

УДК 656.073.52

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ПРОВОЗНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПАРКА АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДОСТАВКЕ ТОВАРОВ В СУПЕРМАРКЕТЫ

Е. Г. Ковцур

Аспирант

Кафедра транспортных систем и логистики
Харьковский национальный автомобильно-дорожный
университет

ул. Петровского, 25, г. Харьков, 61002

Контактный тел.: 050-772-19-19

E-mail: kovtsyr@mail.ru

Наведено математичну модель оптимального резерву провізних можливостей парку рухомого складу по критерію мінімуму витрат, пов'язаних з доставкою

Ключові слова: резерв, витрати, доставка, штрафи, торгові точки

Приведена математическая модель оптимального резерва провозных возможностей парка подвижного состава по критерию минимума затрат, связанных с доставкой

Ключевые слова: резерв, затраты, доставкой, штрафы, торговые точки

Mathematic model of optimal freight possibilities reserve of fleet freight capacity by criterion of minimization delivery expenses is presented

Keywords: a reserve, expenses, delivery, penalties, trade outlets

1. Введение

На сегодняшний день супермаркеты и гипермаркеты пользуются особой популярностью у потребителей, прежде всего через огромный ассортимент, достаточное количество товаров, умеренные цены, широкий спектр дополнительных услуг. Согласно данным РосБизнесКонсалтинга, супермаркеты являются самым популярным форматом. Их доля в товарообороте в среднем составляет 28%. Гипермаркеты продолжают активно развиваться и на территории СНГ, их доля в товарообороте в среднем составляет 23%. В то же время супермаркеты являются самыми доходными из всех форматов магазинов.

В торговых точках любых форматов спрос на продукцию имеет значительные колебания, вызванные не только сезонными изменениями, но и особенностями потребностей покупателей. Прогнозирование данных колебаний спроса является сложной задачей при оптимизации транспортного звена в системе доставки груза в торговую сеть. Значительные колебания суммарного спроса на маршруте ведут к нерациональной работе транспортного звена.

Так, в случае, когда суммарный спрос на маршруте будет больше, чем грузоподъемность автомобиля, будет получен недозавоз товара, что ведет к неудовлетворению потребностей покупателя, а, следовательно, и к штрафам за недозавоз; в противном случае – неполное использование грузоподъемности автомобиля, что ведет к значительным затратам на транспортировку. В условиях переменного спроса на продукцию обеспечить эффективную работу предприятия возможно только с помощью резервирования провозных возможностей парка подвижного состава.

2. Обзор литературы

Согласно [1] резервирование провозных возможностей позволяет получить экономический эффект практически не требуя капитальных вложений. Поэтому резервирование относится к мероприятиям, позволяющим получить высокий эффект при оптимизации системы доставки партионных товаров в торговую сеть. За счет резервирования провозных возможностей можно повысить регулярность обслуживания участников логистической системы, снизить затраты предприятия, связанные с доставкой товаров.

В работе [2] предлагается главным критерием при выборе парка подвижного состава использовать надежность работы транспорта и его экономичность. Однако все разработки, представленные в работе, сосредоточены на крупных компаниях, которые имеют собственный масштабный парк подвижного состава. Рассмотренный в работе Байесовский подход к неопределенности является эффективным только в вопросах, касающихся планирования необходимого количества подвижных единиц на предприятии, его технического обслуживания.

В работе [3] рассматривается методика определения грузоподъемности подвижного состава в условиях переменного спроса. Предложен коэффициент запаса по грузоподъемности, представляющий собой отношение номинального и фактического количества пунктов заезда на маршруте. Недостатком приведенной методики является то, что спрос на перевозку описывается равномерным законом распределения, что относится только к торговым точкам формата «магазин у дома», что не характерно для супермаркетов и гипермаркетов, где спрос описывается треугольным законом распределения.

В работе [4] ставится цель снижение затрат на доставку груза за счет резервирования провозных возможностей флота. Предлагается учитывать коэффициент резерва провозных возможностей флота. Данный коэффициент представляет собой отношение среднего времени ожидания грузовых работ к среднему времени оборота. В работе не учитывается переменный характер спроса на перевозку груза, т.е. спрос является детерминированной величиной. Также предложенная методика не позволит определить тоннажность подвижных единиц флота, что является существенным неудобством для проектировщиков и логистов.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время отсутствуют методические указания и рекомендации относительно разработки обоснованной методики оптимизации системы доставки товаров в розничную торговую сеть с учетом затрат на доставку и потерь от невыполнения заказа и неполного использования грузоподъемности автомобиля.

3. Постановка задачи

Целью данной работы является создание модели, которая, за счет резервирования провозных возможностей парка подвижного состава в виде запаса по грузоподъемности, позволит найти компромисс между затратами на перевозку и штрафами, связанными с недозавозом товаров в розничную торговую сеть. Критерием выбора модели является минимум приведенных затрат, связанных с доставкой груза. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить показатели работы транспорта в условиях переменного спроса на перевозку;
- определить основные параметры системы, которые влияют на эффективность работы транспорта;
- получить математические модели приведенных затрат, связанных с доставкой груза в торговую сеть городов Украины;

- проверить адекватность полученных моделей.

В качестве **допущений** при решении задачи принято, что:

- поставка товара осуществляется каждый день,
- корректировка заявки невозможна,
- район обслуживания имеет форму круга,
- плотность дислокации торговых точек в районе перевозок равномерная.

В качестве **ограничений** принято, что:

- количество потребителей (заказчиков) больше 1;
- объем груза, вывозимый от производителя, представляет собой сумму размеров заказа торговых точек, обслуживаемых на маршруте;
- коэффициент использования грузоподъемности лежит в диапазоне 0,4-1,0;
- максимально допустимая грузоподъемность автомобиля составляет 10т;
- затраты времени на погрузку или разгрузку груза составляют 0,05 ч/т;
- дополнительное время на оформление документов составляет 0,15 ч;
- коэффициенты регрессионной модели зависимости себестоимости автомобильных перевозок от грузо-

подъемности автомобиля составляют соответственно $A_{пер}=0,8$ грн/км, $A_{пост}= 4$ грн/ч., $B_{пер} = 0,2$ грн/т·км и $B_{пост} = 1$ грн/т·ч;

- техническая скорость для условий перевозок в черте города составляет 24 км/ч, за городом 50 км/ч;
- плотность дислокации торговых точек варьируется в диапазоне от 1,948 до 25,398 ед./км², (данные исследования городов Украины, с численностью населения более 100 тыс. жителей) [5];
- среднее значение спроса в одной торговой точке варьируется в диапазоне от 0,1 до 6т (данные исследования городов Украины, с численностью населения более 100 тыс. жителей) [5];
- штраф (потери) за недопоставку единицы груза варьируется в диапазоне 500-10000 грн/т;
- среднее расстояние доставки составляет 30-200 км;
- коэффициент вариации спроса 0,1 – 0,33 для треугольного закона распределения;
- время оборота на маршруте - не более 16ч, что соответствует двухсменному режиму работы водителя.

4. Решение задачи

Себестоимость перевозок с учетом коэффициента запаса по грузоподъемности определяется согласно [3].

Суммарный объем заявок на маршруте определяется как

$$Q = g \cdot n_{\phi}, \quad (1)$$

где n_{ϕ} - фактическое количество пунктов заезда, ед;

g - средний размер заказа, т;
коэффициент вариации суммарного спроса на маршруте составляет

$$k_v = \frac{k_{vg}}{\sqrt{n_{\phi}}}, \quad (2)$$

где k_{vg} - коэффициент вариации спроса в торговых точках,

σ - среднее квадратическое отклонение спроса на маршруте составит

$$\sigma = k_v \cdot G, \quad (3)$$

где k_v - коэффициент вариации спроса на маршруте,

G - средний размер заказа на маршруте, т.

В работе принято, что спрос на маршруте описывается треугольным законом распределения (Симпсона), плотность распределения суммарного спроса на маршруте имеет вид

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2 \cdot (x - G_{\min})}{(G_{\max} - G_{\min}) \cdot (G - G_{\min})} & \text{при } x \leq G \\ \frac{2 \cdot (G_{\max} - x)}{(G_{\max} - G_{\min}) \cdot (G_{\max} - G)} & \text{при } x > G \end{cases}, \quad (4)$$

где x - случайная величина спроса,

G_{max} - максимальные значения спроса на маршруте, т;
 G_{min} - минимальное значения спроса на маршруте, т;

Максимальные и минимальные значения спроса на маршруте при данном законе распределения имеют следующий вид

$$\begin{cases} G_{max} = G + 3 \cdot \sigma \\ G_{min} = G - 3 \cdot \sigma \end{cases} \quad (5)$$

В таком случае, объем недозавоза груза в торговые точки по маршруту и объем недогруза автомобиля соответственно, при учете возможных случаев, когда условие $G_{min} < q_n \cdot \gamma < G_{max}$ не выполняется. Объем недозавоза будет иметь следующий вид

$$Q_{недоз} = \begin{cases} \int_{G_{min}}^G f_1(x) \cdot (x - q_n \cdot \gamma) + \int_G^{G_{max}} f_2(x) \cdot (x - q_n \cdot \gamma) + (G_{min} - q_n \cdot \gamma) & \text{при } q_n \cdot \gamma \leq G_{min} \\ \int_{q_n \cdot \gamma}^G f_1(x) \cdot (x - q_n \cdot \gamma) + \int_G^{G_{max}} f_2(x) \cdot (x - q_n \cdot \gamma) & \text{при } G_{min} < q_n \cdot \gamma \leq G \\ \int_{q_n \cdot \gamma}^{G_{max}} f_2(x) \cdot (x - q_n \cdot \gamma) & \text{при } G < q_n \cdot \gamma < G_{max} \\ 0 & \text{при } q_n \cdot \gamma \geq G_{max} \end{cases} \quad (6)$$

где q_n - номинальная грузоподъемность автомобиля, т,

γ - коэффициент использования грузоподъемности.

$$Q_{недогр} = \begin{cases} 0 & \text{при } q_n \cdot \gamma \leq G_{min} \\ \int_{G_{min}}^{q_n \cdot \gamma} f_1(x) \cdot (q_n \cdot \gamma - x) & \text{при } G_{min} < q_n \cdot \gamma \leq G \\ \int_{G_{min}}^G f_1(x) \cdot (q_n \cdot \gamma - x) + \int_G^{q_n \cdot \gamma} f_2(x) \cdot (q_n \cdot \gamma - x) & \text{при } G < q_n \cdot \gamma < G_{max} \\ \int_{G_{min}}^G f_1(x) \cdot (q_n \cdot \gamma - x) + \int_G^{G_{max}} f_2(x) \cdot (q_n \cdot \gamma - x) + (q_n \cdot \gamma - G_{max}) & \text{при } q_n \cdot \gamma \geq G_{max} \end{cases} \quad (7)$$

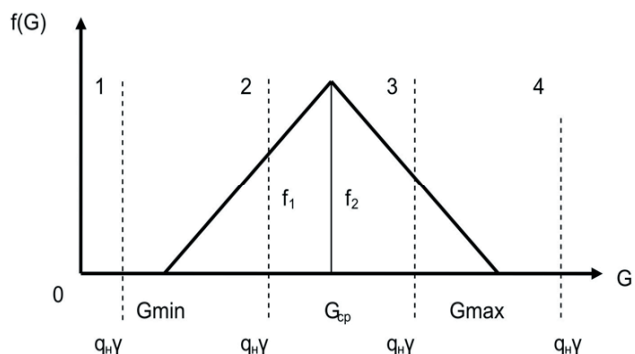


Рис. 1. Функция плотности распределения суммарного спроса на маршруте

Штрафы (потери) представляют собой фиксированную ставку за невыполнение или неполное выполнение заявок, их можно представить как

$$S_{ш} = \frac{C_{ш} \cdot Q_{недоз}}{Q}, \quad (8)$$

где $C_{ш}$ - штраф за недозавоз единицы товара, грн/т;
 $Q_{недоз}$ - объем недозавоза товаров в торговые точки, т;

Q - объем заявок, т.

Анализ влияния фактического количества пунктов заезда и коэффициента запаса по грузоподъемности на затраты, связанные с доставкой товаров в розничную торговую сеть указывают на нелинейный характер зависимости затрат и показателей. Это говорит о том, что существуют такие значения n_ϕ и k_3 , при которых приведенные затраты на доставку будут минимальными.

Производные по n_ϕ и k_3 полученной математической модели определения общих затрат на доставку продукции с учетом штрафов являются трансцендентными уравнениями.

Поэтому получение аналитического решения при использовании модели в данном виде невозможно.

Для их решения используются численные методы.

Учитывая количество факторов, которое влияет на конечный результат и рекомендации относительно требований к планам эксперимента, целесообразно использовать план полного факторного эксперимента.

Наиболее значимыми факторами, влияющими на приведенные затраты, связанные с доставкой груза является:

- плотность дислокации торговых точек, ед/км²,
- коэффициент использования грузоподъемности;
- среднее расстояние доставки продукции, км;
- штраф (потери) за недопоставку единицы груза, грн/т,
- среднее значение спроса в одной торговой точке,
- коэффициент вариации спроса.

После построения полного факторного эксперимента, необходимо найти значения приведенных затрат численным методом.

Методом секущих найдены решения (n_ϕ и k_3) при минимизации целевой функции (приведенные затраты, связанные с доставкой), т.е. модель оптимизации состоит из трех частей: целевая функция, переменные и ограничения.

Получены уравнения регрессии общих приведенных затрат для городских перевозок (3-30 км) и междугородних (30-200 км). С учетом полученных коэффициентов, определены следующие эмпирические уравнения при доставке товаров в супермаркеты и гипермаркеты:

- для городских перевозок (среднее расстояние доставки 3-30 км)

$$\begin{aligned}
 Z &= 17,84455 \cdot 1,041187^l \cdot 0,944795^g \times \\
 &\quad \times 1,000034^{C_{ш}} \cdot 11,42272^{k_{vg}} \cdot 0,44044^\gamma \\
 n_{\phi} &= 2,215254 \cdot l_1^{0,2973237} \cdot g^{-0,71885} \cdot \gamma^{0,2449} \\
 k_3 &= 1,837095 \cdot l_1^{-0,03406} \cdot g^{0,05663} \cdot k_{vg}^{0,158405} \\
 n_{н} &= 4,06963 \cdot l_1^{0,2632637} \cdot g^{-0,77548} \cdot k_{vg}^{0,158405} \cdot \gamma^{0,2449}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

- для междугородних перевозок (среднее расстояние доставки 30-200 км)

$$\begin{aligned}
 Z &= 61,5043 \cdot 1,00877^l \cdot 1,000018^{C_{ш}} \times \\
 &\quad \times 3,596607^{k_{vg}} \cdot 0,36744^\gamma \\
 n_{\phi} &= 3,29948 \cdot l_1^{0,09433} \cdot g^{-0,85077} \cdot k_{vg}^{-0,096336} \\
 k_3 &= 1,834321 \cdot l_1^{-0,04503} \cdot g^{0,04966} \cdot k_{vg}^{0,126664} \cdot C_{ш}^{0,03782} \\
 n_{н} &= 4,431895 \cdot l_1^{0,0493} \cdot g^{-0,80111} \cdot k_{vg}^{0,030328} \cdot C_{ш}^{0,03782}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

По результатам численного эксперимента, определено, что, уровень значимости оптимизационных моделей технологических параметров и резерва провозных возможностей не превысил 0,05, что позволяет считать полученные аппроксимирующие модели изменения приведенных затрат на доставку грузов адекватными.

Наиболее существенным (значимым) показателем, оказывающим влияние на приведенные затраты является среднее расстояние доставки. При увеличении среднего расстояния доставки, коэффициентов вариации

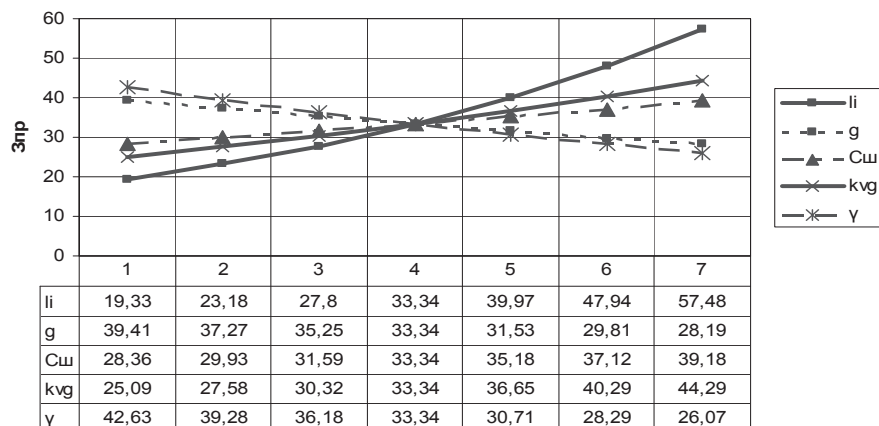


Рис. 2. Эмпирические уравнения для случая, когда доставка продукции осуществляется в розничную торговую сеть «крупных» форматов для городских перевозок

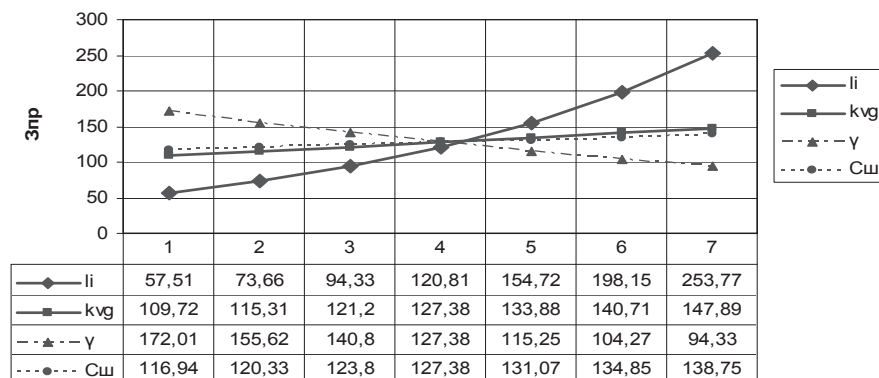


Рис. 3. Эмпирические уравнения для случая, когда доставка продукции осуществляется в розничную торговую сеть «крупных» форматов для междугородних перевозок

ции спроса и удельных штрафов – затраты увеличиваются. Коэффициент использования грузоподъемности и размер заказа находятся в обратной зависимости с приведенными затратами на доставку продукции (рис. 2 и рис. 3).

5. Выводы

Затраты, связанные с доставкой груза в супермаркеты с учетом запаса по грузоподъемности возможно описать непрерывной функцией и с достаточной степенью точности аппроксимировать показательной функцией. Полученные зависимости могут использоваться для разработки технологии доставки товаров в супермаркеты и гипермаркеты в условиях конкретного предприятия.

По результатам численного эксперимента, определено, что, уровень значимости аппроксимирующих моделей технологических параметров и резерва провозных возможностей не превысил 0,05, что позволяет считать полученные аппроксимирующие модели изменения приведенных затрат, связанных с доставкой грузов адекватными.

Литература

1. Миротин Л.Б., Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов. – Москва: Экзамен, 2003. – 440 с.
2. Vladimir PAPI, Jovan POPOVI. Vehicle fleet management: a Bayesian approach. [Текст] / Yugoslav Journal of Operations Research. - Faculty of Transport and Traffic Engineering University of Belgrade, Belgrade, Yugoslavia, 2011, Vol1, No.1, P. 77-91.
3. Шептура А. Н. Повышение эффективности автомобильных перевозок партионных грузов при переменном спросе на перевозки: дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.01 [Текст] / Харьковский национальный автомобильно-дорожный ун-т. – Х., 2004. – 162с.
4. Нюркин О. С., Совершенствование системы организационно-технологического взаимодействия судоходных компаний и портов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.19 – «Эксплуатация водного транспорта, судоходство» [Текст] / Нюркин О. С. - Нижний Новгород, 2009. – 24с.
5. Нефьодов М.А., Про умови перевезень товарів народного споживання в містах [Текст] / Нефьодов М.А., Макаренко К.Г. // Сб. научн. трудов «Автомобильный транспорт» / М-во образования и науки Украины; редкол.: Туренко А.Н. (гл. ред.) и др. – 2006. – Вып. 19. - С. 69-71.