

Рассмотрим еще одну ситуацию функционирования логистической системы при объеме спроса на готовую продукцию потребителя 1 и потребителя 2 по 50 т, при которой функции затрат для остальных звеньев системы остаются такими же, как и в предыдущем примере. Результаты решения представлены в табл. 2.

Помимо аналогичного анализа результатов следует добавить, что общие сроки доставки влияют на объем выпуска продукции как для поставщика 1, так и поставщика 2. У перевозчиков 4 и 5 наблюдается резерв провозной способности, а перевозчик 3 должен привлекать дополнительных клиентов на правой ветви логистической системы (рис. 2). Также следует отметить, что ситуация общего срока доставки в 15 сут для поставщика 2 является неприемлемой, так как его объем производства (50 т) оказывается меньшим, чем объем транспортировки перевозчиком 2 (190 т), в связи с чем поставщик 2 должен изыскать резервы снижения своих издержек, либо необходимо увеличить общие сроки доставки грузов.

### Выводы

В данной модели был рассмотрен условный пример оптимизации логистической системы для доставки грузов от поставщиков к потребителям. В реальной ситуации необходимо более точно определять функции затрат для звеньев системы доставки грузов, ограничения на пропускные и провозные способности участников логистической системы, а также учитывать критические сроки доставки товаров по контракту и многие другие факторы. Учет всех особенностей протекания процесса прохождения материального потока через звенья системы позволит выявить резервы производственных мощностей, пропускной и провозной способности и в целом повысить рентабельность деятельности элементов логистической системы, не приводя к увеличению удельных издержек доставки грузов по всей логистической цепи и не нарушая сроков поставок по контракту (договору).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования: Пер. с англ. /Под ред. А.А. Первозванского. - М.: Наука , 1965. - 460 с.
2. Арис Р. Дискретное динамическое программирование. – М.: Мир, 1969. – 171 с.
3. Тюрин А.Ю. Выбор технологических схем грузопереработки в транспортных узлах. // Вестн. КузГТУ. - 2003. - №6. - С.85-89.

Автор статьи:

Тюрин  
Алексей Юрьевич  
– канд. экон. наук, доц. каф. автомобильных перевозок

УДК 519.812.5:656.072

М.Е. Корягин, Н.В.Куликова

## ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПАССАЖИРОМ НА ОСТАНОВОЧНОМ ПУНКТЕ В СЛУЧАЕ ДВУХ ТИПОВ ТРАНСПОРТА

### 1. Введение

При организации перевозок городским пассажирским транспортом необходимо оценивать, как будут распределены пассажиропотоки между маршрутами. Требуется построить математическую модель поведения человека на остановочном пункте, так чтобы его выбор был обоснован с экономической точки зрения.

В этом случае необходим учет интересов не отдельного человека или группы, а всего потока пассажиров. Важным элементом, который требуется учитывать в данной модели, является экономическая оценка времени населения, точнее распределение стоимости времени пассажиропотока.

Исходя именно из экономической оценки времени, пассажир сознательно или бессознательно принимает решение о посадке в тот или иной вид транспорта. Он каждый раз отвечает на вопрос, что если подождать более дешевый вид транспорта? Или наоборот более быстрый?

Кроме того, пассажир учитывает при принятии решения, насколько тот или иной вид транспорта быстрее, какова частота его прихода на остановочный пункт.

### 2. Описание параметров и переменных

Рассмотрим поведение пассажиров на одном остановочном пункте в случае двух видов транспорта. В данном случае опишем основные параметры модели.

Поток пассажиров, поступающих на остановочный пункт, обычно описывают с помощью распределения Пуассона. Соответственно  $\lambda$  – интенсивность пуассоновского потока пассажиров, поступающих на остановочный пункт, желающих переехать на другой остановочный пункт.

На один остановочный пункт приходят муниципальный транспорт и маршрутные такси. При этом на передвижение транспорта влияют случайные факторы, поэтому, если количество маршрутов, перевозящих данный пассажиропоток, более, 3, то потоки городского пассажирского транспорта на каждом маршруте описывают [1] с помощью распределения Пуассона. Следовательно,  $\mu_1$  – суммарная интенсивность пуассоновского потока муниципального транспорта, который может удовлетворить потребности в перевозке данного пассажиропотока,  $\mu_2$  – суммарная интенсивность пуассоновского потока маршрутных такси, который может удовлетворить потребности в перевозке данного пассажиропотока.

Важная отличительная особенность каждого из этих видов транспорта – стоимость проезда:

$\beta_1$  – стоимость проезда на муниципальном транспорте,  $\beta_2$  – стоимость проезда на маршрутных такси. При этом, положим  $\beta_2 \geq \beta_1$ .

Пассажиры при оценке возможности перевозки тем или иным видом транспорта опираются на стоимость своего свободного времени, поэтому  $\gamma$  – средняя стоимость единицы времени, потерянного пассажиром в ожидании транспортного средства и на процесс перевозки.

Соответственно, на процесс перевозки влияют особенности движения пассажирского транспорта. Различается время перевозки для двух данных видов транспорта:

$\delta_1$  – время передвижения на муниципальном транспорте;  $\delta_2$  – время передвижения на маршрутных такси. Положим, что  $\delta_1 \geq \delta_2$ .

Отметим, что каждый пассажир оценивает свое время по-разному, поэтому стоимость времени пассажира зададим с помощью распределения:

$F(x)$  - функция распределения стоимости  $x$  единицы времени пассажиров. Отметим, что  $E(x) = \gamma$ .

### 3. Математическая модель

Требуется определить, какая доля пассажиропотока достанется каждому из видов транспорта. Для этого разобьем задачу на два случая.

Первый случай - при условии

$$\delta_1 - \delta_2 \leq \frac{1}{\mu_2}.$$

Здесь пассажирам нет смысла ожидать более быстрое маршрутное такси, т.к. выгода во времени переезда не покрывает времени, связанного с ожиданием.

Рассмотрим ситуацию, когда на остановочный пункт пришел муниципальный транспорт. В этом случае все имеющиеся на остановочном пункте пассажиры воспользуются этим видом транспорта.

Когда на остановочный пункт придет маршрутное такси, то из имеющихся здесь на данный момент им воспользуется часть людей, у которых высока стоимость их времени,

$$x\left(\delta_2 - \delta_1 - \frac{1}{\mu_1}\right) + \beta_2 - \beta_1 < 0, \quad (1)$$

где  $x$  - стоимость единицы времени пассажиров.

Доля пассажиров составит:

$$1 - F\left(\frac{\beta_2 \mu_1 - \beta_1 \mu_1}{\delta_1 \mu_1 - \delta_2 \mu_1 + 1}\right). \quad (2)$$

Теперь определим часть пассажиропотока, исходя из интенсивности движения транспорта. Доля маршрутного такси:

$$\frac{\lambda \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \left[ 1 - F\left(\frac{\beta_2 \mu_1 - \beta_1 \mu_1}{\delta_1 \mu_1 - \delta_2 \mu_1 + 1}\right) \right]. \quad (3)$$

Доля муниципального транспорта:

$$\frac{\lambda \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} F\left(\frac{\beta_2 \mu_1 - \beta_1 \mu_1}{\delta_1 \mu_1 - \delta_2 \mu_1 + 1}\right) + \frac{\lambda \mu_1}{\mu_1 + \mu_2}. \quad (4)$$

Рассмотрим второй случай

$$\delta_1 - \delta_2 > \frac{1}{\mu_2}.$$

В этих условиях часть пассажиров останется на остановочном пункте после ухода муниципального транспорта, т.к. они выигрывают по времени, если останутся ждать маршрутное такси.

Поэтому, если придет муниципальный транспорт, им воспользуется часть людей, у которых оценка времени ниже:

$$x\left(\delta_1 - \delta_2 - \frac{1}{\mu_2}\right) + \beta_1 - \beta_2 < 0. \quad (5)$$

Соответственно, останутся ждать маршрутное такси люди со следующим доходом:

$$x\left(\delta_1 - \delta_2 - \frac{1}{\mu_2}\right) + \beta_1 - \beta_2 > 0. \quad (6)$$

Если приходит маршрутное такси, то им воспользуются люди, у которых стоимость времени выше:

$$x\left(\delta_2 - \delta_1 - \frac{1}{\mu_1}\right) + \beta_2 - \beta_1 < 0. \quad (7)$$

Останутся ждать муниципальный транспорт люди с более низкой оценкой времени:

$$x\left(\delta_2 - \delta_1 - \frac{1}{\mu_1}\right) + \beta_2 - \beta_1 > 0. \quad (8)$$

В итоге, доля пассажиров, которую получит муниципальный транспорт:

$$\begin{aligned} & \frac{\lambda\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} F\left(\frac{\beta_2\mu_1 - \beta_1\mu_1}{\delta_1\mu_1 - \delta_2\mu_1 + 1}\right) + \\ & + \frac{\lambda\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} F\left(\frac{\beta_2\mu_2 - \beta_1\mu_2}{\delta_1\mu_2 - \delta_2\mu_2 - 1}\right). \end{aligned} \quad (9)$$

Поток, который забирает маршрутное такси:

$$\begin{aligned} & \lambda - \frac{\lambda\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} F\left(\frac{\beta_2\mu_1 - \beta_1\mu_1}{\delta_1\mu_1 - \delta_2\mu_1 + 1}\right) - \\ & - \frac{\lambda\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} F\left(\frac{\beta_2\mu_2 - \beta_1\mu_2}{\delta_1\mu_2 - \delta_2\mu_2 - 1}\right). \end{aligned} \quad (10)$$

Отметим наиболее важные параметры, которые учитывает пассажир при принятии решения: разность в стоимости проезда; разность в скорости движения; интенсивность движения транспорта.

#### 4. Деление пассажиропотоков при экспоненциальном распределении стоимости пассажирочаса

Чтобы определить реальное распределение пассажиропотоков, необходимо знать функцию распределения стоимости времени пассажиров. Т.к. многие пассажиры (например, пенсионного возраста) свое время не ценят, а для некоторых его стоимость очень высока, то воспользуемся моделью экспоненциального распределения стоимости времени пассажиров.

Пусть  $F(x) = 1 - e^{-x/\gamma}$ .

Для первой ситуации  $\delta_1 - \delta_2 \leq 1/\mu_2$ . Получим часть потока, обслуживаемого муниципальным транспортом:

$$h_1 = \lambda - \frac{\lambda\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \exp\left\{-\frac{\beta_2\mu_1 - \beta_1\mu_1}{(\delta_1\mu_1 - \delta_2\mu_1 + 1)\gamma}\right\} \quad (11)$$

Часть потока, обслуживаемая маршрутным такси:

$$h_2 = \frac{\lambda\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \exp\left\{-\frac{\beta_2\mu_1 - \beta_1\mu_1}{(\delta_1\mu_1 - \delta_2\mu_1 + 1)\gamma}\right\} \quad (12)$$

Рассмотрим вторую ситуацию  $\delta_1 - \delta_2 > 1/\mu_2$ .

Соответствующая часть потока:

$$\begin{aligned} h_1 &= \lambda - \frac{\lambda\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \exp\left\{-\frac{\beta_2\mu_1 - \beta_1\mu_1}{(\delta_1\mu_1 - \delta_2\mu_1 + 1)\gamma}\right\} \\ &- \frac{\lambda\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} \exp\left\{-\frac{\beta_2\mu_2 - \beta_1\mu_2}{(\delta_1\mu_2 - \delta_2\mu_2 - 1)\gamma}\right\}. \end{aligned} \quad (13)$$

Часть потока, обслуживаемая маршрутным такси:

$$\begin{aligned} h_2 &= \frac{\lambda\mu_2}{\mu_1 + \mu_2} \exp\left\{-\frac{\beta_2\mu_1 - \beta_1\mu_1}{(\delta_1\mu_1 - \delta_2\mu_1 + 1)\gamma}\right\} + \\ &+ \frac{\lambda\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} \exp\left\{-\frac{\beta_2\mu_2 - \beta_1\mu_2}{(\delta_1\mu_2 - \delta_2\mu_2 - 1)\gamma}\right\}. \end{aligned} \quad (14)$$

#### 5. Перераспределение пассажиропотоков в случае изменения тарифов

При равномерном возрастании доходов населения растет и доля пассажиров на маршрутных такси:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_2}{\partial \gamma} &= \frac{\lambda(\beta_2 - \beta_1)\mu_1\mu_2}{\gamma^2(\mu_1 + \mu_2)} \times \\ &\times \frac{1}{(\delta_1\mu_1 - \delta_2\mu_1 + 1)} \exp\left\{-\frac{\beta_2\mu_1 - \beta_1\mu_1}{(\delta_1\mu_1 - \delta_2\mu_1 + 1)\gamma}\right\} + \\ &+ \frac{\lambda(\beta_2 - \beta_1)\mu_1\mu_2}{\gamma^2(\mu_1 + \mu_2)} \times \\ &\times \frac{1}{(\delta_1\mu_2 - \delta_2\mu_2 - 1)} \exp\left\{-\frac{\beta_2\mu_2 - \beta_1\mu_2}{(\delta_1\mu_2 - \delta_2\mu_2 - 1)\gamma}\right\}. \end{aligned} \quad (15)$$

Поэтому при возрастании доходов населения, чтобы не менять структуру транспортного парка и интервалы его движения (т.к. это приведет к болезненной перестройке поведения населения), необходимо изменять стоимость проезда.

Должна меняться не сама стоимость проезда, а разность стоимости билетов в разных видах транспорта:

$$\frac{\beta_2 - \beta_1}{\gamma} = \text{const}. \quad (16)$$

Таким образом, при разнице в стоимости проезда 2 руб. и росте расходов населения на 50%, разница в стоимости проезда должна увеличиться до 3 руб. и, наоборот, при снижении уровня жизни должна сокращаться.

#### 6. Заключение

Разработанная модель позволит оценить изменение поведения пассажиров при смене тарифов, изменении в скорости движения транспорта, интенсивности движения транспорта по маршруту и уровня жизни населения города. Данная модель позволяет управлять работой городского пассажирского транспорта с помощью изменения тарифов и интенсивности движения по маршрутам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лопатин А.П. Моделирование перевозочного процесса на городском пассажирском транспорте. - М.: Транспорт, 1985. 200 с.

Авторы статьи:

Корягин  
Марк Евгеньевич  
– канд.техн.наук, доц. каф. автомобильных перевозок

Куликова  
Наталья Владимировна  
– студентка КузГТУ