

**УДК 621.81**

*Шаров М.И., Лагереv Р.Ю., к.т.н., доц. - ИрГТУ, г Иркутский государственный технический университет*

**Сравнение точности методов оценки корреспонденций на сети городского общественного транспорта**

Sharov M.I., PhD student, Lagerev R.Y., PhD, Irkutsk State Technical University

**Accuracy comparison of the estimation methods of the of existing OD matrix in case of passenger flows**

This paper is devoted to the accuracy comparison of the estimation methods of the of existing OD matrix in case of passenger flows

Оценка существующего распределения потоков, спроса на передвижения актуальна и в организации дорожного движения (распределение потоков транспортных средств по УДС) и в организации пассажирских перевозок (распределение пассажиропотоков по сети пассажирского транспорта), т.е. данная задача носит универсальный характер. Важнейшей формой описания спроса на передвижения является матрица корреспонденций, в случае действующей транспортной сети – существующая матрица корреспонденций.

Во многих крупных городах уже имеется ранее рассчитанная «старая» матрица корреспонденций, которая в данный момент уже не отражает реальной картины распределения транспортного спроса, тогда встает вопрос об расчёте новой матрицы корреспонденции. Получение матрицы, путем определения данных подвижности населения весьма трудоёмок и не всегда возможен. Поэтому, очень важно наличие методики обновления матриц корреспонденции, которая не требует трудоемких обследований для получения исходных данных, а так же имеет возможность, проведения оперативного обновления с использованием автоматизированных средств регистрации пассажиров.

Задачу определения транспортного спроса и распределения потоков по результатам выборочного обследования пассажирских и транспортных потоков на транспортной сети рассматривали многие авторы, в том числе и в нашей стране.

Наиболее общую постановку задачи сформулировал Т. Abrahamsson. Он полагает, что в наиболее общем виде алгоритм восстановления существующей матрицы корреспонденций формулируется следующим образом:

$$\min(g, v) = Y_1 F_1(g, \hat{g}) + Y_2 F_2(v, \hat{v}) \quad g, v \geq 0 \quad (1)$$

при условии  $v = \text{assign}(g)$ ,

где  $\hat{g}$  – восстанавливаемая матрица корреспонденций;  $\hat{v}$  – вектор значений наблюдаемых потоков;  $F_1, F_2$  – некоторые меры расстояния;  $v_1, v_2$  – некоторые коэффициенты согласованности;  $\text{assign}(g)$  – распределение потоков по сети, разделяющее матрицу корреспонденций  $g_{ij}$  на потоки, следующие разными маршрутами.

Задачей поставленной авторами входила разработка методики, пригодной для обновления ранее рассчитанной матрицы корреспонденций при следующих условиях:

- рассматривается детальное представление сети в виде ориентированного графа, на специально выбранных сечениях которого, замерами устанавливается значение пассажиропотока;
- используются данные обследований пассажиропотока (ручной или автоматический подсчет, видеосъемка с последующей обработкой, датчики входа выхода, и т.д.);
- используются ранее рассчитанная матрица корреспонденций (материалы генплана), а также картограмма пассажирских потоков, полученная по этой матрице;
- матрицы корреспонденций между выделенными вершинами сети определяются методами математической статистики, т.е. с помощью робастного регрессионного анализа.

Цель оценивания состоит в нахождении такого вектора корреспонденций  $\hat{x}$ , при котором соответствующий пассажиропоток на звеньях сети  $\hat{y}$  максимально близко соответствует замеренному значению пассажиропотоку  $y$ :

$$\sum_{i=1}^n |e_i|^v = \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|^v \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $y_i$  - замеренные значения интенсивности потока на звеньях сети;  $e_i$  - ошибки сходимости значений интенсивности (остатки регрессии);  $v$  - коэффициент чувствительности  $1 \leq v < 2$ .

В линейном программировании на оцениваемые параметры налагаются ограничения по знаку ( $x \geq 0$ ). Для снятия такого ограничения реализация метода наименьших модулей (МНМ) требует ввода дополнительных переменных, позволяющих включить остатки регрессии в состав целевой функции линейного программирования.

Для использования методов линейной оптимизации (используется библиотека Optimization Toolbox пакета Matlab) в вектор оцениваемых корреспонденций  $x$  вводятся фиктивные переменные – вектор остатков регрессии  $e$ . Таким образом, алгоритм, применительно к восстановлению матриц корреспонденций, имеет следующий вид:

$$\min \sum_{i=1}^n |e_i| = \min (f_j^T x_2_j), \quad (3)$$

при линейных ограничениях на переменные

$$A2 \times 2 = y, \quad (4)$$

и двухсторонних ограничениях на вектор оцениваемых параметров

$$x_{lb} \leq x_2 \leq x_{ub}, x_{lb} \geq 0, x_{ub} > 0$$

Для применения рассмотренного выше метода необходимо использовать некоторое начальное значение оцениваемых параметров  $\hat{x}_j^0$ . В данной работе предлагаемый алгоритм пригоден для случая, когда исходные данные представлены значениями пассажиропотоков, а априорная информация о корреспонденциях представлена виде ранее рассчитанной («старой») матрицы корреспонденций. В нашей работе старая матрица принята по материала

Генерального плана Иркутска, выполненного ЦНИИП Градостроительства в 1985-1987 гг.

Используя указанный алгоритм, авторами была выполнен эксперимент с реальной сетью ГПТ, результатом, которой являлась обновлённая матрица корреспонденций. На основе выборочного анкетирования населения были получены основные данные для расчёта матрицы корреспонденций, такие как: подвижность населения, кривая тяготения (рис. 1) и тд. По полученным данным с использованием гравитационной модели и кривой расселения была рассчитана матрица корреспонденций.

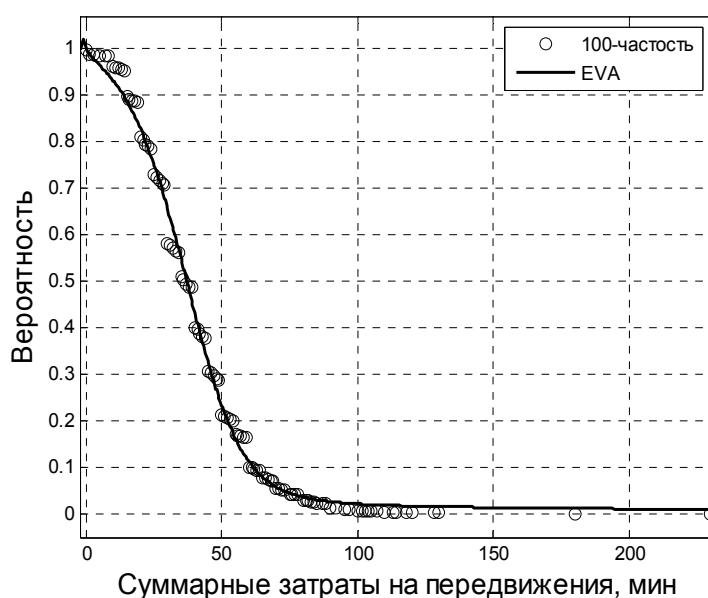


Рис. 1. Кривая тяготения, построенная с использованием данных выборочного анкетирования на основе модели EVA

На конечном этапе исследования авторами было проведено сравнение точности двух методов (рис. 2 и табл. 1).

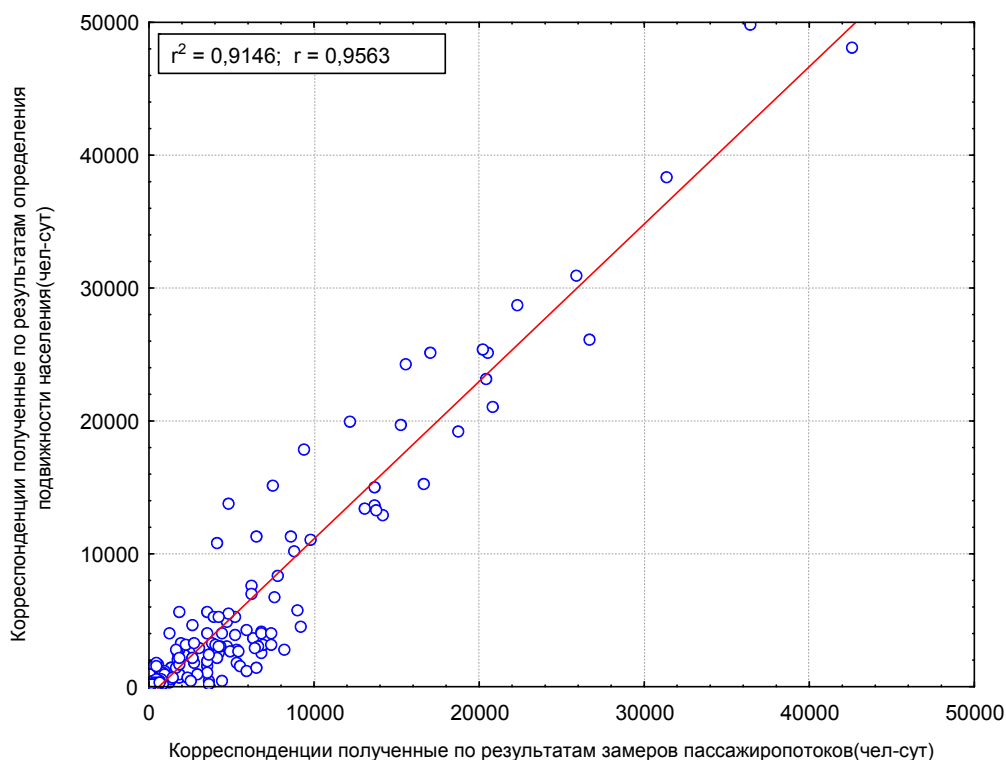


Рис 2. Диаграмма рассеяния корреспонденций оцененных двумя способами

Таблица 1

Сравнение значений корреспонденций оцененных двумя способами

Статистики	R	R <sup>2</sup>	$\hat{t}$ - для разностей пар
Значения статистик	0,95	0,91	1,14

Диаграмма рассеяния и показатели корреляции показывают, что сравниваемые матрицы принадлежат к одной генеральной совокупности. Вместе с тем большинство статистических критериев оценки основываются на нормальности распределения выборки. Очевидно, что корреспонденции не подчиняются нормальному закону (рис. 2), необходимо использовать статистические критерии, не требующие нормальности распределения. Была выполнена проверка значимости среднего значения разности пар с применением  $t$ -критерия Стьюдента, который признается в статистической литературе оптимальным критерием метода парных сравнений. Коэффициент Стьюдента  $\hat{t}$

при сравнении двух матриц составил 1,14, что не превышает критического значения  $t_{0,05;155} = 1,96$ .

Результаты показывают, что метод регрессионного обновления матриц корреспонденций, с использованием данных замеров пассажиропотоков и использующим в качестве начального приближения ранее рассчитанную «старую» матрицу корреспонденций сопоставим по точности с методом расчёта матриц корреспонденций на основе данных о подвижности населения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. – Новосибирск: Наука, 2004. - 267 с.
2. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессия. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.
3. Мягков В.Н., Пальчиков Н.С., Федоров В.П. Математическое обеспечение градостроительного проектирования. – Л.: Наука, 1989. – 144 с.
4. Петрович М.Л. Регрессионный анализ и его математическое обеспечение на ЕС ЭВМ: Практическое руководство. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 199 с.
5. Смоляк С.А., Титаренко Б.П. Устойчивые методы оценивания: Статистическая обработка неоднородных совокупностей. – М: Статистика, 1980. – 208 с.
6. Abrahamson T. Estimation of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts – A Literature Survey // IASA Interim Report IR-98-021/May, 1998. – 27 p.
7. Bell M. G. H. The Estimation of an Origin-Destination Matrix from Traffic Counts //Transportation Science, 1983. – Vol.17(2). – P.198 – 217.
8. Bell, M. G. H. Variances and Covariances for Origin-Destination Flows When Estimated by Log-Linear Models //Transportation Research, 1985. – Vol. 19B. – N 6. – P. 497–507.

9. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.