

УДК 656.025

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ТАБЛИЧНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАССАЖИРСКИХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ В СРЕДНИХ ГОРОДАХ

П.Ф. Горбачёв, проф., д.т.н., А.В. Россолов, доц., к.т.н., С.Ю. Гончаренко, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Предлагается модифицированный метод получения матриц маршрутных корреспонденций на основе выборочного табличного обследования на маршрутной сети средних и больших городов. Аналитически обосновывается размер репрезентативной выборочной совокупности для обеспечения заданной точности моделирования матрицы корреспонденций.

Ключевые слова: пассажирообмен, табличный метод, маршрутная корреспонденция, маршрутная сеть, достоверная вероятность.

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ТАБЛИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ В СЕРЕДНІХ МІСТАХ

П.Ф. Горбачов, проф., д.т.н., О.В. Россолов, доц., к.т.н., С.Ю. Гончаренко, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Запропоновано модифікований метод отримання матриць маршрутних кореспонденцій на основі вибіркового табличного обстеження на маршрутній мережі середніх та великих міст. Аналітично обґрунтовується розмір репрезентативної вибіркової сукупності для забезпечення заданої точності моделювання матриць кореспонденцій.

Ключові слова: пасажирообмін, табличний метод, маршрутна кореспонденція, маршрутна мережа, довірна ймовірність.

MODIFIED METHOD OF TABULAR SURVEY OF PASSENGER TRIPS IN THE MEDIUM-SIZE TOWNS

P. Horbachov, Prof., D. Sc. (Eng.), A. Rossolov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
S. Goncharenko, P.G.,
Kharkov National Automobile and Highway University

Abstract. There was proposed a modified method of route origin-destination matrix obtaining on the basis of cluster tabular sampling on the network of middle-size and big towns. There was analytically substantiated the size of a representative sample set for sufficient modeling accuracy of the route origin-destination matrix.

Key words: passenger traffic, tabular method, passenger correspondence, route network, confidence probability.

Введение

Матрица сетевых передвижений пассажиров является исходной информацией для разработки генеральных планов города, комплексных схем транспорта и маршрутной сети города [1]. В большинстве случаев получение

фактической матрицы сетевых корреспонденций сопряжено со значительными трудовыми и финансовыми затратами и необходимостью привлечения большого количества учетчиков, которые требуют специальной подготовки. Увеличение масштабов городов приводит к усложнению процедуры обследо-

ваний, что заставляет исследователей прибегать к теоретическим методам моделирования корреспонденций, следствием чего является низкая точность результатов прогноза.

Анализ публикаций

Существующий комплекс способов моделирования потребностей населения в передвижениях и методов формирования матрицы пассажирских корреспонденций (МПК) можно систематизировать исходя из подхода к получению непосредственно значения корреспонденции. Это либо натурное обследование, либо математическое моделирование на основе известных ёмкостей транспортных районов по отправлению и прибытию. Вторая группа методов, в свою очередь, может быть разделена на априорные, статистические модели и интервальное моделирование множества допустимых вариантов МПК.

Наиболее точное описание потребностей населения в городских передвижениях дают натурные обследования талонным или таблично-опросным методами [2], однако даже при небольших масштабах города они сопряжены со столь значительными организационными, правовыми и финансовыми проблемами, что необходимость их решения делает проведение таких обследований практически невозможным.

Из практически доступных методов обследования наилучшие результаты обеспечивает табличный метод, дополненный аналитическим методом оценки корреспонденций [3]. Но проведение сплошного табличного обследования городских маршрутов возможно лишь в малых городах, а методология проведения выборочного обследования табличным методом на данный момент отсутствует. Это обусловлено тем, что в случае необходимости охвата полной совокупности маршрутов обычно используется визуальный метод, который позволяет зафиксировать мощность пассажиропотока на ключевых точках маршрутной сети. Он является надежным способом получения данных о ёмкостях транспортных районов по отправлению и прибытию [4], однако он не дает никаких указаний на величину корреспонденций.

Моделирование МПК чаще всего реализуется с использованием априорных моделей, основанных на гипотезах об аналогии рас-

пределения корреспонденций с законами термодинамики и гравитации. Согласно гравитационной модели величина пассажирской корреспонденции определяется [5] из

$$h_{ij} = D_i \frac{A_j \cdot c_{ij} \cdot k_j}{\sum_m^n A_m \cdot c_{im} \cdot k_m}, \quad (1)$$

где A_i – ёмкость транспортного района по отправлению, пасс.; D_j – ёмкость транспортного района по прибытию, пасс.; c_{ij} – величина функции тяготения между i -м и j -м транспортными районами; k_{ij} – калибровочный коэффициент; n – количество транспортных районов в модели маршрутной сети города, ед.

Основным научным вопросом относительно гравитационных моделей является способ формализации функции тяготения. Так, согласно [6] они могут быть классического вида (2), экспоненциального (3) и комбинированного (4).

$$c_{ij} = k_{ij}^{-n}, \quad (2)$$

$$c_{ij} = \exp(-\beta \cdot k_{ij}), \quad (3)$$

$$c_{ij} = k_{ij}^n \cdot \exp(-\beta \cdot k_{ij}), \quad (4)$$

где k_{ij} – показатель, характеризующий степень «притяжения» между i -м и j -м транспортными районами города; β – эмпирический коэффициент.

Основным недостатком как всех априорных моделей, так и гравитационных, в частности, является невысокая точность прогноза величины корреспонденции. Ошибка расчетов, как правило, в среднем колеблется от 200 до 300 процентов [3], что делает их применимыми лишь для грубых проектных расчетов.

Цель и постановка задачи

Объектом исследования является процесс перемещения пассажиров по маршрутной сети средних и больших городов. В качестве предмета исследования рассматриваются закономерности формирования маршрутных корреспонденций в зависимости от пассажирообмена остановочных пунктов и количе-

ства наблюдений за ним. В качестве гипотезы выдвигается предположение, что существует возможность получения достоверных матриц маршрутных корреспонденций на основе результатов выборочного табличного обследования маршрутов в системах общественного транспорта средних и больших городов.

Изложение методики обследования

В рамках решаемого вопроса ставится задача нахождения такого количества учетчиков, которые, выполнив выборочное обследование табличным методом, гарантируют возможность формирования МПК с необходимой степенью точности. При этом делается допущение, что все конкурентные маршруты обладают равнозначной привлекательностью. Пусть известно количество рейсов по маршрутной сети города – R_z . Количество автобусов, в которых находятся учетчики, составляет r_i . Ставится задача: определить такое количество учетчиков n , которое позволит определить значение корреспонденции между остановочными пунктами i и j , h_{ij} , с заданным уровнем доверительной вероятности P , при условии, что

$$h_{ij} = \sum_f h_{ijf}, \tag{5}$$

где f – индекс рейса.

Относительная погрешность обследования будет составлять

$$\delta_{ij}^\alpha = \gamma_\alpha \cdot \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^M h_{ij}^l \cdot \left(\frac{R_l}{a_l}\right)^2}{\sum_{l=1}^M h_{ij}^l \cdot \left(\frac{R_l}{a_l}\right)}}, \tag{6}$$

где γ_α – квантиль распределения, определяемый на основе уровня доверительной вероятности; M – количество маршрутов в сети города, ед.

Фактически относительная погрешность выборочного обследования является своеобразной производной от ошибки сплошного обследования

$$\delta_{ij}^\alpha = \gamma_\alpha \cdot \delta_{ij}, \tag{7}$$

где δ_{ij} – относительная погрешность сплошного обследования.

Квантиль вероятности распределения определяется из условия

$$P\left\{\left|h_t - \lambda_{ij} \cdot t\right| < \gamma_\alpha \cdot \sqrt{\lambda_{ij} \cdot t}\right\} = \alpha, \tag{8}$$

где λ_{ij} – интенсивность подхода пассажиров на остановочный пункт для выполнения поездки между i -м и j -м остановочными пунктами, пасс/ч; t – расчетный период проведения замеров (принимается равным одному часу), ч.

Исходя из симметричности распределения случайных величин

$$\frac{\alpha}{2} = \Phi(\gamma_\alpha). \tag{9}$$

Пусть входящий поток пассажиров на остановочном пункте составляет величину D_i , а выходящий – A_i . Обследование проходит на m -м маршруте, который обслуживает k остановок в заданном направлении. В этом случае количество вошедших пассажиров при движении маршрутного средства до j -й остановки составляет

$$D(j) = D_i + D_{i+1} + D_{i+2} + \dots + D_{j-1}, \tag{10}$$

где D_i – количество вошедших пассажиров в транспортное средство на i -м остановочном пункте, пасс.

Соответственно количество вышедших пассажиров до j -й остановки составляет

$$A(j) = A_{i+1} + A_{i+2} + \dots + A_{j-1}, \tag{11}$$

где A_{i+1} – количество вышедших пассажиров на $i + 1$ -м остановочном пункте, пасс.

С учетом общего количества остановок на m -м маршруте, используя (10) и (11), получаем следующее равенство

$$\begin{aligned} D_1 + D_2 + \dots + D_i + \dots + D_{k-1} &= \\ &= A_2 + A_3 + \dots + A_i + \dots + A_k. \end{aligned} \tag{12}$$

Величина маршрутной корреспонденции оценивается как

$$\bar{h}_{ij}(m) = \frac{D_i}{D(j)} \cdot A_j. \tag{13}$$

С учетом выборочного способа проведения обследования и общего количества рейсов на маршруте оценка величины маршрутной корреспонденции будем иметь вид

$$\bar{H}_{ij}(m) = \bar{h}_{ij}(m) \cdot \frac{A_m}{a_m}. \quad (14)$$

Поток пассажиров, подходящих к остановочному пункту, является простейшим, распределенным в соответствии с законом Пуассона. Основными свойствами потока являются отсутствие последствия и однородность. Исходя из этого, его математическое ожидание равно дисперсии

$$D\bar{h}_{ij}(m) = \bar{h}_{ij}(m). \quad (15)$$

С учетом выборочного характера обследования, может быть получено, что

$$D\bar{H}_{ij}(m) = \bar{h}_{ij}(m) \cdot \left(\frac{A_m}{a_m}\right)^2. \quad (16)$$

Оценка всех корреспонденций по всем маршрутам

$$\bar{H}_{ij} = \sum_{m=1}^M \bar{H}_{ij}(m) = \sum_{m=1}^M \bar{h}_{ij}(m) \cdot \frac{A_m}{a_m}. \quad (17)$$

Соответственно дисперсия величины корреспонденции

$$D\bar{H}_{ij} = \sum_{m=1}^M D\bar{H}_{ij}(m) = \sum_{m=1}^M \bar{h}_{ij}(m) \cdot \left(\frac{A_m}{a_m}\right)^2. \quad (18)$$

Если задать доверительную вероятность α , то доверительный интервал определится как

$$H_{ij} \in \left(\bar{H}_{ij} - \gamma_\alpha \cdot \sigma_{ij}; \bar{H}_{ij} + \gamma_\alpha \cdot \sigma_{ij} \right), \quad (19)$$

где σ_{ij} – среднеквадратическое отклонение величины корреспонденции между i -м и j -м остановочными пунктами, пасс.; γ_α – квантиль распределения, определяемый по уровню доверительной вероятности.

Выводы

Предложенный метод получения матриц маршрутных корреспонденций по результа-

там табличного обследования является легко применимым для маршрутных сетей средних и больших городов. Разработанные модели на основе задаваемого уровня доверительной вероятности позволяют определить необходимое количество учетчиков и, соответственно, замеров на маршрутной сети. Используя построенные модели маршрутных корреспонденций, можно выполнить формирование матрицы сетевых передвижений, которая является моделью спроса населения города на услуги городского пассажирского транспорта.

Литература

1. Горбачёв П.Ф. Интервальное моделирование спроса на трудовые передвижения в крупнейших городах / П.Ф. Горбачёв, А.В. Россолов, К.В. Костенко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля : сб. наук. ст. – 2011. – № 159. – С. 248–253.
2. Заблоцкий Г.А. Методы расчета потоков пассажиров и транспорта в городах / Г.А. Заблоцкий ; под ред. А.К. Старинкевич. – М. : ЦНТИ по гражд. строит. и архит., 1968. – 92 с.
3. Любий Є.В. Визначення попиту на пересування населення малих міст маршрутним пасажирським транспортом: автореф. дис. канд. техн. наук на здобуття наукового ступеня: 05.22.01 «Транспортні системи» / Є.В. Любий. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 20 с.
4. Россолов О.В. Удосконалення інтервальної концепції визначення попиту на послуги пасажирського маршрутного транспорту в великих містах: автореф. дис. канд. техн. наук на здобуття наукового ступеня: 05.22.01 «Транспортні системи» / О.В. Россолов. – Х.: ХНАДУ, 2012. – 20 с.
5. Горбачёв П.Ф. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие / П.Ф. Горбачёв, И.А. Дмитриев. – Х.: ХНАДУ, 2002. – 202 с.
6. Ortuzar J. de D. Modelling transport. Third edition / J. de D. Ortuzar, L. G. Willumsen. – John Wiley & Sons Ltd, 2006. – 499 p.

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

Статья поступила в редакцию 21 марта 2014 г.