

УДК 656.02

*Лебедева Ольга Анатольевна,**к.т.н., доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
тел.: +7(952)6326611, e-mail: kravhome@mail.ru**Кулакова Ирина Михайловна,**к.т.н., доцент кафедры «Вычислительная техника и сети в отрасли»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
тел.: +7(908)6513157, e-mail: iyelkina@mail.ru***ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ МАТРИЦЫ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ: БАЗОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ  
И ИХ ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ***Lebedeva O.A., Kulakova I.M***PROCEDURE FOR ASSESSING THE CORRESPONDENCE MATRIX: BASIC ELEMENTS  
AND THEIR GRAPHIC REPRESENTATION**

**Аннотация.** При планировании эффективной работы транспортной инфраструктуры важной задачей является оценка транспортного спроса между зонами отправления и назначения. В процессе анализа методов оценки интенсивности транспортных потоков, расчет матриц корреспонденций выбран как инструмент повышения эффективности работы транспортной сети. Обоснована возможность повышения эффективности транспортных процессов на основе надлежащего расчета матрицы корреспонденций, определен перечень ключевых показателей улично-дорожной сети, применяемых при моделировании интенсивности движения.

**Ключевые слова:** матрица корреспонденций, графическое представление, моделирование.

**Abstract.** When planning the efficient operation of transport infrastructure, an important task is to assess the transport demand between the area of origin and destination. In the process of analyzing methods for assessing the intensity of traffic flows, the calculation of correspondence matrices was chosen as a tool for improving the efficiency of the transport network. The possibility of increasing the efficiency of transport processes based on the proper calculation of the correspondence matrix is substantiated, a list of key indicators of the road network used in modeling traffic intensity is determined.

**Key words:** correspondence matrix, graphical representation, modeling.

Анализ транспортных задач и разработка мер по их решению часто требуют оценки количества поездок, совершаемых между различными точками обследуемой территории [1-5]. Эта схема поездок обычно представлена в виде матрицы корреспонденций отправления и назначения (матрицы OD), представляющей собой меру спроса на услуги.

Обычные методы оценки матриц корреспонденций довольно дорогостоящие и требуют значительных ресурсов с точки зрения времени, охвата обследования и обработки данных. Более того, их надежность несколько сомнительна, а рассчитанные таким образом матрицы актуальны только применительно к обследуемому участку улично-дорожной сети.

Поэтому, многие мероприятия осуществляются без обращения к матрице корреспонденций из-за сложности ее разработки и

оценки. Типичным примером является разработка локальной схемы управления транспортными потоками. Этот проект, включает такие меры, как введение односторонних схем движения, запрет определенных поворотов движения на некоторых перекрестках, запрет проезда по улицам в зависимости от классов транспортных средств. Такие мероприятия могут привести к важным изменениям в маршрутах, проходящих через исследуемый район, что, в свою очередь, приведет к изменению интенсивности потока, времени в пути (задержкам), потреблению топлива и уровням расходов для различных групп пользователей [6]. Простого наблюдения за тем, что средняя скорость увеличилась, недостаточно, чтобы предложить схему управления дорожным движением. Более высокие скорости могут быть достигнуты за счет более длинных маршрутов, что увеличивает такие показатели, как время в пути и

расходы в транспортной системе. Единственный практический способ оценить эти изменения – проследить влияние с помощью матрицы корреспонденций. Это имеет место независимо от того, используется ли модель для разработки схемы управления дорожным движением или просто для оценки конкретной схемы.

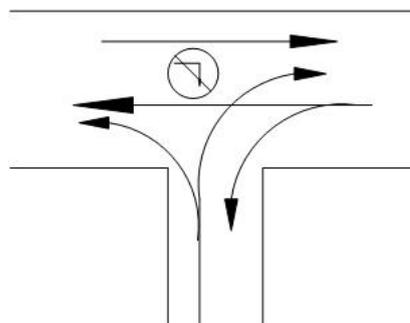
Основная цель данного исследования состоит в том, чтобы разработать методику оценки матриц поездок по подсчетам интенсивности движения. Это могут быть либо матрицы транспортных средств (грузовых потоков), либо матрицы поездок пассажиров, поскольку одни и те же концепции применимы к разным замерам.

Возможность разработки способов оценки матрицы корреспонденций на основе подсчета потока кажется особенно привлекательной. Во-первых, подсчет потока относительно недорог. Данные регулярно собираются транспортными отделами или ведомствами для проектирования перекрестков, анализа дорожно-транспортных происшествий, планирования технического обслуживания и мониторинга потока. Во-вторых, автоматический сбор данных относительно транспортных средств развит, и существуют специальные пакеты предварительной обработки информации. В-третьих, подсчет транспортных средств, пассажиров или грузовых потоков намного проще, чем проведение опросов (анкетирования) требующие заполнения форм. Наконец, большинство операций подсчета должны выполняться без прерывания транспортного потока и задержки пользователей.

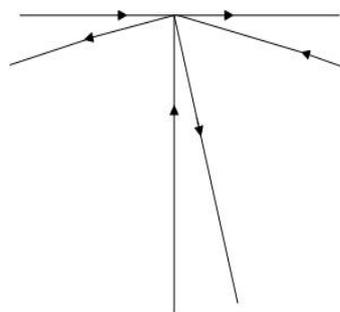
Основные элементы

В процессе работы используются концепции, применяемые в агрегированном моделировании транспортных процессов. Рассмотрим наиболее важные элементы, используемые при оценке транспортного спроса.

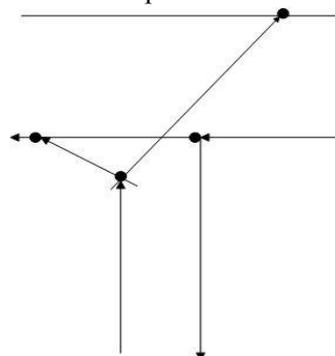
Для проведения исследования территория должна быть разделена на зоны однородного характера. Каждая зона имеет связанный с ней центр тяжести, и предполагается, что все поездки начинаются и заканчиваются в них. Область исследования можно также рассматривать как разделенную на две подобласти: внутреннюю, представляющую саму область оценки транспортного спроса, и внешнюю, представляющую влияние на транспортную систему.



А) На главной улице запрещен перекресток с правым поворотом



Б) Простое представление без запрета поворота



В) Правильное представление, в котором все поворотные движения имеют уникальные звенья, связанные с ними

Рисунок 1 – Графическое представление участка улично-дорожной сети состоящего из узлов и звеньев

Дорожная сеть представлена набором  $N$  узлов и набором  $L$  звеньев. Узлы обычно связаны с точками обследования в сети, такими как перекресток или их части, и они последовательно нумеруются от 1 до  $N$ . Связь или дуга представлена упорядоченной парой узлов  $(d, f)$ , если существует связь между узлами  $d$  и  $f$ . Звенья всегда односторонние, и для некоторых целей полезно ассоциировать с ними последовательные номера  $l = 1, 2, \dots, L$ . Звенья могут использо-

ваться для определенного и однородного участка дороги или просто поворота.

На рисунке 1 показаны способы моделирования пересечения как комбинации звеньев и узлов [7, 8].

Со звеньями могут быть связаны несколько показателей, наиболее важные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели улично-дорожной сети применяемые при моделировании интенсивности движения

№ п/п	Показатель	Способ измерения
1	расстояние, $L_{lm}$	измеряется в метрах
2	скорость, $S_{lm}$	измеряется в км/ч
3	время в пути, $\mu_{lm}$	измеряется в минутах
4	стоимость проезда, $C_{lm}$	взвешенная комбинация времени в пути и расстояния
5	поток или объем движения, $V_{lm}$	измеряется в транспортных средствах в час
6	взаимосвязь «затраты-поток», $C_{lm}(V_{lm})$	функция количества потока на звене $lm$ , относящаяся к стоимости поездки по звену на объемы по звену

Для связи центроид с реальными узлами в сети используется специальный тип дуги, соединяющий центроиды. Считается, что затраты, связанные с их использованием, представляют собой среднюю стоимость проезда по улицам от места отправления до присоединения к системе основных улиц, так как стоимость не зависит от транспортного потока.

Поездка между  $i$  и  $j$  будет использовать определенную последовательность звеньев, называемую путем или маршрутом, а  $T_{ijr}$  будет поездками из  $i$  в  $j$ , которые используют маршрут  $r$ . Стоимость поездки по этому маршруту равна сумме затрат на использование отдельных ресурсов и будет представлена  $C_{ijr}$ . Переменная  $\delta_{ijr}^{lm}$  может использоваться для идентификации звеньев,

используемых маршрутом  $r$  между исходной точкой  $i$  и пунктом назначения  $j$ . Это определяется как:

$$\delta_{ijr}^{lm} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (1)$$

То есть если  $\delta_{ijr}^{lm} = 0$ , то звено  $lm$  не используется маршрутом  $r$  между  $i$  и  $j$ ;  $\delta_{ijr}^{lm} = 1$  если звено  $lm$  использует маршрут.

Тогда стоимость маршрута определяется как:

$$C_{ijr} = \sum_{lm} C_{lm} \delta_{ijr}^{lm} \quad (2)$$

Матрицы поездок

Количество рейсов из пункта отправления  $i$  в пункт назначения  $j$  представлено  $T_{ij}$ , а полный набор рейсов, охватывающий все центроиды в области, составляет матрицу маршрута  $[T_{ij}]$ . Таким образом, матрица маршрутов – это представление трехмерных объемов, перемещающихся между парами зон. Это зависит от двух форм агрегации, пространственной и временной. Пространственная агрегация включает группировку областей в дискретные пространственные единицы или зоны. При крупномасштабном моделировании количество зон может исчисляться тысячами, тогда как для мелко-масштабных схем управления транспортным потоком достаточно от 25 до 50 зон. В последнем случае количество ячеек довольно велико (2500 для случая  $50 \times 50$ ), и большинство из них, вероятно, содержат нули или маленькие числа.

Таким образом, матрицы поездок являются довольно разреженными матрицами. Временное агрегирование связано с интервалом времени, в течение которого учитываются поездки между зонами. Выбор этого временного среза или интервала оказывает большое влияние на матрицу ОД и ее полезность при анализе конкретных задач. Для детального анализа системы светофорного регулирования требуются временные интервалы порядка пятнадцати минут, чтобы отслеживать увеличение и уменьшение длины заторов и времени в пути. С другой стороны, для решения большинства задач управления дорожным движением необходимо разделение на уровне часового потока, и многие задачи, связанные со строительством новых дорог, можно решить с помощью матриц основанных на 16 или 24 часах замеров. Некоторые виды исследований требуют оценки спроса между городами, используя недельные, месячные и годовые матрицы поездок.

Матрицы поездки, основанные на небольшом временном отрезке, представляют определенные сложности. Желательно использовать кванты времени, превышающие среднюю длину поездки в области. Еще одна проблема – разреженность. Чем меньше квант времени, тем больше количество ячеек, содержащих нулевые поездки в матрице поездок. Разреженность также связана с высоким уровнем ошибок в матрице. Цели исследования позволят определить пространственное агрегирование и временной интервал для восстанавливаемой матрицы поездки. Поездки подвержены часовым, ежедневным, еженедельным и сезонным изменениям с течением времени так же, как количество потока или стоимость поездки. Распределение матрицы будет зависеть от целей и ресурсов исследования. В случае ограниченных ресурсов существует вариант проведения исследований на базе:

- матрицы усредненных поездок (среднее значение);

- наиболее вероятной матрицы;
- критической матрицы поездок;
- матрицы рейсов, генерирующей среднюю задержку;
- матрицы поездки с наибольшей загруженностью.

Сложность задачи и затраты на сбор данных для оценки матрицы таковы, что на практике применяется доступная матрица при условии, что она получена общепринятым методом и не имеет очевидных несоответствий.

В процессе анализа методов оценки интенсивности транспортных потоков, расчет матриц корреспонденций выбран как инструмент повышения эффективности работы транспортной сети. Обоснована возможность повышения эффективности транспортных процессов на основе надлежащего расчета матрицы корреспонденций, определен перечень ключевых показателей улично-дорожной сети, применяемых при моделировании интенсивности движения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Антонов, Д. В.** Основные принципы развития транспортных систем городов / Д. В. Антонов, О. А. Лебедева // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. С. 149-155.

2. **Лебедева, О. А.** Моделирование грузовых матриц корреспонденций гравитационным и энтропийным методами / О. А. Лебедева, Д. В. Антонов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 5 (100). С. 118-122.

3. **Гозбенко, В. Е.** Совершенствование транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев / В. Е. Гозбенко, М. Н. Крипак, А. Н. Иванков // Иркутск, 2011.

4. **Колесник, М. Н.** Алгоритм автоматизированного выбора подвижного состава / Колесник М.Н., Гозбенко В.Е. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2007. № 4 (16). С. 45-47.

5. **Полтавская, Ю. О.** Применение геоинформационных систем для обеспечения устойчивого развития транспортной системы города / Ю. О. Полтавская // В

сборнике: Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине. Сборник научных трудов VI Международной научной конференции. Под редакцией О.Г. Берестневой, В.В. Спицына, А.И. Труфанов, Т.А. Гладковой. 2019. С. 164-167.

6. **Полтавская, Ю. О.** Методы сбора данных о продолжительности движения на маршруте и требования к объему выборки / Ю. О. Полтавская // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2018. № 12. С. 192-195.

7. **Wilson, A. G.** A statistical theory of spatial distribution models / A. G. Wilson // Transportation Research, 1B: (1967), pp. 253-269.

8. **Nguyen, S.** Estimation of an OD matrix from network data: A network equilibrium approach. / S. Nguyen // Publication no. 60, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada, 1977.