

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Мельник В.М.
Дата надходження рукопису 29.08.2014

Ружинская Людмила Ивановна, кандидат технических наук, доцент, кафедра биотехники и инженерии Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

E-mail: ruzhli@ukr.net

Фоменкова Анастасия Алексеевна, аспирант, кафедра биотехники и инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

E-mail: hyrondelle@list.ru

УДК 656.072.2

DOI: 10.15587/2313-8416.2014.29791

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ПО УЧАСТКАМ МАРШРУТНОЙ СЕТИ

© Н. А. Нефедов, Альберт Авуа Дж.

Мы представляем итерационный алгоритм расчета прогнозных значений загрузки участков маршрутной сети системы городского транспорта. Данный алгоритм предназначен для применения в автоматизированных системах проектирования систем городского пассажирского транспорта и основан на учете влияния фактического времени ожидания пассажира на остановочном пункте на вероятность выбора им маршрута из множества альтернативных. Использование данного подхода позволяет повысить точность прогноза на 5–10 %.

Ключевые слова: пассажир, маршрут следования, вероятность выбора маршрута, привлекательность, время ожидания на остановке.

We present an iterative algorithm for the calculation of predicted values of the urban transport route network sections traffic. This algorithm is designed for use in automated design systems of urban passenger transport systems and based on accounting for the influence of the actual waiting time of a passenger at a bus stop point on the probability of choice of route alternative sets. Using this approach allows to increase the accuracy of the forecast for 5–10 %.

Keywords: passenger, route, choosing route probability, attractiveness, waiting time at the bus stop.

1. Введение

Эффективность системы городского пассажирского транспорта (ГПТ) как с экономической, так и с социальной (затраты времени на поездки, время ожидания на остановках, количество пересадок, длина пешего подхода, комфортабельность поездок) точки зрения во многом определяются конфигурацией маршрутной сети (МС). Характеристики МС предопределяются решениями, принимаемыми проектировщиками на этапе разработки новой или модернизации существующей МС. В этой области существуют две основные проблемы:

1 – как можно более точного расчета матрицы пассажирских корреспонденций;

2 – выполнения как можно более точного прогноза распределения пассажирских корреспонденций по участкам МС (существующей или проектной).

Научные работы по второй проблеме указывают на необходимость использования функций привлекательности маршрутов. При этом последние научные работы указывают на стохастичность выбор пассажиром маршрута следования вследствие

подверженности его функционального состояния длительности поездки, в том числе – времени ожидания им транспортного средства на остановочном пункте. Таким образом, учет фактического времени ожидания пассажиров на остановках в определении вероятности выбора им пути следования позволит повысить точность прогноза распределения пассажирских корреспонденций по участкам МС.

2. Постановка проблемы

Вероятность выбора пассажиром маршрута с худшим значением функции привлекательности при малых значениях фактического времени ожидания им транспортного средства на остановке больше, чем значение вероятности, рассчитанного для среднего значения времени ожидания и тем более больше, чем при больших значениях времени ожидания. Для маршрутов с высоким значением функции привлекательности наблюдается обратная тенденция. Этот факт указывает на то, что пассажир дорожит своим временем и принимая решение о выборе маршрута передвижения учитывает его, что подтверждает правильность выдвинутой в исследовании рабочей гипотезы.

Кроме того, опираясь на эту закономерность, можно утверждать, что использование модели (4) в расчетах по определению пассажиропотоков на сети ГПТ позволит более точно определить загрузку отдельных ее участков. Это даст возможность более точно оценить заполнение салонов транспортных средств различных маршрутов и, соответственно, более точно рассчитать затраты на перевозку пассажиров и затрат пассажиров на передвижения.

3. Литературный обзор

Эволюция развития методов моделирования систем ГПТ базируется на явном или косвенном сравнении провозных возможностей альтернативных маршрутов передвижения пассажиров [1]. При таком подходе пассажирские корреспонденции распределяются по альтернативным маршрутам пропорционально их провозным возможностям. Неявное же использование этого подхода при использовании других моделей распределения пассажирских корреспонденций по альтернативным маршрутам заключается в использовании провозных возможностей маршрутов в качестве ограничений на объем пассажирских корреспонденций, которые могут быть «освоены» каждым из альтернативных маршрутов. Более поздние методы пропорции распределения пассажирских корреспонденций по маршрутам стали увязывать с привлекательностью маршрутов для пассажиров, которые оцениваются с помощью функций привлекательности [2, 3]. Функциональность привлекательности маршрутов заключается в том, что она оценивала уже и социально-экономические показатели (такие как тариф на проезд, затраты времени и усилий пассажиров), так и обратное влияние предпочтений пассажиров на привлекательность маршрутов. Изначально, чем больше привлекательности маршрута, тем большее количество пассажиров выберут его для осуществления поездки. Но, чем больше пассажиров воспользуются этим маршрутом, тем меньше окажется его привлекательность, например, за счет более высокой степени заполнения салона [4]. Именно существование такой обратной связи, а также признание влияния социального («человеческого») фактора на выбор пассажиром маршрута передвижения и невозможности полного и достоверного описания этого влияния, обусловил дальнейшее развитие моделей распределения пассажиропотоков по участкам МС, выразившееся в представлении функций привлекательности маршрутов в виде вероятностных функций. Это означает, что при одних и тех же неизменных параметрах МС в целом и отдельных маршрутов ее составляющих, пассажир не будет выбирать один и тот же маршрут передвижения в разные дни. Наиболее достоверным объяснением этому явлению представляется различное и непрогнозируемое функциональное состояние пассажира в разные дни [5].

Обобщенное по всем проанализированным работам множество параметров, непосредственно влияющих на выбор пассажиром пути передвижения, составляют: тариф за езду, время поездки, в том числе – время ожидания пассажира, скорость сообщения, динамический коэффициент заполнения салона, провозные возможности альтернативных маршрутов, интервал движения транспортных средств, количество пересадок. Также, определено, что на эффективность функционирования ГПТ, в части, касающейся не прямых расходов системы ГПТ, выражающейся в потерях общества от снижения производительности труда, существенное влияние оказывает функциональное состояние пассажира. Этот комплексный показатель подвержен значительному влиянию тех же параметров МС и, в особенности – затрат времени пассажира, как в транспортном средстве, так и на остановках.

4. Реализация алгоритма

Укрупненно предлагаемый алгоритм проектирования МС ГПТ представлен на рис. 1 и описывается следующим образом.

Этап 1. Подготовка по известным методикам первоначального варианта маршрутной сети городского пассажирского транспорта: матрица пассажирских корреспонденций, трассы маршрутов. Определение путей следования пассажиров с использованием функции привлекательности маршрутов. Распределение пассажиропотоков по маршрутам. Расчет пассажиропотоков по перегонам маршрутов и определение загрузки участков маршрутов. Выбор типа и количества подвижного состава на маршрутах в зависимости от интенсивностей пассажиропотоков на перегонах маршрутов. Расчет тарифов за поездку на маршрутах.

Определение параметров маршрутов – интервала и частоты движения, скорости сообщения и эксплуатационной скорости, коэффициента статического использования вместимости салона на перегонах, коэффициента динамического использования вместимости салона.

Расчеты в соответствии с этим этапом выполняются по любой из известных методик [1–3].

Этап 2. Пошаговое вычисление для каждого остановочного пункта для каждого маршрута от начального к конечному пункту вероятности выбора пассажиром маршрута передвижения по принципу: за одну итерацию производятся все необходимые расчеты для всех маршрутов на одном остановочном пункте для той части пассажирских корреспонденций, образуемых на данном остановочном пункте, которые могут воспользоваться соответствующим маршрутом для поездки.

Шаг 1. Расчет предельных вероятностей для каждого m -го маршрута, проходящего через данный остановочный пункт осуществляется по известным методикам [1, 3].

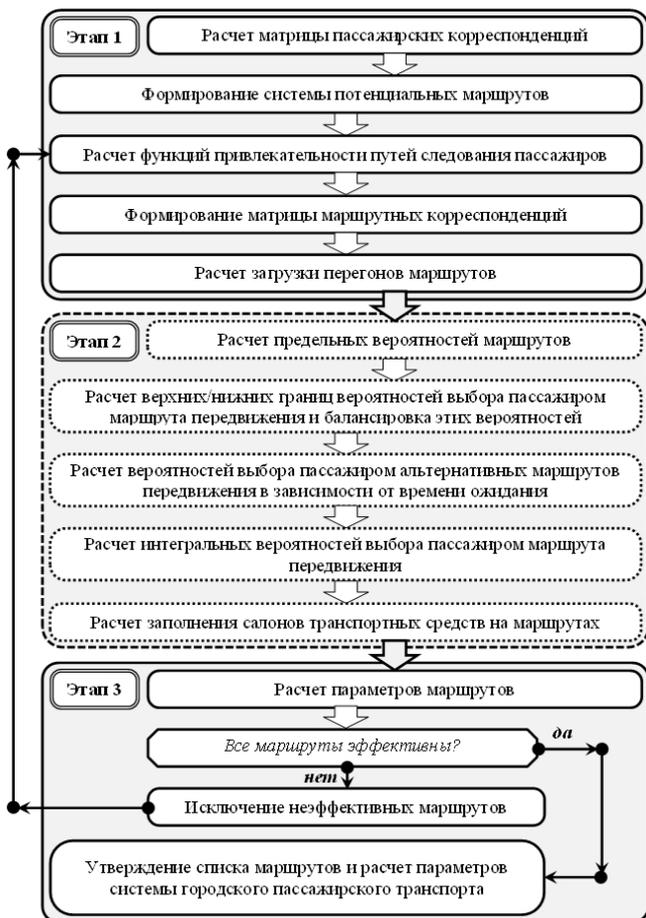


Рис. 1. Блок-схема алгоритма проектирования маршрутной сети ГПТ

Шаг 2. Расчет верхней/нижней границы вероятности выбора пассажиром маршрута передвижения при отсутствии ожидания им транспортного средства на данной остановке по формуле [3]:

$$K_m = 63,25 - 1,029 \cdot T_{m(n)} - 9,227 \cdot \gamma_{m(d)} - 10,443 \cdot C_m - 11,430 \cdot N_n, \quad (1)$$

где $T_{m(n)}$ – время поездки пассажира при использовании m -го маршрута, мин; $\gamma_{m(d)}$ – коэффициент динамического использования вместимости салона; C – тариф за езду, грн.; N_n – количество пересадок в пути следования, ед.

Предельная вероятность, зависящая от провозных возможностей альтернативных маршрутов (вероятность выбора какого-либо из маршрутов при длительном ожидании транспорта) рассчитывается по формуле:

$$P_{mj(np)} = \frac{ПМ_{mj}}{\sum_{k=1}^M ПМ_{kj}}, \quad (2)$$

где $ПМ_{mj}$ – количество свободных пассажиромест m -го маршрута, проходящего через j -ю остановку, пасс·мест/ч, которое определяется по формуле:

$$ПМ_{mj} = \frac{q_{m(n)} \cdot [1 - \gamma_{mj(cm)}]}{I_m}, \quad (3)$$

где $q_{m(n)}$ – номинальная пассажироместность одной транспортной единицы на m -м маршруте, пасс·мест; $\gamma_{mj(ст)}$ – коэффициент статического наполнения салона одной транспортной единицы m -го маршрута на j -й остановке; I_m – интервал движения транспортных единиц на m -м маршруте, ч.

Далее должна быть выполнена балансировка расчетных вероятностей (она повторяется при каждом изменении расчетного значения выбора го из альтернативных маршрутов) по формуле:

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

где $P_{mj(\tau)}$ – вероятность выбора пассажиром m -го маршрута при фактическом времени ожидания на j -ой остановке при фактическом времени ожидания пассажиром транспортного средства на остановке равным τ мин.

Далее проводится расчет численными методами значения вероятности выбора пассажиром маршрута передвижения при отсутствии ожидания транспортного средства на остановке.

Шаг 3. Вероятности выбора пассажиром каждого из альтернативных маршрутов на текущем остановочном пункте рассчитываются в следующей последовательности:

$$P'_{mj(\tau)} = P_{mj(np)} + [P_{mj(0)} - P_{mj(np)}] \cdot 2,863^{-|P_{mj(0)} - P_{mj(np)}| \cdot \tau}. \quad (5)$$

где $P_{mj(np)}$ – предельная вероятность выбора пассажиром m -го маршрута при фактическом времени ожидания на j -ой остановке при фактическом времени ожидания пассажиром транспортного средства на остановке при $\tau \rightarrow \infty$ мин.; $P_{mj(0)}$ – предельная вероятность выбора пассажиром m -го маршрута при фактическом времени ожидания на j -ой остановке при фактическом времени ожидания пассажиром транспортного средства на остановке при $\tau = 0$ мин.

Шаг 4. Определяется вероятность посадки пассажира в транспортное средство независимо от маршрута по формуле [6]:

$$f(\tau) = \frac{1}{3,6084} \cdot 21,33 \cdot \left(\frac{\tau - 1,154}{3,6084}\right)^2 + 0,0187. \quad (6)$$

Шаг 6. Расчет интегральных вероятностей выбора пассажиром m -го маршрута передвижения по формуле:

$$\dot{P}_{mj} = \sum_{\tau=0}^T P_{mj\tau}. \quad (7)$$

Шаг 7. Пересчет величины заполнения салонов транспортных средств всех альтернативных маршрутов на следующих перегонах и соответствующие им коэффициенты статического использования вместимости салонов.

Этап 3. Если в полученном списке маршрутов есть неэффективный с точки зрения системы городского пассажирского транспорта, то этот маршрут исключается из списка [3].

Если при этом в оставшемся множестве маршрутов любая корреспонденция осуществима то производится возврат на этап 1; если же остаются неосуществимые корреспонденции, то в систему добавляется один из ранее исключенных потенциальных маршрутов, который позволяет осуществить оставшиеся корреспонденции с наименьшим ухудшением показателя эффективности системы ГПТ и производится возврат на этап 1.

После выполнения всех условий производится окончательный расчет загрузки маршрутов по перегонам, уточнение количества подвижного состава на маршрутах. По результатам расчетов по этапу 2 может понадобиться пересмотр проекта системы городского пассажирского транспорта, вплоть до пересмотра трасс маршрутов и снятия или открытия не вошедших в первоначальный вариант маршрутов. Окончательное решение зависит от итогов уточнения распределения пассажирских корреспонденций по маршрутам.

5. Апробация результатов исследований

Точность предложенного алгоритма оценена путем сравнения значений количества пассажиров из обследованной группы респондентов выбравших какой-либо из трех альтернативных маршрутов за все время проведения обследования с рассчитанными по [3] и по предложенной модели. Погрешности расчетов составили: для методики [3] – от –9,9 % до 10,0 %; для предложенного алгоритма – от 1,3 % до 1,9 %.

6. Выводы

Предложенный итерационный алгоритм, основанный на корректировке моделей вероятности выбора пассажиром маршрута следования за счет учета влияния фактического времени ожидания пассажира транспортного средства на остановке позволяет повысить точность прогнозирования распределения пассажирских корреспонденций на 5–10 %.

Литература

1. Доля, В. К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупных городах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.22.10 / В. К. Доля. – Эксплуатация автомобильного транспорта. – Московский автомобильно-дорожный институт, 1993. – 301 с.
2. Вдовиченко, В. О. Ефективність функціонування міської транспортної системи [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.22.01 / В. О. Вдовиченко. – Транспортні системи. – Національний транспортний університет, 2004. – 20 с.
3. Горбачов, П. Ф. Оцінка реакції пасажира на час очікування міського пасажираського транспорту / П. Ф. Горбачов, Д. М. Копитков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 31. – С. 40–42.
4. Ben-Akiva, M. E. Discrete choice models with applications to departure time and route choice [Text] / M. E. Ben-Akiva, M. Bierlaire. – Handbook of Transportation Science, 2003. – 32 p.
5. Qiao, K. Passenger route choice model and algorithm in the urban rail transit network [Text] / K. Qiao, P. Zhao, Z.-P. Qin // Journal of Industrial Engineering and Management. – 2013. – Vol. 6, Issue 1. – P. 113–123. doi: 10.3926/jiem.595
6. Нефедов, Н. А. Экспериментальное исследование вероятности выбора пассажиром маршрута следования [Текст] / Н. А. Нефедов, Альберт Авуа Дж. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 2, № 3 (68). – С. 40–44. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/23140/20894>

References

1. Dolya, V. K. (1993). Theoretical basics and methods for organization of passenger bus transportation in largest cities. Exploitation of automobile transport. Moscow Automobile and Highway Institute, 301.
2. Vdovichenko, V. O. (2004). Effectiveness of city transport system performance. Transport systems. National transport university, 20.
3. Gorbachov, P. F., Kopytkov, D. M. (2008). Estimation of passenger reaction on waiting time of urban passenger transport. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 31, 40–42.
4. Ben-Akiva, M. E., Bierlaire, M. (2003). Discrete choice models with applications to departure time and route choice. Handbook of Transportation Science, 32.
5. Qiao, K., Zhao, P., Qin, Z.-P. (2013). Passenger route choice model and algorithm in the urban rail transit network. Journal of Industrial Engineering and Management, 6 (1), 113–123. doi: 10.3926/jiem.595
6. Nefedov, N. A., Al'bert, Avua Dzh. Experimental research of passenger trip route choice probability. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/12, 113–123. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/3140/20894>

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Подригало М. А.
Дата надходження рукопису 31.10.2014*

Нефедов Николай Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра транспортных систем и логистики, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, г. Харьков, ул. Петровского, 25
E-mail: nkts@meta.ua
Альберт Авуа Джуниор, директор, Консорциум городского развития, 104 Квэйм Нкрума авеню, ком. GP 17186, Аккра, Республика Гана
E-mail: urbanconsortium@yahoo.co.uk