

УДК 656.73.01.88

О ФУНКЦИИ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫБОРА ПАССАЖИРОМ МАРШРУТА СЛЕДОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ

Н.А. Нефедов, доц., к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Альберт Авуа Дж., инж., директор, Консорциум городского развития, Аккра, Гана

Аннотация. Приведены результаты статистической обработки данных экспериментальных исследований в г. Харькове, направленных на определение взаимосвязи между вероятностью выбора пассажиром маршрута следования и фактическим временем ожидания им транспортного средства на остановочном пункте.

Ключевые слова: пассажир, остановочный пункт, альтернативные маршруты, функция привлекательности маршрута, время ожидания, вероятность выбора маршрута следования.

ПРО ФУНКЦІЮ ЙМОВІРНОСТІ ВИБОРУ ПАСАЖИРОМ МАРШРУТУ ПРЯМУВАННЯ В СИСТЕМАХ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ВЕЛИКИХ МІСТ

М.А. Нефьодов, доц., к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Альберт Авуа Дж., інж., директор, Консорціум міського розвитку, Аккра, Гана

Анотація. Наведено результати статистичної обробки даних експериментальних досліджень у м. Харкові, спрямованих на визначення взаємозв'язку між ймовірністю вибору пасажиром маршруту прямування і фактичним часом очікування ним транспортного засобу на зупинному пункті.

Ключові слова: пасажир, зупинний пункт, альтернативні маршрути, функція привабливості маршруту, час очікування, ймовірність вибору маршруту слідування.

ON PROBABILITY FUNCTION OF TRIP ROUTE CHOICE IN PASSENGER TRANSPORT SYSTEM OF CITIES

N. Nefedof, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), Kharkiv National Automobile and Highway University, Albert Avuah Jr., Eng., Director of Urban Development Consortium, Accra, Ghana

Abstract. The results of statistical processing of experimental research data in Kharkiv, aimed at determining the relation between the passenger trip choice probability and the actual vehicles waiting time at bus terminals are presented.

Key words: passenger, bus terminal, alternative routes, route attractiveness function, waiting time, trip route choice probability.

Введение

В настоящее время проблема оптимизации систем городского пассажирского транспорта в крупных и крупнейших городах в основном сводится к определению трасс маршру-

тов и распределению провозных возможностей имеющегося или перспективного парка подвижного состава между маршрутами. Главной проблемой здесь является прогноз распределения пассажиропотока по маршрутам. Все имеющиеся на сегодняшний день

методы прогноза распределения пассажиропотока между маршрутами основаны на статических моделях, формально описываемых функциями привлекательности. В данной работе предложен подход к прогнозированию распределения пассажиропотока между маршрутами, в основу которого положена динамическая модель изменения привлекательности маршрутов передвижения пассажиров в зависимости от фактического времени ожидания ими транспортного средства на остановочном пункте (ФВО).

Анализ публикаций

В современных методах проектирования и развития систем городского пассажирского маршрутного транспорта оценка эффективности проекта базируется на прогнозе загрузки перегонов маршрутов. Для прогнозирования загрузки перегонов маршрутов используются функции привлекательности маршрутов различных видов. Более ранние методы определения функции привлекательности маршрутов [1–4] предполагали возможность выбора пассажиром одного из всех альтернативных маршрутов. Существенным развитием этого подхода явился учет возможности использования пассажиром в разные периоды времени нескольких маршрутов из всех альтернативных [5–6], что отражалось в вероятности использования маршрутов. Общим недостатком существующих методов является статичность оценки пассажиром привлекательности маршрутов. Поэтому определение наличия и степени тесноты взаимосвязи между ФВО и вероятностью выбора им маршрута передвижения (ВВП) является важной теоретической задачей.

Цель и постановка задачи

В приложении к сформулированной проблеме задача исследования обусловлена отсутствием обобщенной модели поведения пассажира и заключается в необходимости разработки таковой применительно к отношению пассажира ко времени, затраченному им на ожидание транспортных средств альтернативных маршрутов по прибытии его на конкретный остановочный пункт. Требуемая модель может быть получена средствами регрессионного анализа на основании фактических данных, которые могут быть получены путем персонального наблюдения за пассажирами на остановочных пунктах. Вслед-

ствие трудоемкости, продолжительности и высокой стоимости таких наблюдений реально реализуемым является только анкетирование пассажиров. Для получения репрезентативной выборки необходимо, чтобы были наибольшими список альтернативных маршрутов, интервалы изменения параметров альтернативных маршрутов, длина ездки пассажиров и объем выборки. При этом для исключения влияния индивидуальных целеустановок пассажиров, кроме ФВО, обязательным требованием является точное совпадение начального и конечного пунктов ездки.

Результаты экспериментальных исследований

Для решения задачи исследования проведено анкетирование 90 респондентов, распределенных по социальным группам следующим образом: студенты – 50 чел., рабочие – 25 чел., служащие – 15 чел. в возрасте от 20 до 54 лет. У всех респондентов маршрут деловой поездки (на работу или учебу) включал участок от остановки «ул. Познанская» по проспекту 50-летия ВЛКСМ до остановки «станция метро Академика Барабашова». На этом участке пассажиры для передвижения могут воспользоваться одним из трех маршрутов: № 24 (троллейбус), № 38 и № 281 (маршрутное такси). К обработке принимались анкеты, в которых время посадки укладывалось во временной интервал от 7:00 до 9:00. Анкетирование проводилось в период в апреле-мае 2012 года. Всего обработано 1468 анкет. Первоначальная группировка анкет производилась по следующим признакам: маршрут, день недели, социальный статус респондента, ФВО. Поскольку объем выборки по каждой социальной группе респондентов на каждом из обследованных маршрутов существенно различается, проведена проверка на принадлежность выборок одной генеральной совокупности по t -критерию Стьюдента. Результаты проверки показали незначимость различий не только между социальными группами на одном из маршрутов, но и между маршрутами в целом. Поэтому дальнейшая статистическая обработка результатов анкетирования, заключающаяся в дисперсионном и регрессионном анализе данных, проведена как для единой выборки.

Методами регрессионного анализа определена аппроксимирующая функция зависимости

предварительного значения ВВМП m -го маршрута на j -ом остановочном пункте от ФВО, равного τ ($P'_{mj(\tau)}$), адекватно описывающая экспериментальные данные, которая имеет следующий вид

$$\left\{ \begin{array}{l} P'_{mj(\tau)} = P_{mj(\text{пр})} + [P_{mj(0)} - P_{mj(\text{пр})}] \times \\ \quad \times 2,863^{-|P_{mj(0)} - P_{mj(\text{пр})}| \tau}, \quad \text{при } \tau \geq 0; \\ 0, \quad \text{при } \tau < 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

где $P_{mj(\text{пр})}$ – предельная ВВМП m -го маршрута на j -ом остановочном пункте, определенная для условий дефицита суммарных провозных возможностей всех альтернативных маршрутов и пропорциональная провозным возможностям каждого маршрута; $P_{mj(0)}$ – ВВМП при ФВО (τ , мин), которая определяется по формуле

$$P_{mj(0)} = 0,017 \cdot (K_{mj} - 10,07)^{1,172}, \quad (2)$$

где K_{mj} – функция привлекательности m -го маршрута на j -ой остановке, определенная по модели [5] для условий беспересадочных сообщений и при времени ожидания, равном нулю.

Предварительное значение ВВМП, рассчитанное по (1), корректируется исходя из требования полной вероятности (равной единице)

$$\sum_{m=1}^M P_{mj(\tau)} = 1, \quad (3)$$

где M – общее количество альтернативных маршрутов, ед., следующим образом

$$P_{mj} = \frac{P'_{mj}}{\sum_{k=1}^M P'_{kj}}. \quad (4)$$

Теоретические кривые зависимости ВВМП от ФВО для остановочного пункта «ул. Познанская», рассчитанные по (1)–(4), приведены на рис. 1.

Функция плотности распределения вероятности посадки пассажира в транспортное средство какого-либо из маршрутов в зави-

симости от ФВО ($f(\tau)$) в интервале от 0 до 6 минут описывается следующим образом (рис. 2):

$$f(\tau) = \frac{21,33 \left(\frac{\tau - 1,154}{3,6084} \right)^2}{3,6084} + 0,0187, \quad \text{при } \tau \geq 0. \quad (5)$$

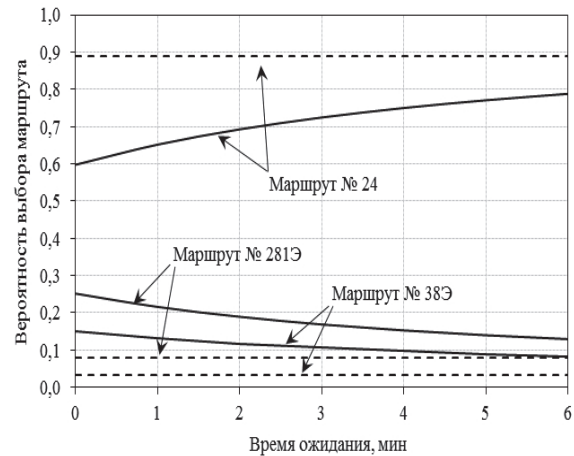


Рис. 1. Зависимость ВВМП от ФВО: --- – предельная ВВМП; ——— – функция ВВМП от ФВО

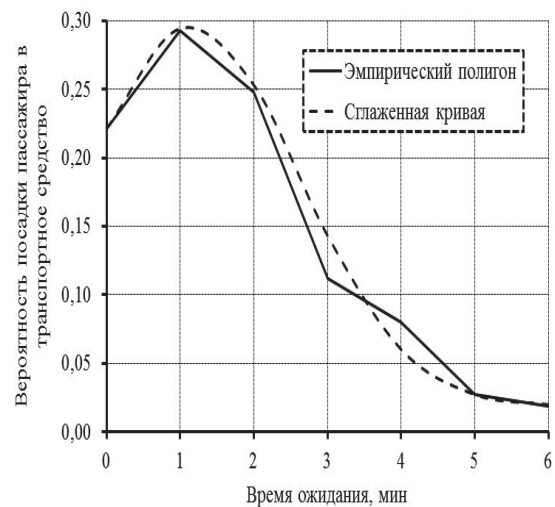


Рис. 2. Распределение вероятности посадки пассажира в транспортное средство

Полученные результаты могут быть использованы в алгоритмах проектирования систем городского пассажирского транспорта для прогнозирования распределения пассажиропотоков по участкам маршрутной сети по зависимости

$$P_{mj} = \sum_{\tau=0}^{T_j} P_{mj\tau} \cdot P_{j\tau}, \quad (6)$$

где T_j – максимальный интервал движения на j -ой остановке среди всех альтернативных маршрутов, мин.

Выводы

Результаты обработки экспериментальных данных указывают на наличие статистически значимого влияния ФВО на ВВП. Диапазон изменения ВВП определяется начальной и предельной ВВП. Характер изменений ВВП определяется соотношением предельной вероятности, определяемой соотношением интенсивностей предоставления пассажиромест на конкретном маршруте, к общей на данном остановочном пункте и ВВП при отсутствии ожидания им транспортного средства на остановке.

Литература

1. McFadden D. Modeling the choice of residential location / D. McFadden. – Amsterdam: University of California, Berkeley and Yale University, 1977. – 34 p.
2. Ben-Akiva M. Discrete choice models with applications to departure time and route choice / M. Ben-Akiva // Handbook of Transportation Science, 2003. – 32 p.
3. Вдовиченко В.О. Ефективність функціонування міської транспортної системи : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / В.О. Вдовиченко. – К., 2004. – 20 с.
4. Віниченко В.С. Факторний аналіз показника ефективності транспортної системи / В.С. Віниченко // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – 2009. – Вып. 86. – С. 292–297.
5. Горбачов П. Ф. Методика определения вида функции привлекательности пути следования в городе / П.Ф. Горбачов // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2007. – Вып. 20. – С. 122–124.
6. Ke Qiao. Passenger route choice model and algorithm in the urban rail transit network / Ke Qiao, Peng Zhao, Zhi-peng Qin // Journal of Industrial Engineering and Management. –2013. – V.6(1). – P. 113–123.

Рецензент: П.Ф. Горбачёв, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 15 апреля 2014 г.
