кафедры «Организация таможенного контроля на транспорте» Одесского национального морского университета

В настоящее время рынок транспортных услуг представляет собой «рынок покупателя», то есть рынок, на котором предложение превышает спрос, и грузовладелец отдает предпочтение одному из многих операторов перевозки, наиболее полно отвечающего его требованиям. В свою очередь, для самих операторов это означает необходимость расширения номенклатуры услуг и повышения уровня сервиса для поддержания конкурентоспособности.

Одна из услуг, предоставляемая оператором (логистом) - оптимизация маршрута доставки, и решение этой задачи невозможно без соответствующей инструментальной поддержки.

Традиционно, при оптимизации процесса доставки груза используются экономико-математические модели транспортных задач, в том числе, задачи в сетевой постановке [1,2]. При этом, как правило, задачи нахождения оптимального маршрута решаются, по критерию минимизации затрат либо времени на доставку. Современные исследователи предлагали различные модификации этих моделей, внося в них учет, например, зависимости стоимости доставки от времени и объема партии груза и т.д. [3]. Отметим, что в практических ситуациях часто важны два критерия – стоимость доставки и время доставки. При локальной оптимизации получаются решения, зачастую противоречащие друг другу. Выходом из сложившейся ситуации является учет многокритериальности требований [2,4].

Более того, полученные в ходе оптимизационных расчетов результаты не всегда соответствуют действительности. Так, время прохождения груза через порт, в течение которого происходит в том числе и оформление документов и улаживание других формальностей для одной и той же грузовой партии может варьироваться, причем степень варьирования отличается в различных портах. Также на пути следования груза могут возникать непредвиденные задержки (например, из-за погодных условий), что ведет к необходимости минимизации не только времени и стоимости доставки, а и их возможных отклонений. Эти и другие факторы необходимо учитывать при выборе маршрута доставки с тем, чтобы получаемые теоретические результаты были максимально адекватны практическим ситуациям.

Таким образом, учет вероятностной природы параметров транспортировки необходим для получения достоверных результатов. Следует отметить, что отдельные современные исследователи в сфере транспорта [4,5] учитывают вероятностную природу процессов доставки, однако проблема маршрутизации в их работах не рассматривается.

Исходя из вышеизложенного, целью данной статьи является разработка математической модели, позволяющей оптимизировать маршрут доставки груза с учетом вероятностной природы параметров процесса доставки.

Как известно, основными характеристиками процесса доставки являются: расходы и время. Именно эти две характеристики выступают в качестве критериев оптимизации маршрутов доставки в традиционных математических моделях.

Но современные требования рынка транспортных услуг таковы, что помимо стоимости и времени, грузовладельцев интересует, например, надежность доставки, критерием которой может являться минимизация возможных отклонений времени доставки – особенно это актуально для доставки на принципах «точно в срок». Также немаловажным является минимизация возможных отклонений финансовых затрат на доставку.

Принимаем за базу модель транспортной задачи в сетевой постановке [6].

Для нахождения маршрута, отвечающего комплексным требованиям грузовладельца, предлагается использовать многокритериальный подход, и в качестве системы критериев рассматривать: 1) традиционные – время и стоимость доставки; и 2) учитывающие вероятностную природу времени и стоимости доставки.

В исследованиях [4,5,6] было установлено, что расходы и время транспортировки есть случайные величины, подчиненные нормальному закону распределения. Поэтому в качестве расходов по доставке  $R$  и времени доставки  $T$  используем математические ожидания, а в качестве параметров, характеризующих надежность выбранного маршрута – дисперсии величин расходов  $\sigma_R^2$  и времени  $\sigma_T^2$ .

Итак, предлагается для формирования маршрутов доставки использовать следующую экономико-математическую модель:

$$Z_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^2 R_{ij}^k * x_{ij}^k \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$Z_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^2 T_{ij}^k * x_{ij}^k \rightarrow \min; \quad (2)$$

$$Z_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^2 \sigma_T^2 * x_{ij}^k \rightarrow \min; \quad (3)$$

$$Z_4 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^2 \sigma_R^2 * x_{ij}^k \rightarrow \min; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^2 x_{ij}^k = 1; \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^2 x_{im}^k = 1; \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^{m-1} \sum_{k=1}^2 x_{ij}^k - \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{k=1}^2 x_{j+1}^k = 0, i = \overline{2, n}; \tag{7}$$

$$x_{ij}^k = \{0;1\}; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}; k = \{1;2\}, \tag{8}$$

где (1)–(4) – целевые функции задачи, отражающие стремление к минимизации, соответственно, расходов, времени доставки и их дисперсий;

$x_{ij}^k$  – параметр управления, определяющий перевозку груза из пункта  $i$  в пункт  $j$  видом транспорта  $k$ ,  $x = \{0;1\}$ ;

(5), (6) – ограничения, обеспечивающие соответственно вывоз груза из пункта отправления и доставку в пункт назначения;

(7) – комплекс ограничений, определяющий обязательный вывоз груза из промежуточных пунктов;

(8) – ограничения на возможные значения переменных.

Данную многокритериальную задачу удобно решать методом последовательных уступок. На этапе формирования задачи, следует выяснить, что является приоритетным для грузовладельца: минимизация времени доставки, минимизация расходов, либо надежность маршрута.

Задача решается в четыре этапа, на каждом из которых оптимизируется один из параметров маршрута доставки, а на следующем этапе лицом, принимающим решение, устанавливаются ограничения на полученное значение. На последнем этапе будет определяться маршрут, для которого один из параметров принимает оптимальное значение, а остальные три – значения, не превышающие допустимых отклонений от оптимальных.

В качестве расчетного примера была рассмотрена организация доставки генеральных грузов в контейнерах из Харькова в Одесский порт, автомобильным либо железнодорожным транспортом. В качестве исходных данных были взяты: транспортная сеть, представляющая собой множество маршрутов из Харькова в Одессу; расстояния между промежуточными пунктами транспортной сети; время доставки груза между пунктами; величины расходов на доставку грузов и дисперсии расходов и времени по доставке.



Рис.1 Схема возможных маршрутов

В экспериментальных расчетах было принято, что грузовладелец согласен заплатить сумму, несколько превышающую оптимальную, и согласен на небольшое увеличение сроков доставки, но с условием, предоставления ему надежного маршрута ( в табл. 1 Ж/Д и А – железнодорожный и автомобильный транспорт соответственно).

Итак, в данной стаи предложена модификация модели классической транспортной задачи в сетевой постановке: модель учитывает многокритериальность и вероятностную природу параметров доставки. Предлагаемый подход учитывает реальную обстановку в ходе реализации процесса доставки, в отличие от существующих подходов, что обуславливает адекватность получаемых с помощью предлагаемой модели результатов, а учет возможных отклонений времени и стоимости доставки груза влияет на выбор промежуточных пунктов следования и портов перевалки.

Использование предложенного подхода позволяет учитывать в математической форме негативные влияния различных непредвиденных ситуаций, используя статистические данные, полученные на основе прошлого опыта операторов перевозок, что дает

возможность на практике оценить значения  $\sigma_R^2$  и  $\sigma_T^2$ .

Таблица 1.

Исходные данные экспериментальных расчетов

Участок маршрута	Расстояние, км	Время доставки, сут		Дисперсия времени доставки, сут		Стоимость доставки, у.е.		Дисперсия стоимости доставки, у.е.	
		Ж/Д	А	Ж/Д	А	Ж/Д	А	Ж/Д	А
1-2	143	4,77	3,18	0,35	0,46	138	114	28	25
1-3	234	7,8	5,2	0,43	0,63	224	187	38	31
2-3	188	6,27	4,18	0,38	0,51	177	150	27	33
2-4	116	3,87	2,58	0,21	0,41	110	93	18	22
3-5	104	3,47	2,31	0,23	0,37	100	83	13	17
3-6	148	4,93	3,29	0,27	0,42	138	118	16	20
4-6	184	6,13	4,09	0,48	0,53	177	147	21	23
4-7	131	4,37	2,91	0,24	0,35	129	105	20	19
5-8	119	3,97	2,64	0,19	0,33	110	95	19	17
6-9	241	8,03	5,36	0,55	0,67	234	193	35	37
6-10	175	5,83	3,89	0,5	0,42	167	140	23	20
7-9	127	4,23	2,82	0,21	0,34	119	102	22	25
8-11	225	7,5	5	0,47	0,65	215	180	31	23
9-12	211	7,03	4,69	0,43	0,67	205	169	30	34
10-12	147	4,9	3,27	0,35	0,47	138	118	22	19
11-12	213	7,1	4,73	0,49	0,59	205	170	29	37

Результаты экспериментальных расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Оптимальные значения показателей в локальных и многокритериальной задачах

Показатель	Значение показателя	
	оптимальное для однокритериальной задачи	в соответствии с многокритериальной моделью
время, сут	14,58	15,22
дисперсия времени, сут	0,84	0,88
стоимость доставки, у.е./TEU	525	545
дисперсия стоимости доставки, у.е./TEU	44,78	44,78

Таким образом, предлагаемый подход обеспечивает комплексные требования грузоотправителя и позволяет получать более достоверные результаты.

**РЕЗЮМЕ:**

В статье рассматривается многокритериальный подход к оптимизации маршрута доставки грузов, учитывающий возможные отклонения параметров процесса доставки. Предложена модель, которая позволяет определять маршрут доставки с минимально допустимыми затратами времени и стоимости доставки с заданным уровнем надежности маршрута.

**Ключевые слова:** доставка, маршрут, дисперсия, многокритериальность, надежность, оптимизация

**РЕЗЮМЕ:**

У статті розглядається багатокритеріальний підхід до оптимізації маршруту доставки вантажів, враховує можливі відхилення параметрів процесу доставки. Запропоновано модель, яка дозволяє визначати маршрут доставки з мінімально допустимими витратами часу і вартості доставки з заданим рівнем надійності маршруту.

**Ключові слова:** доставка, маршрут, дисперсія, багатокритеріальність, надійність, оптимізація

**SUMMARY**

The article describes multi-criteria optimization method for the route of delivery of goods, taking into account the possible deviation of the parameters of the delivery process. This method allows to determine the route of delivery with the minimum acceptable amount of time for delivery of goods and the cost of their delivery, as well as with a given level of reliability of the route.

**Key words:** delivery, route, multicriteria, reliability, variance, optimization

**СПИСОК ДЖЕРЕЛ:**

1. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом: учебник для студентов морских вузов [Текст] / под ред. Е.Н. Воеводского – М.: Транспорт, 1988. – 384 с.
2. Модели и методы теории логистики [Текст] / Под ред. В.С. Лукинскогo. – СПб.: Питер, 2007. – 448 с.
3. Смирковская В.Ю. Методические основы формирования систем доставки грузов с использованием средств укрупнения [Текст]: автореф. дис. ...канд.техн.наук 05.22.01 / В.Ю.Смирковская; [Одесский национальный морской университет]- Одесса, 2007. – 23 с.
4. Воеводский Е.Н. Стохастические модели в проектировании и управлении деятельностью портов [Текст] / Е.Н. Воеводский, М.Я.Постан – М.: Транспорт, 1987. – 318 с.
5. Постан М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок / М.Я.Постан. – Одесса: Астропринт, 2006. - 376 с.
6. Гаджинский А.М. Логистика [Текст] / А.М.Гаджинский. - М.: Информационно-внедренческий центр "Маркетинг", 1999. – 228 с.