

## ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 656.072.2

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫБОРА ПАССАЖИРОМ МАРШРУТА  
СЛЕДОВАНИЯ

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

*Аннотация.* Предложена методика расчета прогнозных значений распределения пассажирских корреспонденций между альтернативными маршрутами. Приведены результаты статистической обработки данных экспериментальных исследований выбора пассажирами маршрутов следования. Произведен сравнительный анализ точности прогноза по предложенной методике и функциям привлекательности маршрутов.

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

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИБОРУ ПАСАЖИРОМ МАРШРУТУ  
ПРЯМУВАННЯ

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

*Анотація.* Запропоновано методику розрахунків прогнозних значень розподілу пасажирських кореспонденцій між альтернативними маршрутами. Наведено результати статистичної обробки даних експериментальних досліджень вибору пасажирами маршрутів прямувань. Проведено порівняльний аналіз точності прогнозу за запропонованою методикою й функціями привабливості маршрутів.

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

THE QUESTION OF TO DETERMINING THE PROBABILITY OF CHOICE OF THE  
PASSENGER TRIP ROUTE

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

*Abstract.* Methods of calculation of forecast values of passenger correspondences distribution between alternative trip routes is proposed. The results of statistical data processing of experimental studies of the passenger trip choice are given. Comparative analysis of forecast accuracy according to the proposed method and the functions of trip routes attractiveness is evaluated.

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

## Введение

Система городского пассажирского транспорта (ГПТ) является одним из важнейших элементов городской инфраструктуры, обеспечивая улучшение условий расселения в новых жилых районах и делая доступными и удобными для людей новые места приложения труда и объекты культурно-бытового назначения. Испытывая постоянное влияние различных факторов – демографических, геополитических, социально-экономических и других, города находятся в состоянии постоянных изменений, и системы ГПТ как инфраструктурные элементы должны соответствовать меняющимся требованиям и условиям их функционирования. Требуемое соответствие достигается постоянным мониторингом условий функционирования ГПТ и ее модернизацией. Качество такой модернизации во многом зависит от точности прогноза распределения пассажирских корреспонденций по участкам маршрутной сети (МС) ГПТ. Поэтому проблемы повышения точности такого прогноза является важной научно-практической задачей.

## Анализ публикаций

В настоящее время общепризнанным подходом при определении загрузки участков МС (что является следствием распределения пассажирских корреспонденций по участкам МС) является использование функций привлекательности маршрутов [1–3] или их полезности [4]. Эти функции позволяют определить пропорции или вероятности распределения пассажирских корреспонденций между альтернативными маршрутами передвижения пассажиров. В работе [5] представлены результаты исследований по применению подхода структурного равновесия (*SEM – structural equation model*). Этот подход используется для ранжирования факторов, определяющих выбор пассажиром маршрута следования, в том числе – скрытых, так называемых «психометрических»

факторов, как, например, удовольствие от поездки (*hedonism*). То есть его область применения – определение списка факторов, определяющих функцию привлекательности маршрута следования пассажира; в формальном же виде, однако, с его помощью определить данную функцию не представляется возможным. В то же время результаты этих исследований согласуются с данными работ [6–7], указывающими на существенное влияние на выбор пассажира его психофизиологического состояния. Такой согласованный вывод позволяет выдвинуть гипотезу о влиянии фактического времени ожидания пассажира транспортного средства на остановке, что изменяет его психофизиологическое состояние, на функцию привлекательности маршрутов и, в конечном итоге, на вероятность выбора пассажиром маршрута следования (ВВПМС).

## Цель и постановка задачи

Проведенные авторами исследования по данной проблеме, результаты которых представлены в [8, 9], позволили определить качественные и количественные характеристики влияния фактического времени ожидания пассажиром транспортного средства на остановочном пункте на ВВПМС. Адекватность предложенной функции ВВПМС еще не является достаточным основанием для применения методик прогнозирования распределения пассажирских корреспонденций на ее основе вместо апробированных подходов. Поэтому необходимо сравнение ее точности с уже известными методами. В качестве основы для сравнения выбран подход на основе функции привлекательности маршрутов [1]. Базой для сравнения являются результаты натурных наблюдений за выбором пассажиров [8].

## Проверка точности прогнозирования

Для предлагаемой методики прогнозные значения ВВПМС рассчитываются по формуле

$$\hat{P}_{mj} = \left[ \frac{1}{3,608} \cdot 21,33 \cdot \left( \frac{\tau - 1,154}{3,6084} \right)^2 + 0,0187 \right] \cdot \left\{ P_{mj(\text{пр})} + [P_{mj(0)} - P_{mj(\text{пр})}] \cdot 2,863^{-|P_{mj(0)} - P_{mj(\text{пр})}| \cdot \tau} \right\}, \quad (1)$$

где  $\hat{P}_{mj}$  – ВВПМС  $m$ -го маршрута на  $j$ -м остановочном пункте;  $\tau$  – фактическое время ожидания, мин;  $P_{mj(\text{пр})}$  – предельная ВВПМС  $m$ -го маршрута на  $j$ -м остановочном пункте [8];  $P_{mj(0)}$  – ВВПМС  $m$ -го маршрута

на  $j$ -м остановочном пункте при времени ожидания, равном нулю [8].

Для сравниваемой методики (по интенсивности предоставления свободных пассажиромест) ВВПМС определяется по формуле

$$\hat{P}_{mj} = \left[ \frac{1}{3,608} \cdot 21,33 \cdot \left( \frac{\tau - 1,154}{3,6084} \right)^2 + 0,0187 \right] \cdot \frac{q_{m(\text{н})} \cdot [1 - \gamma_{mj(\text{ст})}]}{I_m \cdot \sum_{k=1}^M \frac{q_{k(\text{н})} \cdot [1 - \gamma_{kj(\text{ст})}]}{I_k}}, \quad (2)$$

где  $q_{m(\text{н})}$  – номинальная вместимость транспортного средства  $m$ -го маршрута, пасс.;  $\gamma_{mj(\text{ст})}$  – коэффициент наполнения салона транспортного средства  $m$ -го маршрута на  $j$ -м остановочном пункте;  $I_m$  – интервал движения транспортных средств на  $m$ -м маршруте, ч;  $M$  – общее количество альтернативных маршрутов следования, ед.

симации сглаженной функции вероятности посадки пассажира в транспортное средство (выражение в квадратных скобках в обеих моделях [8]).

Результаты расчетов приведены в табл. 1. Как следует из приведенных данных, обе расчетные методики для каждого конкретного значения времени ожидания не обеспечивают суммарную вероятность, равную единице. Это объясняется ошибкой аппрок-

Относительно же сравнения точности прогнозирования ВВПМС необходимо отметить, что методика, основанная на модели (2), предполагает учет среднего времени ожидания пассажира; следовательно, поминутное сравнение ВВПМС будет некорректным. Поэтому сравнение методик производилось по значениям ВВПМС за весь интервал наблюдаемых значений времени ожидания, т.е. по итоговой колонке табл. 1.

Таблица 1 Экспериментальные и расчетные значения вероятности выбора пассажиром маршрута следования

Источник данных	Маршруты	Фактическое время ожидания, мин							Всего
		0	1	2	3	4	5	6	
Данные натуральных наблюдений	24	0,121	0,179	0,165	0,080	0,059	0,020	0,015	0,639
	38Э	0,060	0,066	0,047	0,018	0,012	0,004	0,002	0,210
	281Э	0,041	0,048	0,036	0,013	0,009	0,003	0,002	0,151
	Всего	0,221	0,293	0,248	0,112	0,080	0,027	0,019	1,000
Результаты расчетов по модели (1)	24	0,118	0,179	0,167	0,100	0,044	0,021	0,015	0,645
	38Э	0,059	0,065	0,048	0,024	0,009	0,004	0,002	0,211
	281Э	0,040	0,045	0,033	0,016	0,006	0,002	0,002	0,145
	Всего	0,217	0,289	0,248	0,140	0,059	0,027	0,019	1,001
Результаты расчетов по модели (2)	24	0,116	0,154	0,132	0,075	0,031	0,014	0,010	0,534
	38Э	0,067	0,089	0,076	0,043	0,018	0,008	0,006	0,307
	281Э	0,035	0,046	0,040	0,022	0,009	0,004	0,003	0,159
	Всего	0,217	0,289	0,248	0,140	0,059	0,027	0,019	1,000
Разница между экспериментальными данными и результатами расчетов по модели (1), %	24	-1,8	0,0	1,4	24,6	-25,2	0,7	2,4	0,9
	38Э	-2,0	-1,5	2,4	30,2	-26,6	-9,1	21,5	0,6
	281Э	-1,9	-6,3	-8,5	26,3	-31,3	-9,1	-20,5	-4,6
	Всего	-1,9	-1,4	0,1	25,7	-26,1	-1,8	2,0	0,0
Разница между экспериментальными данными и результатами расчетов по модели (2), %	24	-3,9	-14,0	-19,6	-6,8	-46,4	-30,1	-30,8	-16,5
	38Э	11,4	34,3	62,3	134,7	47,6	101,3	192,4	46,5
	281Э	-15,4	-3,6	9,4	72,7	5,8	56,3	51,4	5,2
	Всего	-1,9	-1,4	0,1	25,7	-26,1	-1,8	2,0	0,0

Сравнение показывает, что применение методики, основанной на модели (2), приводит к ошибкам относительно экспериментальных данных от  $-16,5\%$  до  $+46,5\%$ , а предлагаемой методики – к ошибкам в диапазоне от  $-4,4\%$  до  $+0,9\%$ .

### Вывод

Предложенный метод прогнозирования распределения пассажирских корреспонденций является адекватным и позволяет за счет учета фактического времени ожидания пассажиром транспортного средства на остановке повысить точность прогноза до  $46,5\%$  по интервалу варьирования времени ожидания пассажира в целом.

### Литература

1. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту: дис... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Горбачов Петро Федорович. – Х.: ХНАДУ. 2009. – 370 с.
2. Вдовиченко В.О. Ефективність функціонування міської транспортної системи: дис... канд. техн. наук: 05.22.01 / Вдовиченко Володимир Олексійович. – К.: НТУ. 2004. – 20 с.
3. Ke Q. 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. – Vol. 6(1). – P. 113–123.
4. Ben-Akiva M. Discrete choice models with applications to departure time and route choice / Moshe E. Ben-Akiva, Michel Bierlaire. – Handbook of Transportation Science, 2003. – 32 p.
5. D. Temme. Incorporating Latent Variables into Discrete Choice Models A Simultaneous Estimation Approach Using SEM Software / Dirk Temme, Marcel Paulssen, Till Dannewald // Business Research. – 2008. – Vol. 1, Issue 2. – P. 220–237.
6. Доля В.К. Теоретические основы и методы организации маршрутных автобусных перевозок пассажиров в крупных городах: в 2 т: дисс... д-ра техн. наук: 05.22.10 / Доля Виктор Константинович. – М.: МАДИ, 1993. – 301 с.
7. Гюлев Н.У. Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом влияния человеческого фактора: дисс... канд. техн. наук: 05.22.10; 05.22.02 / Гюлев Низами Уруджевич. – Х.: ХАДИ. 1993. – 140 с.
8. Нефедов Н.А. Экспериментальное исследование вероятности выбора пассажиром маршрута следования / Н.А. Нефедов, Альберт Авуа Дж. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий: сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 3/12 (63). – С. 33–36.
9. Нефедов Н.А. О функции вероятности выбора пассажиром маршрута следования в системах городского пассажирского транспорта крупнейших городов / Н.А. Нефедов, Альберт Авуа Дж. // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2014. – Вып. 34. – С. 70–73.

Рецензент: Е.В. Нагорный, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 1 июня 2015 г.