УДК 656.072

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПАССАЖИРОПОТОКОМ ПО ВЫБОРУ МАРШРУТА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ

Баламирзоев А.Г., Алиева Х.Р., Баламирзоева Э.Р.

Махачкалинский филиал ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Махачкала, e-mail: mfmadi@dagestan.ru

В статье рассматривается принятие решений пассажиропотоком по выбору маршрута движения. В основу рассматриваемого подхода положено предположение, что пассажир имеет цель минимизировать сводный экономический показатель поездки, который представляет собой сумму стоимости проезда и произведения стоимости пассажиро-часа и затрат времени на поездку. Если человек оценивает свое время низко, то для него приобретает большее значение стоимость проезда, и наоборот. При повышении уровня жизни наблюдается тенденция роста стоимости пассажиро-часа: люди совершают все больше поездок, но не хотят тратить на это больше времени. Получены формулы для случая, когда к остановочному пункту подходят транспортные средства, позволяющие добраться до места назначения с пересадкой, а не в целом для пассажиропотока.

Ключевые слова: транспортное средство, модель, пассажиропоток, маршрут, интенсивность движения, оптимизация

DECISION-MAKING PASSENGER TRAFFIC AT THE CHOICE OF THE ROUTE OF MOVEMENT

Balamirzoev A.G., Alieva K.R., Balamirzoeva E.R.

Makhachkala branch of the Moscow state automobile and road technical University, Makhachkala, e-mail: mfmadi@dagestan.ru

The article considers the decision of passengers at the choice of the route. In the basis of the approach is the assumption that the passenger has the purpose to minimize the consolidated economic indicator of the trip, which represents the sum of the cost of travel and the works of the cost of passenger-hours and time spent on the trip. If a person evaluates his time low, it becomes more important the cost of travel, and Vice versa. In raising the level of life of the tendency of growth of cost of passenger-hours: people make more trips, but don't want to spend more time on them. The formulas for the case, when for dear life to stopping point suitable means of transport to get to the place of destination with a change, but not in General for passenger traffic.

Keywords: vehicle model, the flow of passengers, the route, the intensity of the movement, optimization

Население города, перемещающееся между остановочными пунктами, неоднородно. У каждого человека существуют свои требования к комфортности, скорости перемещения, допустимому времени ожидания. Построить модель поведения каждого отдельного человека – невыполнимая задача, потому что не всегда мы поступаем рационально.

Сложно представить, что каждый человек проводит расчеты всех вариантов перемещения между пунктами: сравнивает время ожидания, время перемещения, комфортность, финансовые затраты и т.д. В основном каждое перемещение – это компромисс между потерянным временем и финансовыми затратами (чем выше скорость перемещения, тем больше его стоимость). Однако пассажир использует накопленный опыт, расставляет приоритеты при принятии того или иного решения и оно, как правило, будет близким к оптимальному.

До середины 1990-х годов в нашей стране основным показателем качества обслуживания пассажиров был коэффициент относительных затрат времени, который определялся как отношение величины затрат времени на поездку при заданных теоретически абсолютно комфортных условиях поездки к фактическим затратам времени на поездку. В [12] рекомендуется определять показатель качества транспортного обслуживания в городах, учитывая нормативное и фактическое время, затрачиваемое пассажиром на поездку, нормативный и фактический коэффициент наполнения и показатель регулярности движения. В [1] отмечается, что можно оценить качество обслуживания пассажиров с помощью показателя регулярности движения транспортных средств, так как нарушение расписания и графиков движения влечет за собой переполнение подвижного состава, увеличение времени на ожидание, посадку, снижение скорости сообщения.

В [2] рассматривались критерии качества обслуживания населения, сведенные в комплексный, или интегральный, показатель, учитывающий различные факторы сервисного обслуживания пассажиров. Комплексный показатель представлен в виде свертки безразмерных критериев с некоторыми коэффициентами.

Однако наибольшее значение с точки зрения пассажиров имеют общие затраты времени на передвижение [3–6]. Затраты

времени на перемещение в городских условиях в большей степени зависят от состояния улично-дорожной сети, интенсивности транспортного потока и т.д. и сравнительно мало – от непосредственных организаторов транспортного обслуживания. Затраты времени на пешеходные подходы к остановочному пункту и ожидание транспорта имеют уже большую зависимость от организации работы транспорта. В [4] время подхода к остановочному пункту оценивается выше, чем время самой поездки, а еще выше оценивается время ожидания транспортного средства.

Затраты времени пассажиров на передвижение могут быть оценены в стоимостном выражении. Для этого используется такой критерий, как сэкономленное за поездку время, отраженное в стоимости одного пассажиро-часа [2]. Определение стоимости пассажиро-часа имеет условный характер, так как включает ряд факторов, фактическое значение которых либо не известно, либо трудно определимо (оценка значимости потерь времени каждого члена общества индивидуальна). Благодаря введению этого показателя, можно экономически обосновать применение дорогостоящего подвижного состава, скорость передвижения на котором выше, за счет чего затраты времени пассажиров на поездки снижаются.

В работах [4, 6] приведены основные методики оценки стоимости пассажиро-часа, исходящие из:

– национального дохода или чистой продукции, созданной за 1 человеко-час;

– среднечасовой зарплаты;

– субъективной оценки пассажиром своего времени.

Отдельные исследователи помимо средней стоимости одного пассажиро-часа для всего пассажиропотока считают целесообразным определить стоимость пассажиро-часа в зависимости от:

– категории населения (рабочие, служащие, пенсионеры, учащиеся и т.д.);

– цели поездки (трудовые или социально-бытовые);

– времени поездки (в час пик, в ночное или дневное время).

Например, в США проводится комплексный анализ времени на основе положения «издержки – выгода», т.е. в денежном выражении оцениваются экономические, культурные, социальные, экологические и прочие потери и выигрыши пассажиров и транспорта.

На необходимость моделирования поведения пассажира указывается в [4], при этом учитывается, что при выборе маршрута передвижения он оценивает время поездки исходя из разности в его затратах при альтернативных транспортных вариантах. В основу рассматриваемого подхода положено предположение, что пассажир имеет цель минимизировать сводный экономический показатель поездки, который представляет собой сумму стоимости проезда и произведения стоимости пассажиро-часа и затрат времени на поездку. Если человек оценивает свое время низко, то для него приобретает большее значение стоимость проезда, и наоборот. При повышении уровня жизни наблюдается тенденция роста стоимости пассажиро-часа: люди совершают все больше поездок, но не хотят тратить на это больше времени. Стоимость пассажиро-часа x у пассажиров, выбирающих более скоростной способ передвижения, составляет $x > \frac{Ц_2 - Ц_1}{T_1 - T_2}$, более дешевый – $x < \frac{Ц_2 - Ц_1}{T_1 - T_2}$, где $Ц_1$, $Ц_2$ – стоимость проезда, ($Ц_2 > Ц_1$); T_1, T_2 – время поездки ($T_2 < T_1$). В данной модели не учитываются интенсивность движения на маршрутах, затраты пассажира на ожидание маршрутного транспортного средства.

В [1–2] отмечается, что наличие в системе множества людей приводит к формированию коллективного поведения, которое складывается как результат достаточно независимого поведения индивидов, стремящихся к достижению собственных целей. Предполагается, что для каждого варианта достижения цели (множество маршрутов и пунктов назначения, видов транспорта и др.) индивид строит функцию полезности, которая может быть представлена как линейная функция от характеристик альтернативы:

$$U_{j,t} = \sum_m a_m^t x_m^{j,t},$$

где $U_{j,t}$ – функция полезности j-й альтернативы для индивидуума t; $x_m^{j,t}$ – значение m-й характеристики в j-й альтернативе с точки зрения индивидуума t; a_m^t – относительная цена m-й характеристики с точки зрения индивидуума t.

Детерминированные модели выбора пассажирами способа передвижения, а также разработанные на их основе задачи оптимизации городского пассажирского транспорта описаны в. Однако в связи с тем, что моделируемый процесс происходит на фоне многочисленных случайных воздействий, определяется вероятность выбора индивидуумом t каждой из альтернатив j [7]:

$$p_{j,t} = \frac{\exp\left(U_{j,t}\right)}{\sum_i \exp\left(U_{j,t}\right)}.$$

Идентификация (настройка) моделей производится по результатам обработки анкет, которые распространяются среди различных категорий населения [3, 6].

В данной статье рассматривается поведение не одного человека, а пассажиропотока в целом. Оно связано с выбором между более дорогим, но более скоростным способом перемещения, и более дешевым, но с высокими затратами времени на перемещение.

Оптимизация поведения пассажиропотока при передвижении с пересадкой

Рассмотрим ситуацию, когда пассажир принимает решение о посадке не только в транспортное средство, которое может довезти до места назначения, но и в следующее в попутном направлении [3].

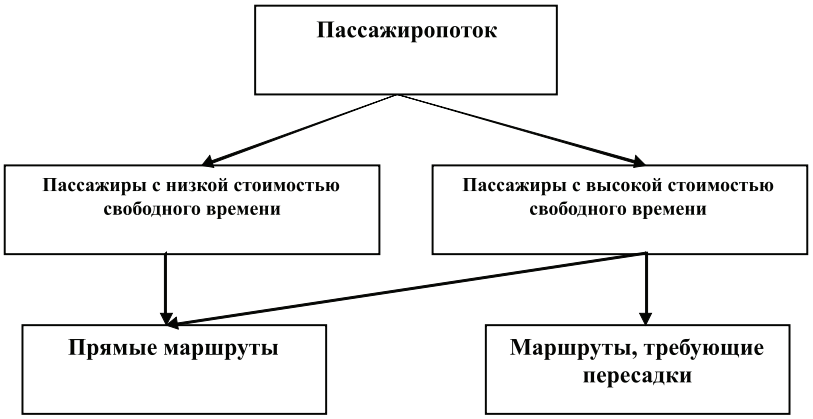
Такое поведение особенно актуально при низкой интенсивности движения общественного транспорта: ранним утром, в межпиковый период и поздним вечером. В этом случае экономия времени при перемещении с пересадкой значительна. Это объясняется тем, что количество транспортных средств, способных довезти до места назначения от места отправления, значительно ниже, чем от некоторого транспортного узла. В таких условиях пассажир выбирает между экономией времени и экономией финансовых средств (передвижение с пересадкой требует дополнительной оплаты).

На рисунке представлены две возможные ситуации:

1) подошло транспортное средство, способное довезти пассажира до места назначения;

2) подошло транспортное средство, способное довезти пассажира лишь до пересадочного узла.

В первом случае решение очевидно – осуществить посадку. Во втором необходимо определить, что важнее для пассажира: стоимость дополнительного проездного билета или потерянное в ожидании время.



Выбор пассажиром маршрутов при перемещении до места назначения

Пассажиропоток неоднороден, поэтому для одних важнее время, для других – финансовые затраты. Для определения стоимости времени используется термин «пассажиро-час». Рассмотрим ситуацию, при которой стоимость пассажиро-часа у людей значительно отличается, поэтому в данном случае этот показатель будет задан в виде случайной величины. Тогда часть пассажиропотока с низкой стоимостью времени выберет передвижение без пересадки, а с высокой стоимостью времени будет осуществлять посадку в первое подошедшее транспортное средство.

Модель поведения пассажиропотока на остановочном пункте

Положим, что пассажиро-час распределен экспоненциально для рассматриваемого пункта возникновения потребности в перемещении. Введем основные параметры, определяющие выбор способа перемещения:

μ – интенсивность движения общественного транспорта, доставляющего пассажира в пункт назначения без пересадки;

η – интенсивность движения общественного транспорта от места возникновения потребности в перемещении до пересадочного пункта;

ν – интенсивность движения общественного транспорта от пересадочного пункта до места назначения;

γ – средняя стоимость времени перемещения;

p – вероятность передвижения с пересадкой.

Следует отметить, что необходимое условие – $\mu < \nu$, иначе в пересадочном узле время ожидания будет больше, чем в месте отправления, что сделает перемещение с пересадкой бессмысленным. Данное условие

разумно, т.е. на практике через пересадочный пункт проходит большее количество маршрутов (включая прямые).

Человек заранее определяет способ передвижения (с пересадкой или без), зная интенсивность движения транспорта. В данной модели предположим, что человек не анализирует рискованность поездки (нет чувствительности к риску) и осуществляет выбор способа передвижения на основе средних характеристик, т.е. для заданной стоимости времени перемещения осуществляется однозначный выбор способа перемещения.

Отметим, что если подошло транспортное средство, позволяющее добраться до места назначения без пересадки, то все пассажиры осуществляют посадку именно в него. Вероятность такого события

$$\frac{\mu}{\mu+\eta}.$$

В случае же подхода транспортного средства, позволяющего добраться до места назначения с пересадкой, получим неоднозначное решение для пассажиров с разной стоимостью пассажиро-часа. Часть населения с меньшими доходами останется ждать транспортное средство, позволяющее достичь места назначения без пересадки (так как пересадка позволяет сократить расходы времени при увеличении финансовых затрат на поездку). Цель потока населения – минимизировать суммарные затраты на перемещения, изменяя параметр p. Пусть γ' – стоимость времени перемещения, которая позволит разделить население по способу перемещений. Тогда

$$p=\exp\left\{-\frac{\gamma'}{\gamma}\right\},$$

или

$$\gamma'=-\gamma\ln(p).$$

Средняя стоимость времени одного пассажира при перемещении потока в прямом направлении

$$\frac{\int_0^{\gamma'}\frac{x}{\gamma}\exp\left\{-\frac{x}{\gamma}\right\}dx}{\int_0^{\gamma'}\frac{1}{\gamma}\exp\left\{-\frac{x}{\gamma}\right\}dx}=\frac{1}{1-p}\int_0^{-\gamma\ln(p)}\frac{x}{\gamma}\exp\left\{-\frac{x}{\gamma}\right\}dx=\frac{\gamma+\gamma p\ln(p)-\gamma p}{1-p}.$$

Средние расходы на одно перемещение в прямом направлении состоят из потерь времени в ожидании и стоимости проезда:

$$\frac{\gamma+\gamma p\ln(p)-\gamma p}{1-p}\left[\frac{1}{\mu}\right]+\beta. \qquad (1)$$

Средняя стоимость времени одного пассажира при перемещении с пересадкой:

$$\frac{\int_{\gamma'}^{\infty}\frac{x}{\gamma}\exp\left\{-\frac{x}{\gamma}\right\}dx}{\int_{\gamma'}^{\infty}\frac{1}{\gamma}\exp\left\{-\frac{x}{\gamma}\right\}dx}=\frac{1}{p}\int_{-\gamma\ln(p)}^{\infty}\frac{x}{\gamma}\exp\left\{-\frac{x}{\gamma}\right\}dx=\gamma-\gamma\ln(p).$$

Средние расходы на одно перемещение с пересадкой требуют двойной оплаты проезда, а также ожидания в пересадочном пункте:

$$\left(\gamma-\gamma\ln(p)\right)\left[\frac{1}{\mu}\right]+2\beta. \qquad (2)$$

Суммарные затраты потока на одну поездку – взвешенная сумма затрат на перемещения на автомобиле и общественном транспорте (1), (2):

$$\left(\gamma+\gamma p\ln(p)-\gamma p\right)\left[\frac{1}{\mu}\right]+\beta(1-p)+\left(\gamma p-\gamma p\ln(p)\right)\left[\frac{1}{\nu}\right]+2\beta p. \qquad (3)$$

Первая производная суммарных затрат (3) на единичную поездку составит

$$\gamma\ln(p)\left[\frac{1}{\mu}-\frac{1}{\nu}\right]+\beta. \qquad (4)$$

Вторая производная (3):

$$\gamma\frac{1}{p}\left[\frac{1}{\mu}-\frac{1}{\nu}\right]\geq 0. \qquad (5)$$

Таким образом, функция затрат на единичную поездку выпукла вниз (5) по параметру p.

Приравняв производную (4) к нулю, получим оптимальную вероятность использования пересадки:

$$p = \exp\left\{-\frac{\beta}{\gamma\left[\frac{1}{\mu}-\frac{1}{\nu}\right]}\right\} = \exp\left\{-\frac{\mu\nu\beta}{\gamma(\nu-\mu)}\right\}.$$

Доля поездок без пересадки:

$$1-\exp\left\{-\frac{\mu\nu\beta}{\gamma(\nu-\mu)}\right\}.$$

Данные формулы получены для случая, когда к остановочному пункту подходят транспортные средства, позволяющие добраться до места назначения с пересадкой, а не в целом для пассажиропотока.

Список литературы

1. Как определить количество автобусов для городского маршрута / С. Абрамов, Г. Гуревич, Н. Калугина, А. Михайлов // Автомобильный транспорт. – 1981. – № 5. – С. 17.

2. Баскин Э.М. О времени ожидания пассажира на автобусной остановке // Теория и средства автоматики. – М.: Наука, 1968. – С. 188–198.

3. Большаков А.М. Повышение качества обслуживания пассажиров и эффективность работы автобусов / А.М. Большаков, Е.А. Кравченко, С.Л. Черникова. – М.: Транспорт, 1981. – 206 с.

4. Гудков В.А. Анализ факторов, влияющих на определение потребного количества пассажирских транспортных средств на маршрутах / В.А. Гудков, С.А. Ширяв, О.В. Устинова // Прогресс транспортных средств и систем – 2005: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Волгоград, 20-23 сент. 2005 г.). – Волгоград, 2005. – Ч. 2. – С. 525–526.

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

6. Корягин М.Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. – Новосибирск: Наука, 2011. – 140 с.

7. Golob T.F. Structural equation modeling for travel behavior research // Transportation Research B. – 2003. – № 37. – P. 1–25.

References

1. Abramov S. Kak opredelit' kolichestvo avtobusov dlja gorodskogo marshru¬ta / S. Abramov, G. Gurevich, N. Kalugina, A. Mihajlov // Avtomobil'nyj transport. 1981. no. 5. pp. 17.

2. Baskin E.M. O vremeni ozhidanija passazhira na avtobusnoj ostanovke / Je.M. Baskin // Teorija i sredstva avtomatiki. M.: Nauka, 1968. pp. 188–198.

3. Bol'shakov A.M. Povyshenie kachestva obsluzhivanija passazhirov i jeffektivnost' raboty avtobusov / A.M. Bol'shakov, E.A. Kravchenko, S.L. Chernikova. M.: Transport, 1981. 206 p.

4. Gudkov V.A. Analiz faktorov, vlijajushhih na opredelenie potrebnogo koli¬chestva passazhirskih transportnyh sredstv na marshrutah / V.A. Gudkov, S.A. Shirjav, O.V. Ustinova // Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Progress transportnyh sredstv i sistem – 2005» (Volgograd, 20-23 sent. 2005 g.). Volgograd, 2005. Ch. 2. pp. 525–526.

5. Lopatin A.P. Modelirovanie perevozochnogo processa na gorodskom pas¬sazhirskom transporte / A.P. Lopatin. M.: Transport, 1985. 200 p.

6. Korjagin M.E. Ravnovesnye modeli sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta v uslovijah konflikta interesov. Novosibirsk: Nauka, 2011. 140 p.

7. Golob T.F. Structural equation modeling for travel behavior research // Transportation Research B. no. 37 (2003). pp. 1–25.

Рецензенты:

Агаханов Э.К., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильные дороги, основания и фундаменты» ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный технический университет», г. Махачкала;

Фаталиев Н.Г., д.т.н., профессор кафедры «Автомобильный транспорт» ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова», г. Махачкала.

Работа поступила в редакцию 29.01.2013.